

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO**

**DETERMINAÇÃO DA RECARGA PROFUNDA NA BACIA-PILOTO DO RIBEIRÃO
DA ONÇA EM ZONA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI A
PARTIR DE BALANÇO HÍDRICO EM ZONA SATURADA**

LUIS HENRIQUE GOMES

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 Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento).

Orientador: Edson Cezar Wendland

SÃO CARLOS

2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dedico este trabalho a meus pais Antonio da Silva Gomes (in memoriam) e Cassimira Gomes e a minha esposa Isabel Cristina por todo carinho e compreensão durante estes tempos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Edson Cezar Wendland (orientador e facilitador), pela confiança e apoio indispensáveis ao desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a todos os colegas do LHC (Laboratório de Hidráulica Computacional), pelo apoio, conselhos e discussões que foram de grande valia para este trabalho.

Agradeço aos técnicos que participaram deste trabalho, em especial a Roberto Bérnago.

Agradeço aos funcionários do SHS (Departamento de Hidráulica e Saneamento).

Agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço ao GEF (Global Environmental Facility) pelo suporte financeiro para a execução das atividades de campo.

Agradeço à Organização dos Estados Americanos (OEA).

Agradeço à Secretária Geral do “Projeto de Desenvolvimento Sustentável e Proteção Ambiental do Sistema Aquífero Guarani”.

Finalmente, agradeço à minha família pela compreensão e apoio irrestrito.

RESUMO

GOMES, L. H.. *Determinação da recarga profunda na bacia-piloto do Ribeirão da Onça em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de balanço hídrico em zona saturada*. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar a recarga profunda na bacia do Ribeirão da Onça utilizando modelo de balanço hídrico em zona saturada do solo. A bacia está localizada na região de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de São Paulo sendo recoberta, em sua maior parte, por solo do tipo Sedimento Cenozóico e apresentando afloramento de basalto em pequena região próxima a seu exutório. O modelo do balanço hídrico envolveu a determinação dos valores de recarga direta, variação do armazenamento do aquífero freático e escoamento básico. Para a obtenção destes valores foi monitorada a precipitação diária na bacia, a vazão na seção de controle do ribeirão e nível d'água nos poços de monitoramento instalados na bacia, estes dois últimos com frequência quinzenal. A recarga direta foi determinada pelo método da variação da superfície livre - Water Table Fluctuation (WTF). O escoamento básico foi calculado por meio de separação de hidrograma, o qual foi gerado por modelo chuva-vazão apoiado em medidas quinzenais da vazão na seção de controle. Amostras indeformadas de solo foram coletadas nas profundidades correspondentes à zona de variação do nível do aquífero freático para a determinação do rendimento específico do solo. O rendimento específico médio para o solo da bacia, determinado por método de tensão de água no solo utilizando funil de placa porosa (Funil de Haines), foi de 12,2%. Este valor compatível com dados da Literatura para o tipo de solo. Foram executados balanços hidrológicos em zona

saturada no período de fevereiro de 2004 a janeiro de 2007, separados em dos 3 anos hidrológicos. A recarga direta variou de 14% a 38% e a recarga profunda variou de 0,4 % a 2,4% das respectivas precipitações no período. Os baixos valores de recarga profunda encontrados no trabalho revelam a necessidade da continuidade de estudos das estimativas de disponibilidade hídrica sustentável do Sistema Aquífero Guarani.

Palavras-Chaves: Água subterrânea, monitoramento, recarga, rendimento específico.

ABSTRACT

GOMES, L. H. *Determination of the deep recharge in the Ribeirão da Onça pilot basin in the outcrop zone of the Guarani Aquifer System through water balance in the saturated zone*. M.Sc. Dissertation. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Main objective of this work was the determination of the deep recharge in the Ribeirão da Onça basin through water balance in the soil saturated zone. This basin is located in the outcrop zone of the Guarani Aquifer System (GAS) in the São Paulo State - Brazil and is covered by Cenozoic sedimentary soil. The water balance model involved the determination of the direct recharge, groundwater storage variation and base flow. To obtain these values, the daily precipitation in the basin, the stream flow in the outflow section of the creek and the aquifer level fluctuation in wells installed in the basin was monitored. The direct recharge was determined by the Water Table Fluctuation method (WTF). The base flow was calculated by hydrograph separation method generated by rain-flow model supported by biweekly stream flow measurements. Undisturbed soil samples were collected with the objective of determining the effective porosity (specific yield). The effective porosity is 12.2%, compatible with values found in the literature. Water balances were executed for each one of the 3 hydrological years (February /2004 to January /2007). The direct recharge varied between 14% while 38% and the deep recharge varied between 0.4% and 2.4% of the respective precipitations in the period. The low values of deep recharge reveal the need for the continuity of the water resources studies in the Guarani Aquifer System.

Keywords: Groundwater, monitoring, recharge, specific yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Variação do nível d'água em poço em resposta à precipitação	33
Figura 2 Direções de fluxo na interação rio aquífero	36
Figura 3 Separação de hidrograma de série de vazões.	37
Figura 4: Porosidade primária e secundária. Custódio e Llamas (1983).	38
Figura 5: Representação do conceito de poros com água imóvel (dead end pores).	39
Figura 6: Desenho esquemático esclarecendo o conceito de rendimento específico e retenção específica em aquífero arenoso não confinado. Fonte: modificado de Younger (2007).	40
Figura 7: Localização da Bacia do Ribeirão da Onça.	45
Figura 8: Altimetria da bacia do Ribeirão da Onça.	46
Figura 9: Geologia da região da bacia do Ribeirão da Onça. Fonte SIGRH (2008).	48
Figura 10: Seção geológica S-N da região da bacia.	48
Figura 11: Ocupação do Solo na bacia do Ribeirão da Onça.	51
Figura 12: Distribuição espacial das culturas na bacia do Ribeirão da Onça (2004/2007).	52
Figura 13: Distribuição das culturas na bacia em porcentagem (2004/2007).	53
Figura 14: Localização dos poços de monitoramento na bacia.	54
Figura 15: Equipamentos para monitoramento do nível d'água.	56
Figura 16: Desenho esquemático de instalação de medidor automático de nível d'água em poço de monitoramento.	57
Figura 17: Variação do perfil transversal da seção de controle no ano de 2005.	59
Figura 18: Molinete hidrométrico marca JCTM modelo MLN-7.	60
Figura 19: Exemplo de separação de escoamentos no Ribeirão da Onça, Brotas-SP,	60
Figura 20: Método gráfico para separação do escoamento básico.	61
Figura 21: Modelo conceitual do balanço hídrico em zona saturada.	62
Figura 22: Dimensões características do amostrador tubular.	63
Figura 23: Dimensões e foto do amostrador tubular utilizado na pesquisa.	66
Figura 24: Locais de coleta de amostras indeformadas de solo na bacia.	68
Figura 25: Equipamentos de apoio para coleta de amostra indeformada.	69
Figura 26: Amostrador tubular acoplado a máquina de perfuração.	69

Figura 27: Principais operações de coleta do solo com amostrador tubular.	70
Figura 28: Esquema de aparelho para determinação de rendimento específico em laboratório (saturação- R_1 e drenagem- R_2).	71
Figura 29: Equipamento para ensaio de saturação e drenagem.	73
Figura 30: Procedimento para medida da tensão matricial da amostra:	74
Figura 31: Funil de Haines utilizado para a determinação do rendimento específico do solo.	75
Figura 32: Saturação das amostras.	76
Figura 33: Pesagem da amostra.	76
Figura 34: Preparação do funil.	76
Figura 35: Amostra colocada no funil.	77
Figura 36: Funil com tampo.	77
Figura 37: Evolução da precipitação no período de estudo.	80
Figura 38: Precipitação mensal no período 2004/2007.	81
Figura 39: Poços de monitoramento utilizados no balanço hídrico.	83
Figura 40: Gráfico da variação do nível d'água nos poços na bacia do Ribeirão da Onça.	84
Figura 41: Mapa potenciométrico na região da bacia para os dias 15/02/05 e 15/12/06.	87
Figura 42: Tratamento e aplicação de parafina na amostra de solo indeformada.	88
Figura 43: Amostras indeformadas prontas para transporte.	88
Figura 44: Linha de seixos encontrada durante coleta de amostras.	89
Figura 45: Curvas granulométricas das amostras coletadas na bacia.	92
Figura 46: Método WTF aplicado aos dados de variação de nível d'água no poço 18, durante o período de estudo.	94
Figura 47: Determinação da área de influência para cada poço, em função da relação entre a espessura da zona saturada e a distancia ao curso d'água.	97
Figura 48: Áreas de influência dos poços de monitoramento.	98
Figura 49: Relação entre a precipitação e a recarga direta na bacia do Ribeirão da Onça, no período de estudos (2004-2007)	100
Figura 50: Variação do nível do aquífero para determinação do armazenamento.	101
Figura 51: Variação do armazenamento subterrâneo aplicado à variação do nível d'água no poço 18, calculado para cada ano hidrológico.	102

Figura 52: Hidrogramas gerados para seção de controle na bacia com dados do programa IPHS 1.	105
Figura 53: Parcelas de precipitação total com relação à recarga direta, em cada período.	108
Figura 54: Componentes do balanço hídrico em zona saturada no período de estudo.....	109
Figura 55: Evolução da precipitação e recarga profunda no período do estudo.....	110
Figura 56: Aplicação do método WTF para o poço 08	127
Figura 57: Aplicação do método WTF para o poço 05	128
Figura 58 Aplicação do método WTF para o poço 13.	129
Figura 59: Aplicação do método WTF para o poço 14.	130
Figura 60: Aplicação do método WTF para o poço 15.	131
Figura 61: Aplicação do método WTF para o poço 16.	132
Figura 62: Aplicação do método WTF para o poço 17.	133
Figura 63: Aplicação do método WTF para o poço 18.	134
Figura 64: Aplicação do método WTF para o poço 19.	135
Figura 65: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 17).	139
Figura 66: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 15).	139
Figura 67: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 16).	140
Figura 68: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 19).	140
Figura 69: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 05).	141
Figura 70: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 08).	141
Figura 71: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 13).	142
Figura 72: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 18).	142
Figura 73: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 14).	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da qualidade para amostras de solos.	42
Tabela 2: Localização dos poços de monitoramento, altitude e cultura.....	55
Tabela 3: Relação entre coeficiente de área e ângulo do bisel. Fonte: Clayton <i>et al.</i> (1995).....	65
Tabela 4: Precipitações totais mensais no período do monitoramento (2004-2007).....	79
Tabela 5: Média histórica das precipitações totais mensais (1971/2007)	79
Tabela 6: Precipitação na bacia para os períodos chuvosos durante o período de estudo.....	85
Tabela 7: Resultados dos ensaios de rendimento específico.	90
Tabela 8: Porosidades estimadas para diferentes pontos.....	91
Tabela 9: Granulometria média do solo da bacia do Ribeirão da onça.	92
Tabela 10: Valores de rendimento específico para alguns tipos de solo (JOHNSON, 1967 <i>apud</i> HEALY e COOK, 2002).	93
Tabela 11: Poços utilizados para cálculo da recarga direta.	95
Tabela 12: Recarga direta nos poços de monitoramento para 2004/2005.....	95
Tabela 13: Recarga direta nos poços de monitoramento para 2005/2006.....	96
Tabela 14: Recarga direta nos poços de monitoramento para 2006/2007.....	96
Tabela 15: Definição das áreas de influência dos poços.	97
Tabela 16: Resultados da Recarga Direta na bacia.....	99
Tabela 17: Valores da variação do armazenamento para o período do monitoramento.....	102
Tabela 18: Vazões medidas na seção de controle do Ribeirão da Onça.....	104
Tabela 19: Volumes escoados calculados na seção de controle – período 2004/2005.....	106
Tabela 20: Volumes escoados calculados na seção de controle – período 2005/2006.....	106
Tabela 21: Volumes escoados calculados na seção de controle – período 2006/2007.....	106
Tabela 22: Balanço hídrico em zona saturada.	107
Tabela 23: Medidas de campo dos níveis nos poços de monitoramento.....	121
Tabela 24: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 01, profundidade: 13,00 m).	147
Tabela 25: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 01, profundidade: 14,00 m).	147

Tabela 26: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 01, profundidade: 15,80 m).	148
Tabela 27: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 03, profundidade: 7,10 m).	148
Tabela 28: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 03, profundidade: 8,40 m).	149
Tabela 29: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 03, profundidade: 9,30 m).	149
Tabela 30: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 14,80 m).	150
Tabela 31: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 16,00m).	150
Tabela 32: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 16,90 m).	151
Tabela 33: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 18,10 m).	151
Tabela 34: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 19,10 m).	152
Tabela 35: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 05, profundidade: 4,10 m).	152
Tabela 36: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 05, profundidade: 5,40m).	153
Tabela 37: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 05, profundidade: 6,00 m).	153
Tabela 38: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 02, profundidade: 3,00m).	154
Tabela 39: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 02, profundidade: 4,00 m).	154
Tabela 40: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 02, profundidade: 4,50 m).	155

Tabela 41: Vazões diárias totais na seção de controle, calculadas com o software IPHS 1® para o ano de 2004.....	159
Tabela 42: Vazões diárias totais na seção de controle, calculadas com o software IPHS 1® para o ano de 2005.....	160
Tabela 43 Vazões diárias totais na seção de controle, calculadas com o software IPHS 1® para o ano de 2006.....	161
Tabela 44: Vazões diárias totais na seção de controle, calculadas com o software IPHS 1® para o ano de 2007.....	162
Tabela 45: Vazões diárias básicas na seção de controle, calculadas com separação de hidrograma para o ano de 2004.....	163
Tabela 46 Vazões diárias básicas na seção de controle, calculadas com separação de hidrograma para o ano de 2005.....	164
Tabela 47: Vazões diárias básicas na seção de controle, calculadas com separação de hidrograma para o ano de 2006.....	165
Tabela 48: Vazões diárias básicas na seção de controle, calculadas com separação de hidrograma para o ano de 2007.....	166

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	25
2.2	MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RECARGA	28
2.2.1	MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO	29
2.2.2	MÉTODO WTF	31
2.3	INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO.....	35
2.4	POROSIDADE E RENDIMENTO ESPECÍFICO	38
2.5	AMOSTRAGEM DE SOLO	42
2.5.1	QUALIDADE DAS AMOSTRAS	42
2.6	CONSIDERAÇÕES.....	43
3	MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1	A BACIA REPRESENTATIVA DO RIBEIRÃO DA ONÇA.....	45
3.1.1	LOCALIZAÇÃO	45
3.1.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	46
3.1.3	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS.....	47
3.1.4	CLIMATOLOGIA.....	49
3.1.5	SOLO, USO E OCUPAÇÃO	50
3.2	MONITORAMENTO.....	53
3.2.1	AQUÍFERO FREÁTICO	53
3.2.2	PRECIPITAÇÃO	58
3.3	ESCOAMENTO BÁSICO.....	58
3.4	BALANÇO HÍDRICO EM ZONA SATURADA.....	61
3.5	COLETA DE AMOSTRAS INDEFORMADAS.....	63

3.5.1	AMOSTRADOR TUBULAR	63
3.5.2	PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM	67
3.6	DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO ESPECÍFICO DO SOLO.....	71
3.6.1	MÉTODO DE SATURAÇÃO E DRENAGEM	71
3.6.2	MÉTODO DE TENSÃO DA ÁGUA NO SOLO	73
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	78
4.1	PLUVIOMETRIA.....	78
4.2	VARIAÇÕES DO NÍVEL D'ÁGUA	82
4.2.1	MAPA POTENCIOMÉTRICO	86
4.3	RENDIMENTO ESPECÍFICO (S_v)	88
4.3.1	COLETA DAS AMOSTRAS.....	88
4.3.2	ENSAIOS.....	89
4.4	RECARGA DIRETA.....	94
4.5	VARIAÇÃO DO ARMAZENAMENTO	100
4.6	ESCOAMENTO BÁSICO.....	104
4.7	BALANÇO HÍDRICO EM ZONA SATURADA.....	107
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	111
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
	APÊNDICE A	119
	APÊNDICE B.....	125
	APÊNDICE C	137
	APÊNDICE D	145
	APÊNDICE E.....	157

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O aumento da demanda de água para consumo doméstico, industrial, agrícola etc., associado à crescente deteriorização das águas superficiais tem feito com que haja a necessidade de se dispor de água em grande volume, boa qualidade, custo relativamente baixo e disponível por longo período de tempo. Esta situação tem levado ao crescente aumento do uso das águas subterrâneas.

Portanto, a quantificação da recarga das águas subterrâneas é um requisito vital para um eficiente manejo deste recurso hídrico, particularmente em regiões semi-áridas e áreas onde há superexploração, ou seja, existe a extração de água do aquífero a taxas superiores ao seu reabastecimento natural. A identificação das fontes de recarga e a definição de um modelo conceitual dos mecanismos de fluxo são de fundamental importância.

A recarga de aquíferos é um dos componentes do ciclo hidrológico com maiores dificuldades de se determinar e suas estimativas possuem elevado grau de incerteza. Tal fato se dá inicialmente pela definição da metodologia a ser adotada e posteriormente pela disponibilidade de informações existentes.

Nas áreas de recarga dos aquíferos, uma parte da água que infiltra no solo, participa do escoamento básico, enquanto que outra parte pode ir para as porções profundas ou confinadas do aquífero podendo se transformar em recarga profunda.

Os métodos para a estimativa de recarga de aquíferos citados na literatura dividem-se em: balanço hídrico, técnica de traçadores, aproximação darcyniana etc. Considerando a variedade de condições hidrogeológicas e climáticas, alguns destes métodos não são diretamente aplicáveis de forma prática em situações onde isto é necessário.

Embora o interesse preponderante seja pela determinação de parâmetros de grandes aquíferos, há a necessidade de se implantar bacias experimentais de pequenas dimensões.

Nestas bacias torna-se viável a implantação de uma rede densa de instrumentação para fins de estudos hidrogeológicos.

Nesta pesquisa, a recarga profunda na bacia experimental do Ribeirão da Onça, localizada no município de Brotas-SP, será determinada utilizando o balanço hídrico em zona saturada. Com isto eliminam-se as incertezas das estimativas da evapotranspiração, da variação da umidade do solo, da vazão total escoada no ribeirão e dos fenômenos de interceptação. Porém, este procedimento requer grande atenção ao monitoramento da variação dos níveis dos poços instalados e sobre o valor da porosidade drenável do solo da bacia.

Neste projeto, os dados de variação de nível do aquífero freático serão obtidos em poços de monitoramento distribuídos na bacia e a porosidade efetiva será determinada em laboratório através de ensaios com amostras indeformadas de solo retiradas em diversos pontos e profundidades na bacia.

Este projeto dá continuidade aos estudos realizados nesta bacia, com o intuito de diminuir incertezas remanescentes. Isto promove uma melhora do conhecimento dos fenômenos hidrológicos, o que dá subsídios ao gerenciamento dos recursos hídricos na bacia.

O objetivo geral desta pesquisa é determinar a recarga profunda na bacia do Ribeirão da Onça, utilizando para este fim, o balanço hídrico em zona saturada. Como objetivos específicos têm-se:

- Determinação da porosidade drenável do solo, particularmente na zona de variação de nível d'água do aquífero freático;
- Determinação da recarga direta, ou seja, a parcela da precipitação que atravessa a zona não-saturada e soma-se à reserva subterrânea na bacia;
- Determinação do escoamento básico na bacia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão inicia com a apresentação do conceito de recarga de águas subterrâneas, bem como trabalhos correlatos e anteriores realizados na bacia. Os principais métodos de estimativa de recarga direta e o tópico sobre interação rio-aquífero são apresentados, em seguida, por se tratar de parte importante do balanço hídrico em zona saturada. A seguir é apresentado o tópico sobre porosidade e rendimento específico, que são de primordial importância para este estudo. Finalmente, são apresentados os tópicos de amostragem de solo, bem como equipamentos utilizados, classificação e qualidade das amostras.

2.1 RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A recarga de águas subterrâneas é definida como o fluxo vertical de água que alcança o aquífero¹, constituindo uma adição ao reservatório de água subterrânea (LERNER *et al.*, 1990). Entretanto, em condições propícias, pode também ocorrer por meio de fluxo lateral de um lago ou rio. Além disto, em algumas configurações de aquíferos confinados, a recarga pode ocorrer por meio de fluxo do aquífero livre através de fronteira com aquífero².

Em áreas de recarga dos aquíferos, uma parte da água que infiltra no solo participa do escoamento básico, enquanto outra parte pode ir para as porções profundas ou confinadas podendo se transformar em recarga profunda.

Lerner *et al.* (1990) classificaram os mecanismos de recarga, dependendo da fonte, em:

- *recarga direta*, quando a parcela da precipitação atravessa a zona não-saturada e soma-se à reserva subterrânea;

¹ Formação geológica que contém água e permite que quantidades significantes se movimentem em seu interior em condições naturais.

² Camada ou formação semipermeável, delimitada no topo e/ou na base por camadas de maior permeabilidade

- *recarga indireta*, quando ocorre a drenagem das águas através das fissuras das rochas e pelo fluxo subterrâneo indireto, ao longo de descontinuidades;
- *recarga localizada*, quando ocorre um processo em que a água move-se em curtas distâncias lateralmente antes da infiltração.

Segundo Lerner *et al.* (1990), a distinção entre recarga direta e indireta, além de mera classificação científica, tem grande importância, pois há um contraste predominante dos dois modos de recarga entre áreas úmidas e semi-áridas. Enquanto a recarga direta é predominante em muitas áreas úmidas, a recarga indireta é frequentemente a única forma de recarga em muitas áreas secas.

A recarga depende basicamente da disponibilidade de água. Em muitos lugares, esta disponibilidade depende da interação entre o fornecimento em forma de precipitação e a perda de água retornando para atmosfera. As perdas ocorrem pelos efeitos combinados da evaporação (vaporização de água líquida) e transpiração (a liberação de vapor de água pelas plantas para a atmosfera). Em muitos sistemas solo-planta estes dois processos são difíceis de distinguir na prática, e a quantificação separada é em alguns casos desnecessária para o propósito da quantificação de recarga de água subterrânea (OLIVER, 1998 *apud* YOUNGER, 2007)³. Portanto é conveniente juntar os dois e referir-se a eles conjuntamente como evapotranspiração.

Para quantificar a recarga, é necessário medir alguns de fenômenos, dos quais é possível estimar a recarga por subtração. Portanto, erros nas medidas destes fenômenos traduzem-se em incertezas na magnitude estimada da recarga.

³ OLIVER, J. E. (1998) *Evapotranspiration*. In: Herschy, R.W. and Fairbridge, R.W. (eds), *Enciclopedia of Hydrology and Water Resources*. Kluwer Academic, Boston, pp 266-271.

Segundo de Vries e Simmers (2002), a recarga pode ser estimada por diversos modos dependendo da resolução temporal requerida. Para o propósito da estimativa da recarga direta, uma das técnicas mais apropriadas, segundo Healy e Cook (2002), é o estudo da variação de nível do aquífero d'água. Para estimar a recarga por este método, é necessário conhecer os valores do rendimento específico. Estes valores são obtidos em ensaios de campo e/ou laboratório. Uma vez obtido um valor confiável para o rendimento específico, a simples multiplicação deste valor pela elevação do nível do aquífero freático no período de interesse é suficiente para obter a altura equivalente de água adicionada à zona saturada.

Estudos detalhados de recarga têm sido empreendidos em muitas partes do mundo; Lerner *et al.* (1990) apresentam uma extensa gama de exemplos. Em tais estudos, verificou-se amplo relacionamento entre a taxa de precipitação anual total e recarga anual. Muitas estimativas de taxas de recarga natural estão compreendidas na faixa de 5% a 25% da precipitação. Entretanto, é importante examinar qualquer estimativa de recarga que exceda 30% do total precipitado na área de estudo, pois são relativamente incomuns na prática.

Contin Neto (1987) realizou pesquisa para determinação da recarga em uma área de afloramento do aquífero Guarani na Bacia do Ribeirão da Onça no município de Brotas-SP. Para determinação da recarga, foi realizado o balanço hídrico na superfície da bacia na região não saturada e na parte saturada do aquífero freático. Foram medidas a precipitação na bacia, a vazão no curso d'água principal e os níveis em poços de monitoramento no aquífero freático. Como resultado, o referido autor verificou que a recarga do aquífero freático apresenta forte correlação com a precipitação, variando de 9% no início do período úmido para até 20% ao final das chuvas.

Pompêo (1990) desenvolveu outro trabalho para o estudo hidrológico do balanço hídrico da zona não saturada na Bacia do Ribeirão da Onça. Neste estudo, durante dois anos, realizou medidas, além das precipitações diárias e da vazão no curso d'água, de outras

variáveis que possibilitaram estimativas da evapotranspiração. As variações da umidade no solo, em 14 pontos da bacia, com profundidades até 11 m, foram monitoradas por meio de sondas de nêutrons. O autor estimou a recarga direta em aproximadamente 8% da precipitação no período.

Wendland *et al.* (2007) realizaram balanço hídrico nesta mesma bacia estimando a recarga direta entre 22 e 29% da precipitação total para o período de um ano. Para a recarga profunda obtiveram valores de -3,6% (-59 mm) e 3% (49 mm) do total precipitado no período, para rendimento específico de 10% e 13% respectivamente. Porém, segundo os autores, o valor negativo não faz sentido uma vez que está localizada em altitude mais elevada na região, não devendo haver fluxo lateral para a bacia.

2.2 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RECARGA

Dependendo do número de fontes e processos, a recarga pode ser quantificada por vários métodos. Cada método tem suas próprias limitações de aplicabilidade e confiança. Scalon *et al.* (2002) apresentam grande variedade de procedimentos para estimativa da recarga subterrânea.

Lerner *et al.* (1990) consideram cinco tipos de fontes e agruparam os métodos de estimativa em cinco grupos. Foram consideradas as seguintes fontes: precipitação, rios, fluxos inter-aquíferos, irrigação e recarga urbana. Os métodos foram agrupados da seguinte forma: medidas diretas, balanço hídrico, aproximação darcyniana, técnicas que utilizam traçadores e outros métodos (incluindo os métodos empíricos). Porém, esta sistematização não fornece contribuições significativas, pelo fato que a complexidade inerente ao processo de recarga sempre irá gerar incertezas em quaisquer métodos utilizados.

Na prática, a questão principal é a escolha do método a ser adotado na estimativa da recarga subterrânea. Esta escolha depende dos objetivos a serem atingidos, os quais estão

diretamente relacionados com o nível de exigência, no que se refere à precisão dos resultados, e à dimensão do sistema envolvido. A seguir, consideram-se características climáticas as quais este sistema está submetido e o número de fontes de recarga a ser considerado

Considerando apenas a recarga direta, destacam-se dois principais métodos: o método do balanço hídrico, em que é estimada a água que infiltra, restando determinar a quantidade de água que atravessa a zona não saturada, e o método de variação do nível d'água, em que há uma observação da resposta do aquífero à recarga.

Estes dois métodos foram destacados pelas facilidades oferecidas em seu uso e obtenção de dados.

2.2.1 Método do Balanço Hídrico

O método do Balanço Hídrico é 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 termos da formulação.

Um balanço hídrico total da bacia hidrográfica é recomendado para estimativa de recarga quando todos os mecanismos envolvidos são considerados e avaliados. 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 interaquíferos (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 (SCALON *et al.*, 2002). O balanço hídrico para uma bacia pode ser escrito como:

$$P + Q_e = ET + Q_s + \Delta S + I \quad (1)$$

em que P é a precipitação; Q_e e Q_s são a entrada e saída de fluxo da área, respectivamente; ET é a evapotranspiração; ΔS é a variação no armazenamento de água e I é a interceptação.

Todos os componentes da equação 1 podem ser divididos em subcomponentes. 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 – sl , zona não-saturada – ns – e zona saturada – zs); o armazenamento ocorre em reservatórios superficiais, na zona não-saturada e na zona saturada.

Reescrevendo a equação 1 para incorporar estes componentes, temos:

$$P + Q_e^{sl} + Q_e^{zs} = ET^{sl} + ET^{ns} + ET^{zs} + R_o + Q_s^{zs} + Q^b + \Delta S^{sl} + \Delta S^{ns} + \Delta S^{zs} + I \quad (2)$$

em que os índices subscritos referem-se aos subcomponentes descritos anteriormente, R_o é o fluxo superficial na área e Q^b 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. Segundo Schicht e Walton (1961 *apud* SCANLON *et al.*, 2002)⁴: o balanço para a zona saturada pode ser descrito como:

⁴ SCHICHT, R.J.; WALTON, W.C. (1961). *Hydrologic budgets for three small watersheds in Illinois*. III State Water Surv. Rep. Invest., 40:40.

$$R = \Delta S^{zs} + Q^b + ET^{zs} + Q_s^{zs} - Q_e^{zs} \quad (3)$$

em que R é a recarga, ΔS^{zs} é a variação no armazenamento subsuperficial, Q^b é o fluxo de base, ET^{zs} é a evapotranspiração subterrânea, e $Q_s^{zs} - Q_e^{zs}$ é o fluxo líquido subsuperficial da área de estudo e inclui efeitos de bombeamento. Todas as variáveis são expressas como taxas (por exemplo, mm/ano).

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).

2.2.2 Método WTF

O Método de Flutuação da Superfície Livre (WTF – *Water Table Fluctuation*) é a técnica mais amplamente usada para estimativa da recarga direta. Este método é aplicável somente aos aquíferos não-confinados e requer o conhecimento do rendimento específico ou porosidade drenável, como tratado no item 2.4 e das variações nos níveis d'água ao longo do tempo.

Este método considera que as elevações nos níveis d'água em aquíferos não-confinados ocorrem devido à água de recarga subterrânea que chega à superfície livre.

A recarga direta é calculada como:

$$R_d = S_y \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (4)$$

em que:

R_d = Recarga direta [LT^{-1}];

S_y = rendimento específico [adimensional];

Δh = variação da altura do nível freático [L];

Δt = tempo de observação do nível [T].

A equação 4 assume que a 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 subsuperficial) são nulos durante o período de recarga.

Healy e Cook (2002) definiram que a aplicação da equação 4 para cada elevação individual do nível d'água determina uma estimativa da recarga direta, em que Δh é igual à diferença entre o pico da curva de variação de nível e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente extrapolada até o instante do pico. A curva de recessão antecedente extrapolada é o traço que a curva do poço de monitoramento teria na ausência de elevação do nível d'água (Figura 1).

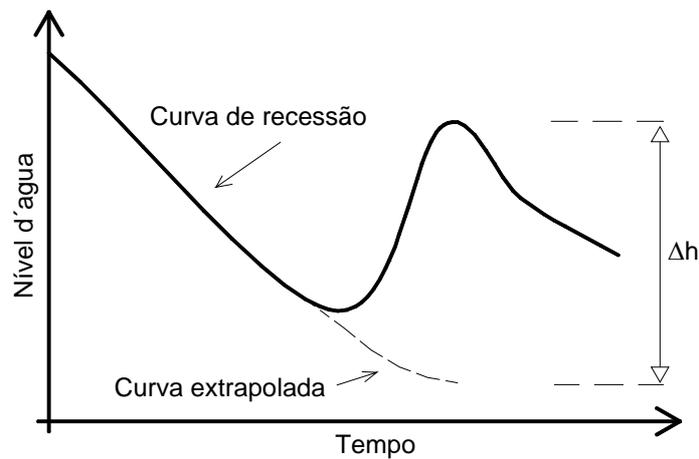


Figura 1: Variação do nível d'água em poço em resposta à precipitação

Fonte: Healy e Cook (2002).

Moon *et al.* (2004) afirmam que, geralmente, o nível d'água subterrânea flutua de acordo com as características dos eventos de precipitação (quantidade, duração e intensidade) e de outras variáveis hidrogeológicas (topografia, espessura da zona não-saturada e composição dos materiais da Formação).

Wahnfried e Hirata (2004) utilizaram o método WTF, o método do balanço hídrico e aproximação darcyniana para o estudo da recarga do aquífero sedimentar na Cidade Universitária da USP (São Paulo). Os autores concluíram que para a área estudada, o WTF foi o método que apresentou melhores resultados. Menegasse-Velázquez (1996) calculou a recarga em área residencial na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, com situação geológica semelhante à da USP utilizando também o método WTF.

Sharda *et al.* (2006) estimaram a recarga em 7,3% e 9,7% da precipitação anual para os anos de 2003 e 2004, respectivamente, com a utilização do método WTF em região semi-árida localizada no oeste da Índia.

O método WTF é amplamente utilizado na determinação da recarga direta, pois oferece como vantagens a simplicidade e a sensibilidade aos mecanismos do movimento da água na zona não-saturada (HEALY e COOK, 2002).

Segundo Healy e Cook (2002), o método WTF apresenta as seguintes limitações:

- O método é melhor 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.
- As taxas de recarga variam dentro de uma bacia, devido a diferenças na topografia, geologia, declividade da superfície do terreno, vegetação, e outros fatores.
- 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.
- O nível da água subterrânea sofre alterações em resposta a muitos fenômenos diferentes e as flutuações nem sempre são indicativas de recarga ou descarga de água subterrânea.

A incerteza gerada por este método está relacionada à precisão com que o rendimento específico pode ser determinado.

2.3 INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO

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 subsuperficiais, das variações temporais da precipitação, dos padrões de fluxo subterrâneo e do nível d'água no rio (CEY *et al.*, 1998).

Sophocleous (2002) relatou que as interações entre água superficial e subsuperficial ocorrem por fluxo lateral através da zona não-saturada e por infiltração 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.

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).

A direção do processo de troca depende da 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.

É possível distinguir duas direções de fluxo (Figura 2): (1) condição efluente, onde o reservatório subterrâneo contribui para o fluxo superficial; e (2) condição influente, onde a água superficial contribui para o fluxo subsuperficial. O caráter efluente ou influente do rio pode variar ao longo do ano na mesma área.

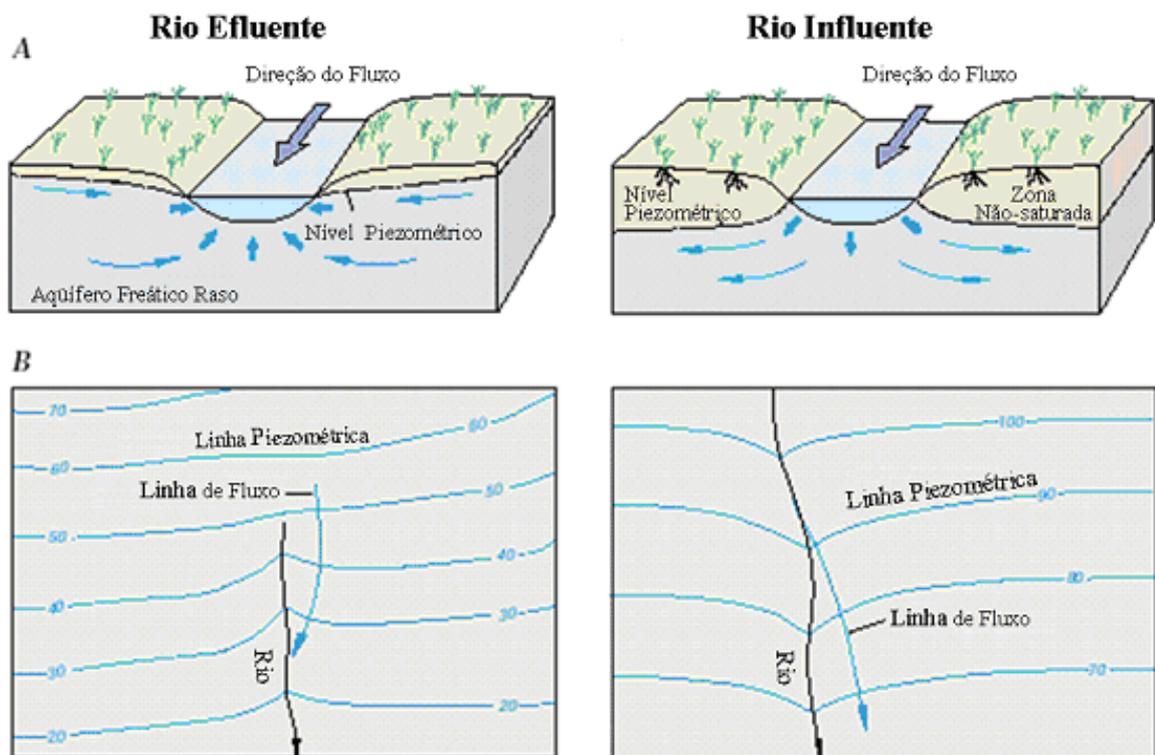


Figura 2 Direções de fluxo na interação rio aquífero

(A) condição efluente e influente de rios. (B) mapa de linhas de fluxos e piezométricas

(Modificado de WINTER *et al.*, 1998).

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. Estes métodos foram descritos por Maziero (2005).

A análise de hidrogramas (ou hidrógrafas) para estimativa da descarga subterrânea também pode ser um método razoável (WINTER *et al.*, 1998; LERNER, 2003). O escoamento total do rio é separado em escoamento superficial e em escoamento básico.

A separação desses fluxos pode ser estimada através da análise da hidrógrafa ou hidrograma (Figura 3).

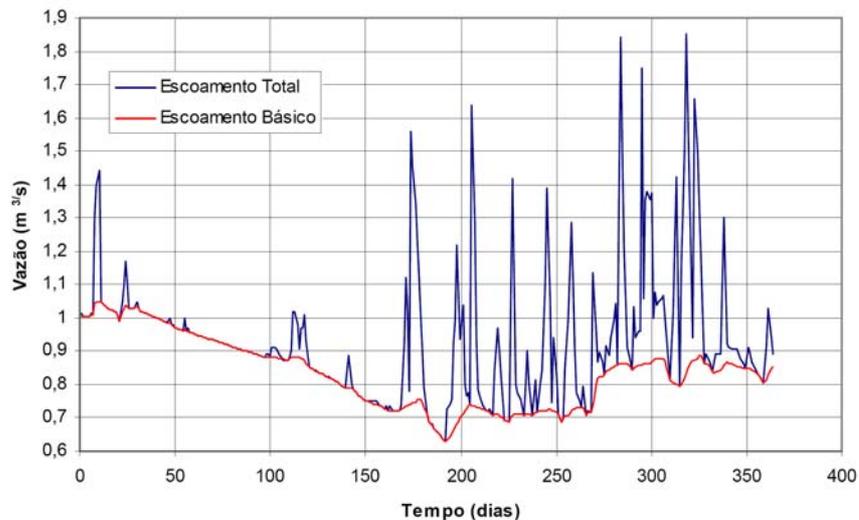


Figura 3 Separação de hidrograma de série de vazões.

Fonte Contin Neto (1987), modificado por Arantes (2003)

Segundo Lerner (2003), três aproximações parecem ser conceitualmente úteis para essa separação: separação gráfica, curvas de taxa do fluxo de base e deslocamento da curva de recessão. Porém, Halford e Mayer (2000), baseados na análise de 13 áreas nos Estados Unidos, afirmam que as técnicas de separação da hidrógrafa, quando usadas sozinhas, são ferramentas pobres para estimativa da descarga subterrânea. 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.

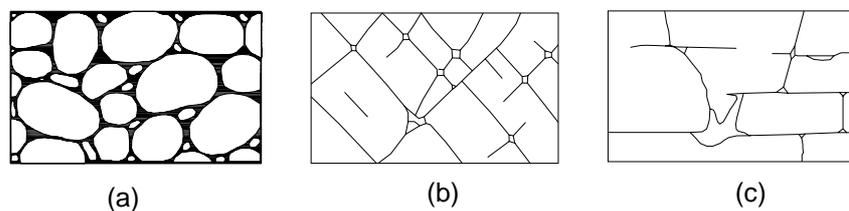
Xu *et al.* (2002) afirmam que o cálculo preciso da contribuição subterrânea para um corpo d'água é extremamente difícil e, segundo Hughes *et al.* (2003), existe necessidade de

mais estudos a fim de gerar refinamentos nas técnicas de separação da hidrógrafa, contribuindo assim para uma maior confiabilidade em suas aplicações.

2.4 POROSIDADE E RENDIMENTO ESPECÍFICO

Com relação ao processo de variação de nível ou armazenamento em aquífero livre (sujeito à pressão atmosférica), a porosidade é a mais importante das propriedades físicas dos solos ou rochas, a ser determinada. A porosidade é a relação entre o volume de vazios e o volume total da amostra (porosidade primária). Além da porosidade primária, há aquela referente às fraturas e cavidades de dissolução (porosidade secundária), as quais resultam de uma gama de processos físicos e químicos.

Estas formas de porosidades são apresentadas na Figura 4.



(a) solo ou rocha de granulometria heterogênea (porosidade primária)

(b) rocha com porosidade secundária devido á fraturas

(c) rocha com porosidade secundária devido á dissolução

Figura 4: Porosidade primária e secundária. Custódio e Llamas (1983).

Klute (1986) apresenta várias técnicas e equipamentos de laboratório e de campo para medir as dimensões e volumes dos poros em amostras de solo e rochas. Muitas das técnicas usadas para medir a porosidade medem somente o espaço dos poros interconectados.

Em muitos solos e rochas, o espaço poroso já está parcialmente ocupado por água aderida antes da elevação do nível do aquífero. Portanto a água poderá infiltrar somente na

porção de poros que não estava previamente saturada. Nos períodos de rebaixamento do nível do aquífero, os poros não são drenados completamente, mas certa quantidade de água fica aderida aos grãos.

O Glossário de Termos Hidrológicos⁵ considera sinônimos os termos porosidade efetiva (n_e) e rendimento específico (S_y) e os define como a relação entre o volume de água que um material permeável previamente saturado pode drenar por gravidade e o volume total do material. Esta propriedade é expressa como uma porcentagem da unidade de volume total da amostra do material inicialmente saturado.

Segundo Ramos *et al.* (1989), este sinônimo é inadequado, uma vez que a porosidade efetiva também é usada, para indicar os espaços porosos interconectados, através dos quais ocorre o fluxo saturado, e seu valor pode ser diferente do rendimento específico. Tal fato ocorre principalmente em solos que apresentam poros não interconectados ou com água imóvel, também chamados *dead end pores* (Figura 5), o que resulta em uma porosidade efetiva-para o fluxo menor que o rendimento específico.

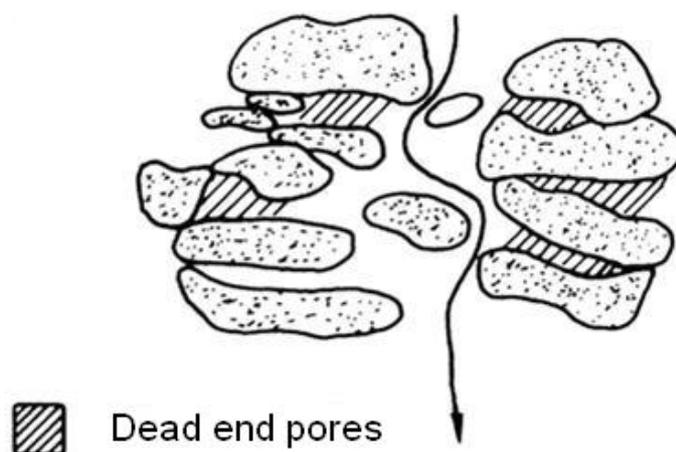


Figura 5: Representação do conceito de poros com água imóvel (dead end pores).

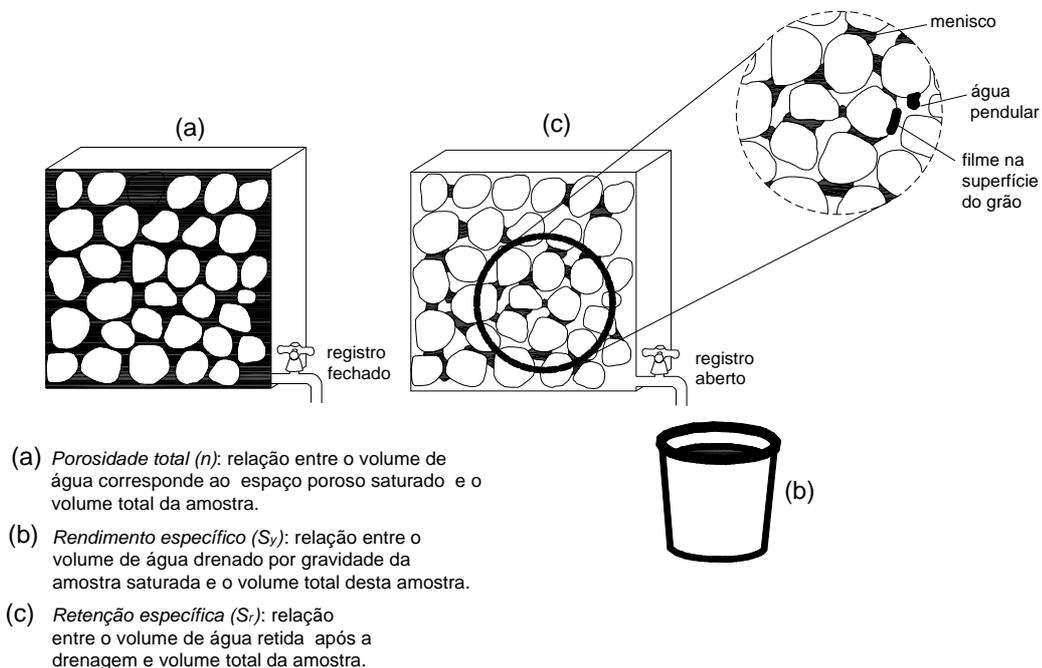
Fonte: Ramos *et al.* (1989).

⁵ Glossário de Termos Hidrológicos Versão 2.0.1 (C) 2002 ANA – Agência Nacional de Água .www.ana.gov.br

As áreas hachuradas representam os poros com água imóvel (*dead end pores*) que serão drenados por gravidade e, assim, este valor será incluído no rendimento específico. Porém, essas áreas não estão disponíveis como espaços porosos interconectados e, portanto, não seriam incluídas na definição de porosidade efetiva. Portanto, a porosidade efetiva é igual ou menor que o rendimento específico.

Para solos arenosos ou outros que não possuam água imóvel em quantidade apreciável, não existe distinção entre os dois usos de porosidade efetiva e, pode-se assumir que a porosidade efetiva é igual à vazão específica (RAMOS *et al.*, 1989).

A Figura 6 apresenta os conceitos de porosidade total (n), rendimento específico (S_y) e retenção específica (S_r), para um aquífero freático formado por solo arenoso.



$$\text{Porosidade total } (n) = \text{rendimento específico } (S_y) + \text{retenção específica } (S_r)$$

Figura 6: Desenho esquemático esclarecendo o conceito de rendimento específico e retenção específica em aquífero arenoso não confinado. Fonte: modificado de Younger (2007).

A água retida na zona não saturada depois de drenada sob a ação da gravidade é denominada retenção específica (S_r) e corresponde numericamente à diferença entre a porosidade total (n) e o rendimento específico (S_y). Esta água que fica nos poros após a drenagem está presa por atração de forças eletrostáticas entre as moléculas de água e a superfície dos grãos minerais. Os poros estreitos favorecem a retenção da umidade na zona não saturada.

Millar (1988 *apud* QUEIROZ *et al.*, 1995)⁶ considera o rendimento específico como um parâmetro constante e equivalente à macroporosidade do solo, podendo ser determinado pela diferença entre os conteúdos de água no solo na saturação e na capacidade de campo. Galdino (1988) também considera este parâmetro equivale à macroporosidade do solo e comenta que os métodos mais comumente empregados em laboratório para sua determinação se baseiam na teoria da capilaridade.

Oliveira (1968) considera como limite de separação entre a macro e microporosidade uma tensão de 0,6 metros de coluna d'água (mca) ou 6 kPa, a qual corresponde aos poros de diâmetros maiores ou iguais a 0,05 cm.

Queiroz *et al.* (1999) submeteram amostras indeformadas à sucção de 6 kPa utilizando mesa de tensão com o objetivo de estudar a variabilidade do rendimento específico de um solo de várzea no município de Piracicaba – SP. Velásquez (1996), estudando a recarga de aquífero freático em sub-bacias no município de São Paulo-SP, utilizou ensaio de curva de retenção utilizando a câmara de Richards na determinação do rendimento específico em amostras indeformadas do solo local.

O rendimento específico constitui um parâmetro de grande importância no estudo da variação da altura do aquífero freático e nos estudos de modelos matemáticos relacionados a

⁶ MILLAR, A. A. (1988) *Drenagem de terras agrícolas: bases econômicas*. São Paulo: Editerra, 1988. 306 p.

aquíferos. Portanto, a precisão com que este parâmetro for estimado, determinará as incertezas dos resultados obtidos.

2.5 AMOSTRAGEM DE SOLO

Quando um determinado tipo de solo precisa ser caracterizado, pela impossibilidade de todo seu volume ser examinado, é necessário que amostras sejam coletadas (CETESB, 1999).

O procedimento de amostragem deve ser selecionado com base na qualidade da amostra requerida, e avaliada por sua adequação aos testes de laboratórios.

As quatro principais técnicas para obtenção de amostras são:

1. Utilização de ferramenta de perfuração ou de equipamento de escavação
2. Utilização de tubo de amostragem dotado de borda cortante, cravado no solo por método estático ou por impacto dinâmico.
3. Perfuração rotativa, na qual um trado oco é cravado e rotacionado no terreno, retirando as amostras.
4. Retirada de blocos de amostra cortados manualmente do local de ensaio.

2.5.1 Qualidade das amostras

A qualidade de tais amostras pode variar consideravelmente, dependendo da técnica ou condição do terreno apresentando sempre algum grau de perturbação.

Idel *et. al* (1969) apresenta uma classificação das amostras de solo em termos de qualidade que é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação da qualidade para amostras de solos.

<i>Qualidade</i>	<i>Propriedades que podem ser determinadas com confiança</i>
Classe 1	Classificação, teor de umidade, densidade, resistência, deformação e características de consolidação.
Classe 2	Classificação, teor de umidade, densidade.
Classe 3	Classificação, teor de umidade.

Classe 4	Classificação.
Classe 5	Nenhuma propriedade (somente seqüência de camadas).

Em geral, classes 1,2 e 3 são alcançadas com amostradores tubulares, perfuração rotativa ou blocos de amostra. Estas amostras são consideradas como amostras indeformadas (conservam ao máximo suas características de massa específica aparente e umidade natural do solo *in situ*).

Amostras obtidas com ferramentas de perfuração ou escavação são de classe 4 ou 5 e são consideradas amostras deformadas. Entretanto, as amostras são obtidas sempre com algum grau de deformação, qualquer que seja o método usado. O resultado de qualquer esforço ou testes de compressibilidade em tais amostras deve ser tratado com cautela.

A dimensão é uma questão a ser levada em consideração na seleção de procedimentos para retiradas de amostras. Amostras com 100 mm de diâmetro são preferidas para uso geral, pois os resultados dos testes de laboratório podem ser mais representativos do material do terreno.

2.6 CONSIDERAÇÕES

Dentre os vários métodos utilizados para estimar a recarga de aquífero aqueles que utilizam a flutuação do nível de aquífero têm sido amplamente usados por oferecer vantagens quanto à aplicabilidade e precisão de resultados.

As seções 2.4 à 2.2 definem a linha da pesquisa que tem como um dos objetivos o estudo da porosidade efetiva (rendimento específico) do solo da bacia e determinação da recarga profunda do aquífero pela equação do balanço hídrico em zona saturada

Neste trabalho não houve registro contínuo do nível do rio ou possibilidade de construir uma curva-chave que represente seu comportamento, portanto foi necessário estimar a vazão a partir de modelos hidrológicos, com base em série de vazões medidas

quinzenalmente. Para isto, foi utilizado o programa IPHS 1 para Windows®⁷ como ferramenta para estimar as vazões na bacia do Ribeirão da Onça utilizando série de precipitações no período do balanço.

⁷ IPHS 1 para Windows® é um programa computacional desenvolvido na UFRGS para modelagem em projetos e estudos de recursos hídricos. Disponível em www.iph.ufrgs.br/iphs1

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 A BACIA REPRESENTATIVA DO RIBEIRÃO DA ONÇA

3.1.1 Localização

A bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça está localizada na região Centro-Oeste do estado de São Paulo, no município de Brotas, entre os paralelos 22°10' e 22°15' de latitude Sul e os meridianos 47°55' e 48°00' de longitude Oeste e encontra-se em faixa de afloramento do Aquífero Guarani (Figura 7). O Ribeirão da Onça é um dos formadores do Rio Jacaré-Guaçu que por sua vez é afluente do Rio Tietê.

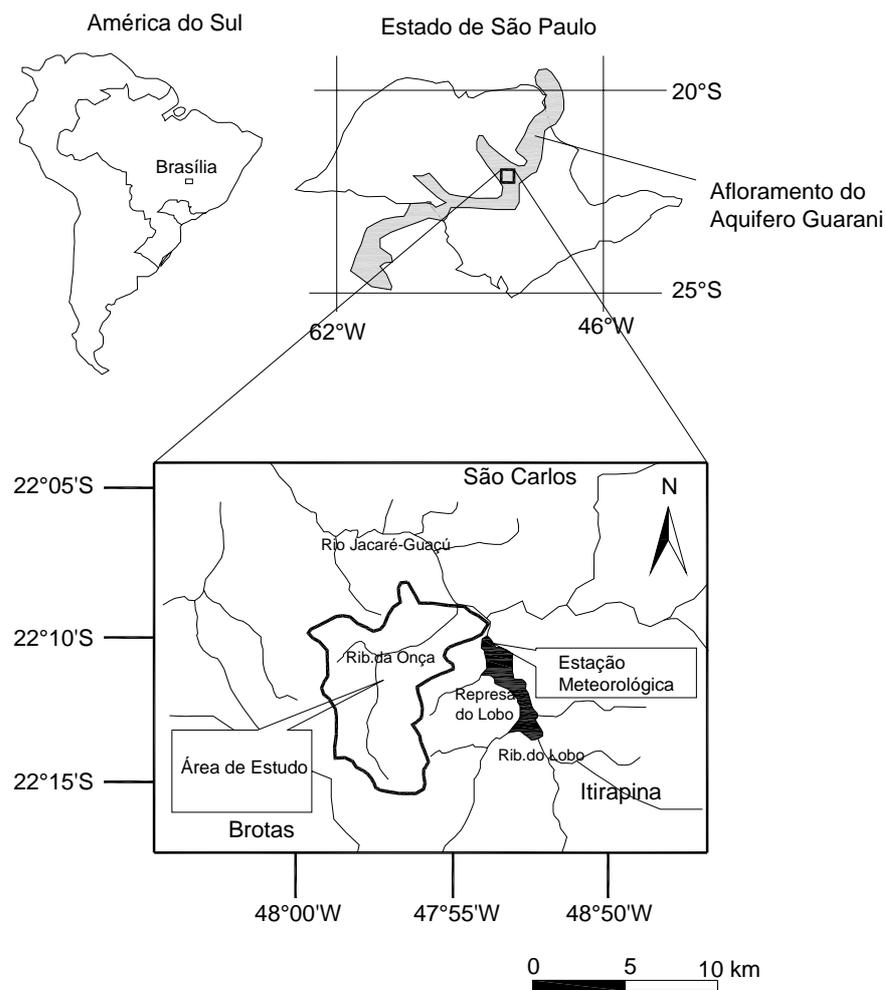


Figura 7: Localização da Bacia do Ribeirão da Onça.

A altimetria da bacia e a localização do ribeirão com seus afluentes estão apresentados na Figura 8.

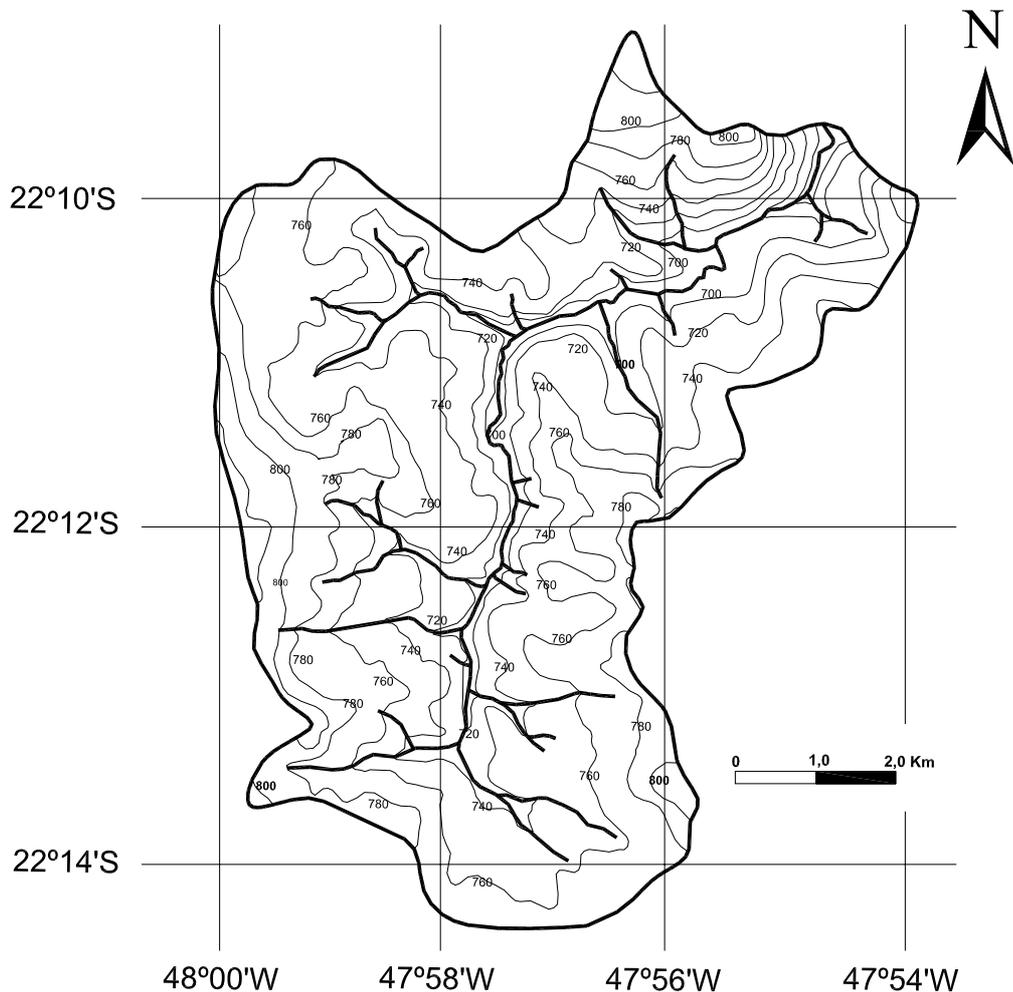


Figura 8: Altimetria da bacia do Ribeirão da Onça.

Fonte: Modificado de Arantes (2003).

3.1.2 Características Físicas

Mattos *et al.* (1984 *apud* CONTIN NETO, 1987)⁸ e Preto Filho (1985 *apud* CONTIN NETO, 1987)⁹, levantaram as principais características físicas da bacia, que são:

⁸ MATTOS, A., RIGHETTO, A. M., CONTIN NETO, D. e POMPÊO, C. A. (1984). *Relações Hidrológicas e Hidrometeorológicas em Bacia Experimental na Região de Afloramento do Aquífero Botucatu*. Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC – USP. Relatório apresentado à FAPESP. São Carlos.

- Área da Bacia 65 km²;
- Perímetro 42 km;
- Extensão do curso d'água principal 16 km;
- Declividade média do curso d'água 8 m/km;
- Altitude máxima 840 m;
- Altitude mínima 640 m.

Para determinação destas características, os autores utilizaram mapa na escala 1: 50.000.

3.1.3 Características hidrogeológicas

Davino (1984 *apud* CONTIN NETO, 1987)¹⁰, levantou as características hidrogeológicas da bacia do Ribeirão da Onça, as quais são descritas a seguir:

a) Geologia

O Ribeirão da Onça desenvolve se na maior parte de seu percurso sobre pacote de arenitos Botucatu e sobre complexo Botucatu-diabásio na região do exutório da bacia.

A Bacia do Ribeirão da Onça, além da Formação Botucatu, passa, à jusante, sobre *sills* de diabásio. Ambas as unidades fazem parte do grupo São Bento, de idade Mesozóica.

Regionalmente, ocorre ainda o Grupo Bauru, recobrando tanto a formação Botucatu, como os supostos basaltos do grupo São Bento, além de formações mais modernas.

A Figura 9 apresenta a geologia da região da bacia do Ribeirão da Onça. O corte geológico da região incluindo a bacia é apresentado na Figura 10.

⁹ PRETO FILHO, V. O. (1985). *Implantação de uma Bacia Experimental para Estudos Hidrogeológicos e Hidrometeorológicos*. Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC – USP. Primeiro relatório semestral jan. – agos., apresentado à FAPESP. 16p. São Carlos.

¹⁰ DAVINO, A (1984). *Considerações hidrogeológicas preliminares sobre a bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça*, Brotas, SP. Ribeirão Preto, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 1984. Paginação irregular. (Relatório apresentado à FAPESP).

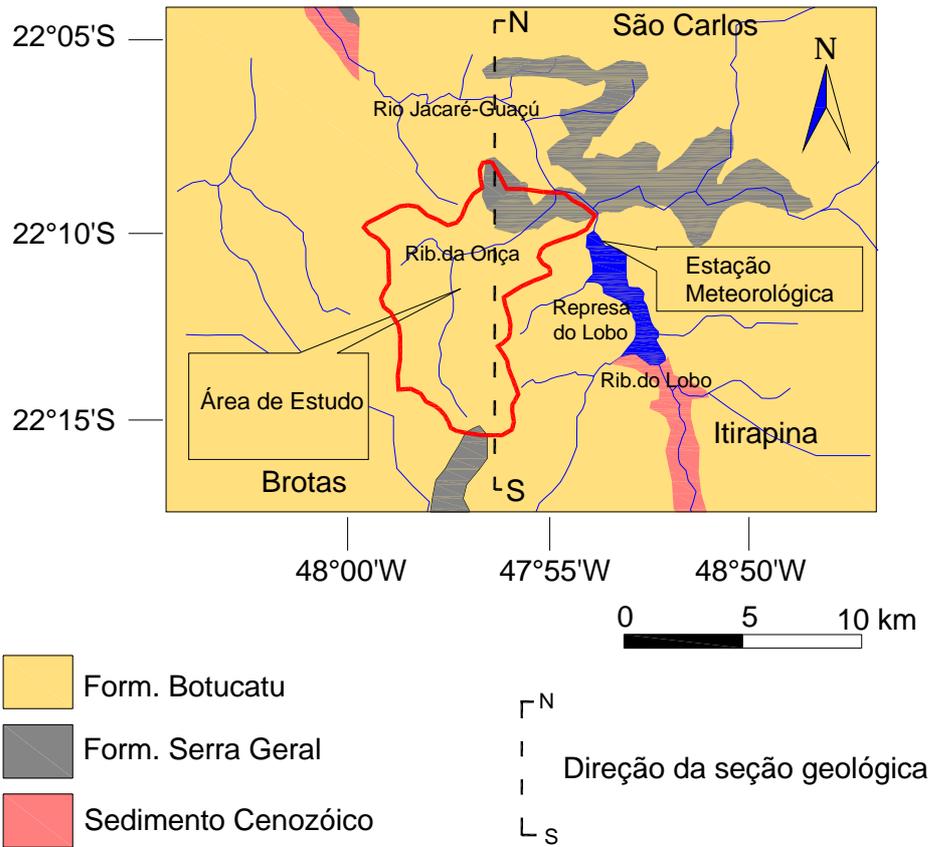


Figura 9: Geologia da região da bacia do Ribeirão da Onça. Fonte SIGRHH (2008).

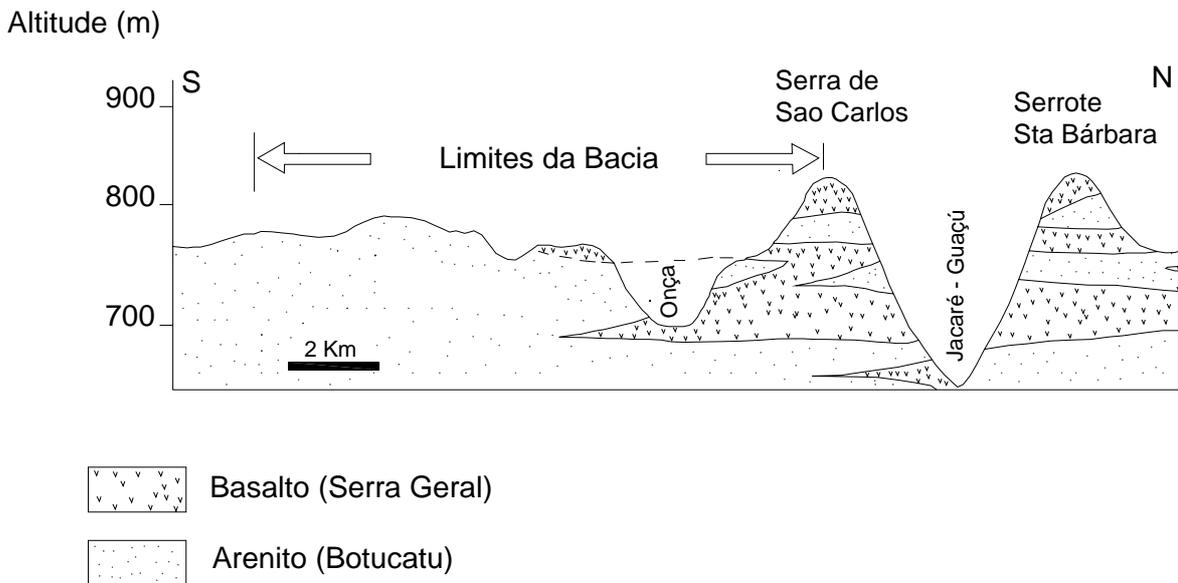


Figura 10: Seção geológica S-N da região da bacia.

Fonte: modificado de Contin Neto (1987).

b) Hidrogeologia

Com medidas dos parâmetros físico-químicos de amostras de água da bacia em poços piezométricos e medidas de eletroresistividade, Davino (1984) concluiu que existem dois aquíferos: um aquífero freático, que representa a passagem das águas de reposição rápidas (as chuvas) pouco salinizado, com maior velocidade de escoamento e, outro abaixo, representado pelo aquífero Guarani propriamente dito.

O aquífero superior, com espessura de algumas dezenas de metros, corresponderia à parte renovável do aquífero, e o outro, mais profundo, à parte mais estável. O superior é constituído por arenitos mais grosseiros, com maior permeabilidade, e o inferior, com menor permeabilidade.

3.1.4 Climatologia

A temperatura média anual da região é de 20,5°C, valor obtido na Estação Climatológica do CRHEA. A classificação climática de Koeppen para a região indica que a bacia possui clima subtropical úmido com chuvas de verão, apresentando variação para clima tropical úmido com inverno seco. A precipitação média anual é de 1300 a 1400 mm.

A caracterização da ocorrência de precipitações na bacia do Ribeirão da Onça foi iniciada por Pompêo (1989), com medições em três pluviógrafos instalados em locais distintos. As séries destes dados no triênio de 1985 a 1987 mostram que os totais diários apresentam-se bastante próximos, comprovando a uniformidade de precipitações na área.

Pompêo (1989) adotou a média aritmética entre os totais diários nos postos como valor médio da bacia. Esse procedimento, apesar de imperfeito quando há ocorrência de chuvas convectivas muito localizadas, demonstra-se bastante útil quando ocorrem falhas na coleta de dados de algum posto. Em seu trabalho, Pompêo (1989) apresenta uma média anual regional de longo tempo igual a 1302,4 mm.

3.1.5 Solo, uso e ocupação

A bacia do Ribeirão da Onça é coberta por um tipo de sedimento superficial encontrado em grande parte do interior do Estado de São Paulo denominado Sedimento Cenozóico. Esta cobertura apresenta espessura geralmente inferior a 10 m, freqüentemente separado da camada subjacente por uma linha de seixos (BORTOLUCCI, 1983).

Devido a sua gênese, este sedimento é pouco compacto com partículas razoavelmente selecionadas, o que provoca uma estrutura bastante porosa. Este sedimento possui duas texturas típicas: uma arenosa (predominante na bacia) e outra argilosa (BORTOLUCCI, 1983). Na Bacia do Ribeirão da Onça, este solo apresenta composição homogênea, havendo presença de argilas na região próxima ao exutório da bacia.

A bacia do Ribeirão da Onça é de uso agrário e pecuário, não sendo observadas áreas consideradas pavimentadas e nenhuma área industrial. A ocupação atual dos solos, cuja cobertura vegetal original foi o cerrado, é composta por pastos, cana de açúcar, laranja, eucalipto, áreas de várzea e culturas de alta rotatividade como soja e amendoim (Figura 11).



a) Eucalipto.



b) Cana de Açúcar.



c) Citros.



d) Pasto.



e) Mata Ciliar.



f) Cerrado.

Figura 11: Ocupação do Solo na bacia do Ribeirão da Onça.

A distribuição espacial das culturas na bacia do Ribeirão da Onça no período do balanço é mostrada na Figura 12.

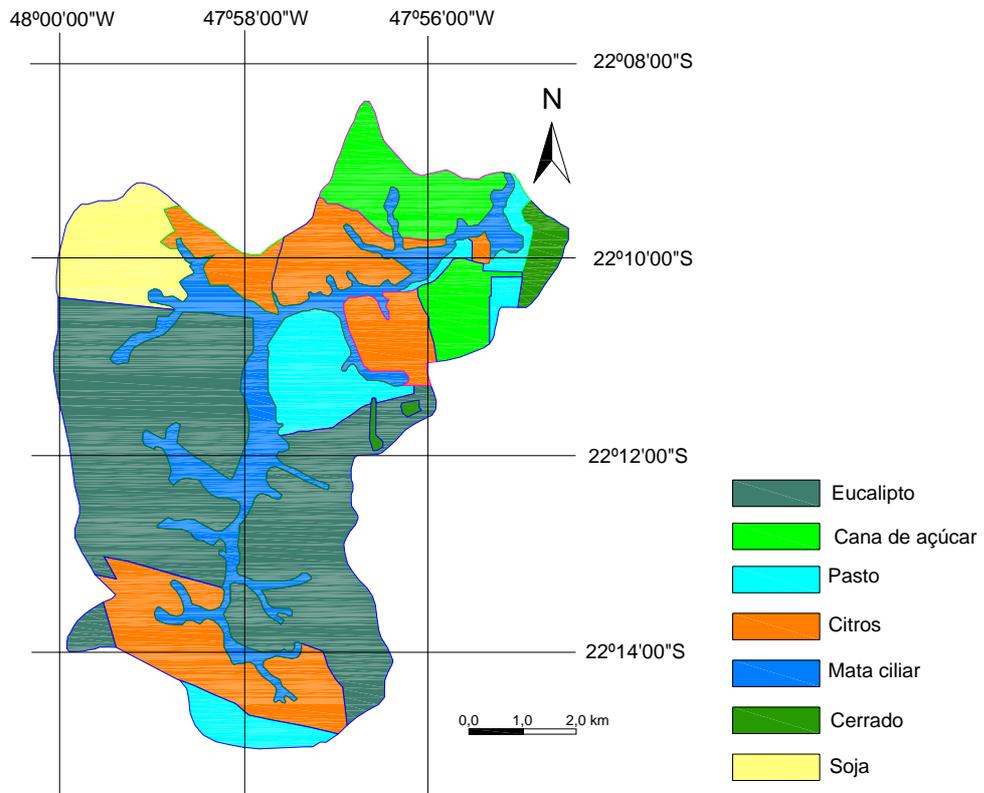


Figura 12: Distribuição espacial das culturas na bacia do Ribeirão da Onça (2004/2007).

A distribuição em porcentagem é mostrada na Figura 13.

Distribuição das culturas na bacia (2004/2007)

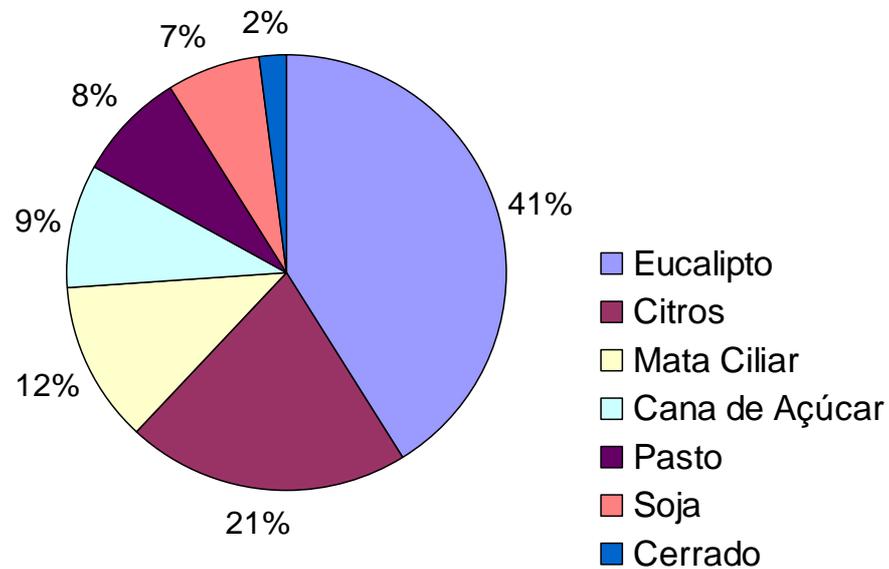


Figura 13: Distribuição das culturas na bacia em porcentagem (2004/2007).

As condições atuais de cultura da bacia deverão ser alteradas com o passar do tempo, implicando em alterações nas condições hidrológicas na bacia como descrito no item 2.5.

3.2 MONITORAMENTO

3.2.1 Nível d'água do aquífero freático

Para o monitoramento do nível d'água há atualmente 23 poços na bacia e arredores (Figura 14), sendo 18 operantes e 5 secos. Estes poços foram construídos e utilizados em trabalhos realizados anteriormente (CONTIN NETO, 1987; ARANTES, 2003; BARRETO, 2005).

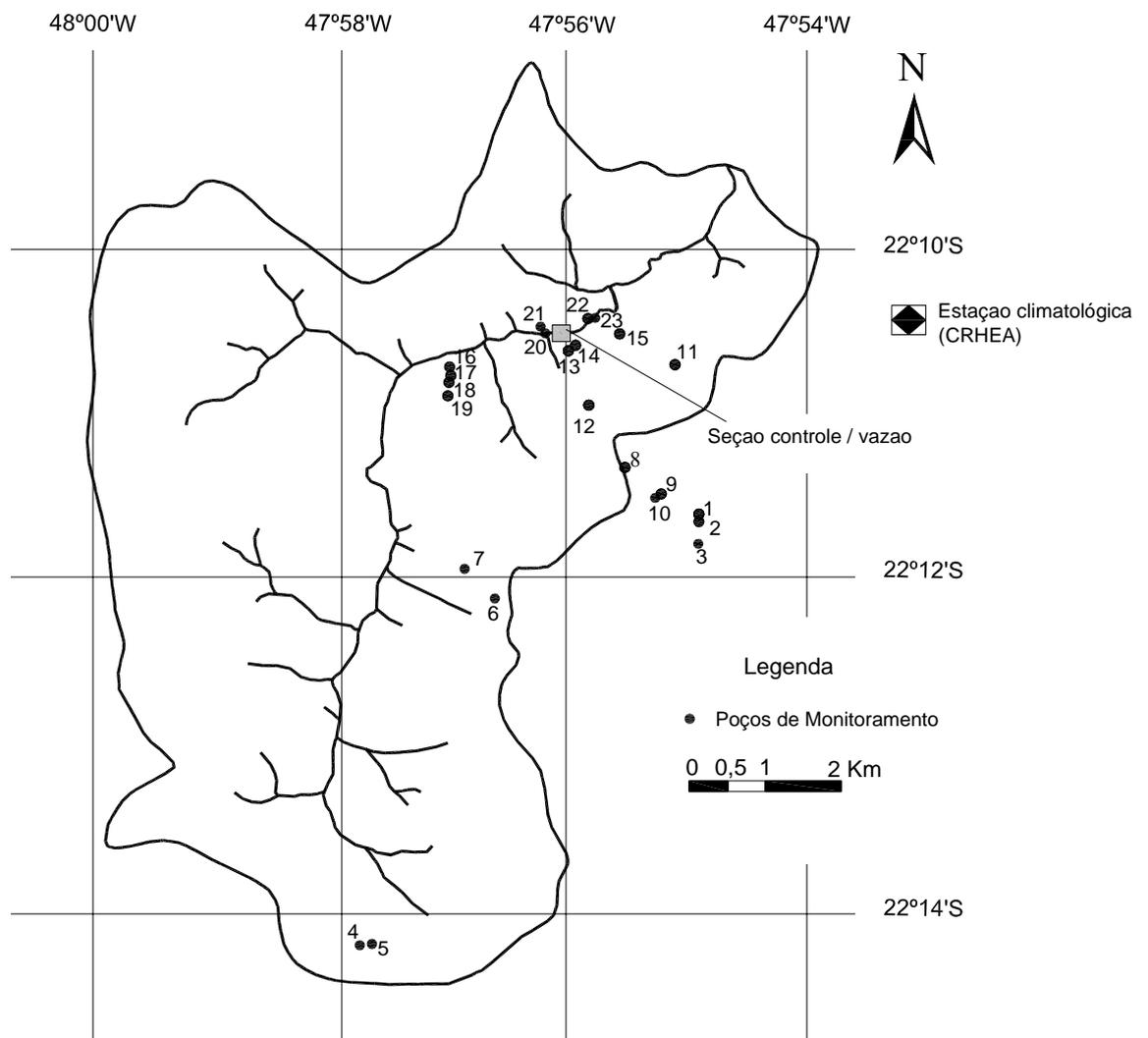


Figura 14: Localização dos poços de monitoramento na bacia.

Estes poços estão distribuídos em locais de várias culturas na bacia (Tabela 2). Sua cota topográfica também é conhecida.

Tabela 2: Localização dos poços de monitoramento, altitude e cultura.

POÇO	Coordenadas Geográficas (WGS 84)		Prof. média do Nível d'água (m)	Cultura no entorno	Situação
	S	W			
1	22°11'31,2"	47°55'18,5"	-	Eucalipto/Pasto	seco
2	22°11'34,5"	47°55'18,7"	14,7*	Eucalipto/Pasto	operante
3	22°11'43,3"	47°55'18,7"	16,4*	Eucalipto/Pasto	operante
4	22°14'37,6"	47°57'46,5"	17,3	Pasto	operante
5	22°14'37,2"	47°57'45,1"	5,2	Pasto	operante
6	22°12'07,9"	47°56'49,0"	-	Eucalipto	seco
7	22°11'55,9"	47°57'05,6"	-	Eucalipto	seco
8	22°11'12,0"	47°55'53,8"	22,9	Citros	operante
9	22°11'23,1"	47°55'35,9"	25,6	Eucalipto	operante
10	22°11'23,3"	47°55'36,2"	20,4	Eucalipto	operante
11	22°10'27,3"	47°55'31,0"	16,9*	Cana de Açúcar	seco
12	22°10'45,3"	47°56'10,3"	26,2*	Citros	seco
13	22°10'22,2"	47°56'20,0"	9,8	Citros	operante
14	22°10'20,0"	47°56'17,0"	6,6	Citros	operante
15	22°10'15,0"	47°55'56,5"	7,9	Cana de Açúcar	operante
16	22°10'30,3"	47°57'14,3"	5,1	Pasto	operante
17	22°10'33,9"	47°57'14,0"	11,1	Pasto	operante
18	22°10'36,8"	47°57'14,6"	13,9	Pasto	operante
19	22°10'42,7"	47°57'15,0"	14,6	Pasto	operante
20	22°10'17,3"	47°56'24,1"	2,9	Mata Ciliar	operante
21	22°10'14,3"	47°56'24,8"	0,6	Mata Ciliar	operante
22	22°10'08,3"	47°56'11,5"	2,1	Mata Ciliar	operante
23	22°10'08,5"	47°56'11,5"	1,3	Mata Ciliar	operante

*Poços que secam fora do período chuvoso.

Para as medidas da variação do nível do aquífero freático são utilizados medidores manuais e automáticos (Figura 15).



Figura 15: Equipamentos para monitoramento do nível d'água.

Os aparelhos automáticos (marca SEBA modelo MDS-Floater) são compostos de bóia e contrapeso e unidade de registro e memória. Os aparelhos são controlados por um programa específico fornecido pelo fabricante e foram instalados permanentemente nos poços de monitoramento de acordo com o esquema apresentado na Figura 16.

Os aparelhos automáticos são programados para registrarem duas leituras diárias. Os dados armazenados nos aparelhos automáticos são coletados mensalmente utilizando um computador tipo *notebook*.

As medidas manuais são executadas quinzenalmente e anotadas em planilhas e posteriormente digitados em banco de dados para posterior análise. Este período entre leituras está de acordo com Taylor e Alley (2001), que definem o período de dias ou semanas para estudo de recarga e armazenamento de aquíferos.

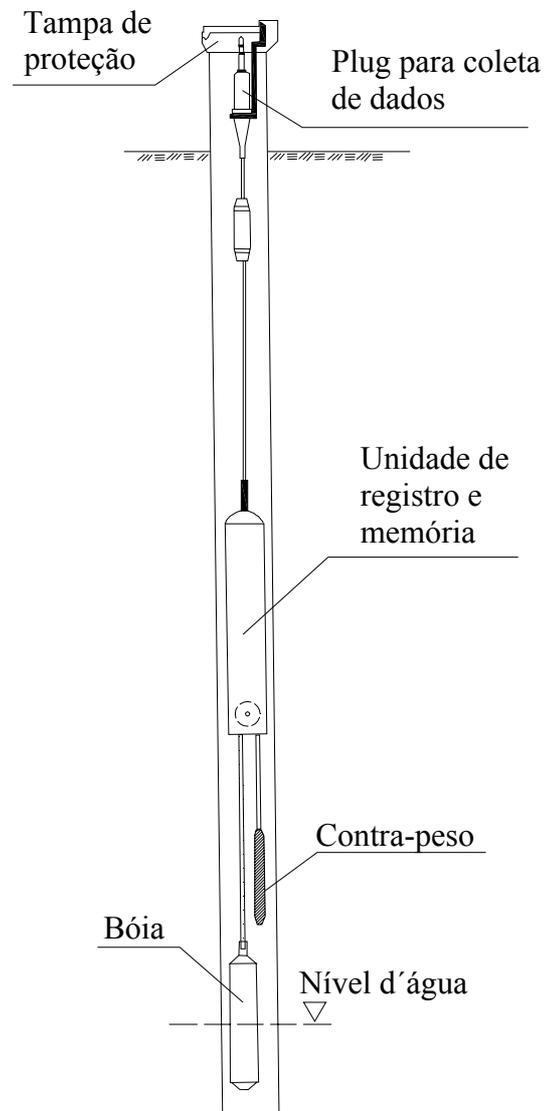


Figura 16: Desenho esquemático de instalação de medidor automático de nível d'água em poço de monitoramento.

O monitoramento da variação do nível d'água tem como objetivo gerar dados que serão utilizados na determinação da recarga direta (R_d) e na variação do armazenamento do aquífero (ΔS).

3.2.2 Precipitação

Righetto (1998) recomenda um número mínimo de estações pluviométricas em função da área de drenagem da bacia. Para a área da bacia do Ribeirão da Onça (6500 ha), o autor recomenda o número de 1 aparelho a cada 750 ha. Entretanto, em estudos anteriores realizados por Contin Neto (1987), Pompêo (1989) e Barreto (2005), estes autores consideraram haver sempre uma distribuição espacial homogênea das chuvas nesta bacia.

Portanto, levando em consideração este fato, os valores de precipitação considerados no trabalho são coletados em apenas um local, ou seja, na estação meteorológica do CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada). Esta estação está localizada nas coordenadas geográficas 22°10'13,7"S e 47°53'55"W (WGS 84) e a uma distância de 7 km do centro da bacia do Ribeirão da Onça.

3.3 ESCOAMENTO BÁSICO

A seção em que são medidas as vazões na bacia (seção de controle) apresenta variação em seu perfil ao longo do tempo (Figura 17). Tal fato é ocasionado por carreamento ou acúmulo de sedimentos no Ribeirão da Onça, dificultando a construção de uma curva-chave para esta seção.

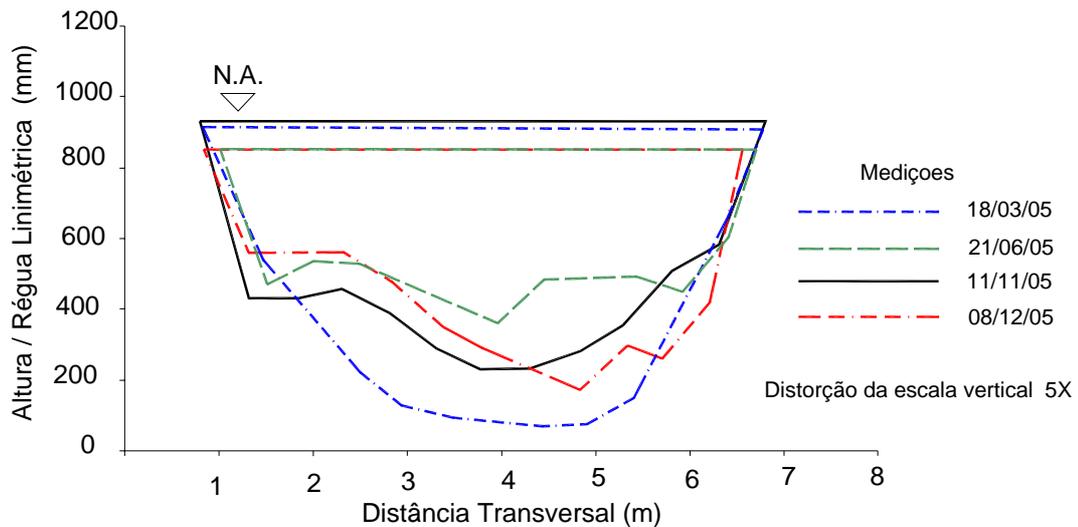


Figura 17: Variação do perfil transversal da seção de controle no ano de 2005.

Fonte: modificado de Barreto (2005).

Portanto para a determinação do escoamento básico foi utilizada a metodologia que consiste nos seguintes procedimentos:

(a) determinação de vazões na seção de controle no período de descarga do aquífero (curva de recessão) no espaço de tempo de duas semanas, utilizando molinete hidrométrico mostrado na Figura 18.

(b) simulações de série de vazões totais que envolvem as seguintes etapas: (i) estimativa de vazões médias diárias através da simulação chuva-vazão, a partir do histórico de precipitações e características físicas da bacia, utilizando o software IPHS 1 para Windows® (Modelo SCS); (ii) o ajuste dos parâmetros do modelo (CN, rugosidade do canal etc.) para compatibilização com os valores de vazões conhecidos e máximos históricos.

(c) Uso do hidrograma gerado para separação dos escoamentos superficial e básico (

Figura 19). É possível separar estes dois escoamentos (para fins de análise individual) utilizando-se método gráfico. O objetivo deste método é determinar uma linha que represente a divisão entre as parcelas superficiais e subterrâneas do escoamento. Assim, acima da linha

tem-se a parcela correspondente ao escoamento superficial e abaixo a correspondente ao subterrâneo, como apresentado na Figura 20.



Figura 18: Molinete hidrométrico marca JCTM modelo MLN-7.

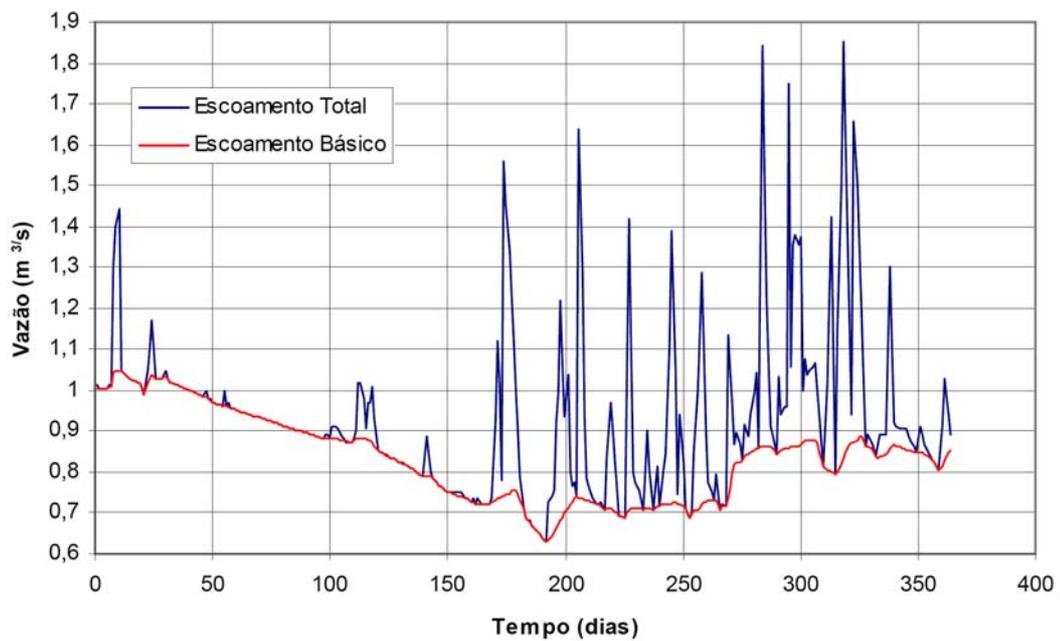
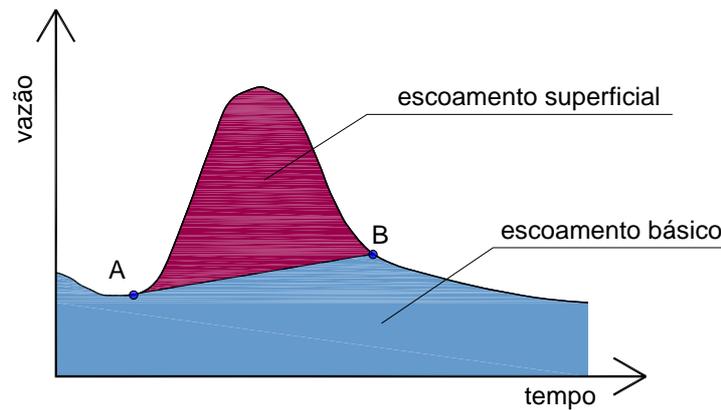


Figura 19: Exemplo de separação de escoamentos no Ribeirão da Onça, Brotas-SP, (1985-1986). Fonte: Contin Neto (1987), modificado por Arantes (2003).



Ponto A : início do escoamento superficial
(mudança na inclinação da curva de vazão)

Ponto B : final da curva de depleção do
escoamento superficial.

Figura 20: Método gráfico para separação do escoamento básico.

Esta metodologia permite estimar o escoamento básico em função da série de precipitações na bacia hidrográfica, com fácil ajuste e geração de séries de vazões.

3.4 BALANÇO HÍDRICO EM ZONA SATURADA

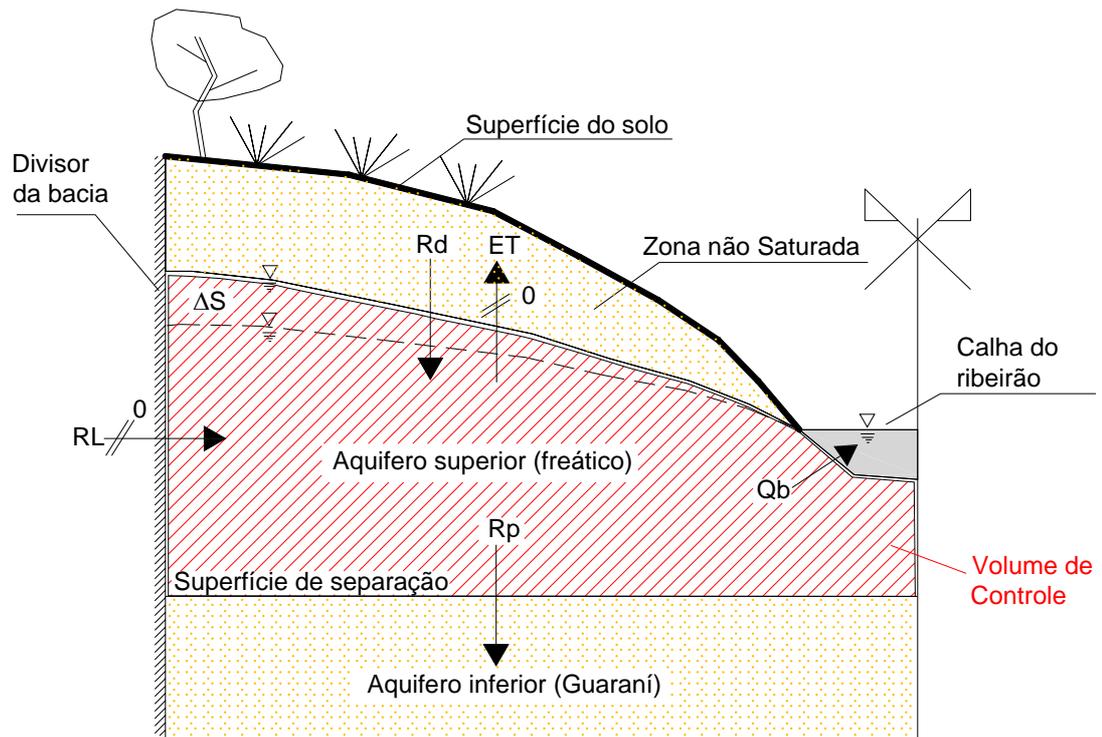
A metodologia utilizada no balanço hídrico assume como volume de controle parte da região saturada do solo na bacia (Figura 21). A entrada no sistema dá-se pela recarga direta (R_d), enquanto a saída do sistema é dada pelo escoamento de base (Q_b) e pela recarga profunda (R_p).

A variação do volume subterrâneo armazenado (ΔS) é determinada a partir da variação do nível nos poços de monitoramento.

O modelo considera recargas laterais (RL) nulas, em função da localização da bacia em cotas topográficas elevadas na região, e que o divisor d'água subterrâneo coincide com o superficial.

Healy e Cook (2002) afirmam que lençóis freáticos próximos da superfície (até 3 m de profundidade) apresentam variações diárias, declinando durante horas do dia em resposta à

evapotranspiração e elevando-se à noite quando a evapotranspiração do aquífero é praticamente nula. Entretanto, a evapotranspiração do aquífero freático (ET) da bacia em estudo será considerada nula em função da profundidade média do aquífero na bacia ser de 15 m.



- Rd: Recarga direta
 ET: Evapotranspiração do lençol freático (considerada nula)
 ΔS : Variação do armazenamento
 RL: Recarga lateral (considerada nula)
 Qb: Escoamento básico
 Rp: Recarga profunda

Figura 21: Modelo conceitual do balanço hídrico em zona saturada.

A Equação a seguir representa o balanço hídrico no volume de controle:

$$R_p = R_d - Q_b - \Delta S \quad (5)$$

Este método requer atenção na determinação do rendimento específico do solo (S_y), pois a recarga direta (R_d) e a variação do armazenamento subterrâneo (ΔS) dependem diretamente deste valor.

3.5 COLETA DE AMOSTRAS INDEFORMADAS

3.5.1 Amostrador tubular

O requisito fundamental para uma ferramenta de amostragem é que esta deva causar a menor deformação possível no terreno. O amostrador tubular é um instrumento utilizado na obtenção de amostras de solo, por percussão ou pressão, mecanizada ou manual e consistem essencialmente de um cilindro, dotado de uma das bordas cortante e provido de recursos para conexão à haste de cravação. A borda cortante e a fricção da parede interna são as duas características de projeto que devem ser levadas em conta para minimizar o grau de deformação das amostras. O amostrador tubular pode ser utilizado em solo coesivo, rocha fraca ou que tenha sofrido processo de intemperismo.

Clayton *et al.* (1995), apresentam as dimensões características de um amostrador tubular para uso geral (Figura 22).

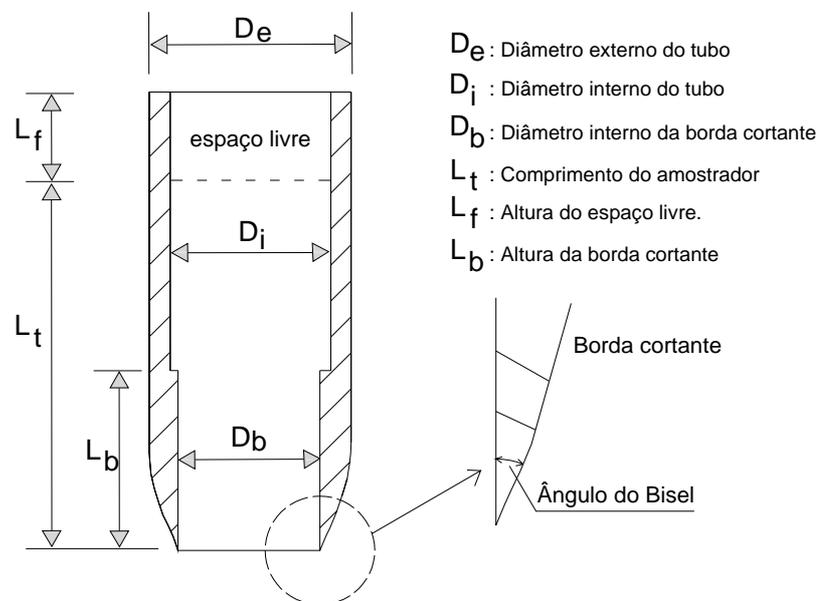


Figura 22: Dimensões características do amostrador tubular.

Fonte: modificado de Clayton *et al.* (1995).

As principais relações entre as dimensões características do amostrador são:

a) Folga interna (I_i): O diâmetro interno da borda cortante (D_b) deverá ser pouco menor que o diâmetro interno do tubo de amostra (D_i), para dar folga interna. Esta relação é dada pela equação:

$$I_i = \frac{D_i - D_b}{D_b} \times 100\% \quad (6)$$

Esta folga reduz o arraste da fricção na parede interna do tubo e ajuda a conservar a amostra quando esta entra no tubo e sofre leve expansão elástica. Clayton *et al.* (1995) recomendam que a abertura interna relativa (I_i) seja menor que 2%.

b) Razão de Área (I_a): A razão de área representa o volume de solo deslocado pelo amostrador em relação ao volume da amostra e é dada por:

$$I_a = \frac{D_e^2 - D_b^2}{D_e^2} \times 100\% \quad (7)$$

A razão de área deve estar próxima de 30% em amostradores padrões.

O uso de um sistema de *liner* (amostrador descartável para solo) aumenta a razão de área e pode reduzir a qualidade das amostras em uma ou mais classes.

O ângulo da borda biselada do amostrador está relacionado com a razão de área, os valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Relação entre coeficiente de área e ângulo do bisel. Fonte: Clayton *et al.* (1995).

<i>Razão de Área (%)</i>	<i>Ângulo do Bisel (°)</i>
5	15
10	12
20	9
40	5
80	4

O comprimento do amostrador (L_t), não considerando o espaço livre, deve ter um mínimo de 450 mm. A fricção da parede interna pode ser reduzida pela limpeza e polimento do interior do amostrador.

Em solos coesivos e de baixa consistência, o amostrador pode muitas vezes obter amostras de classe 1, entretanto, amostras de classe 2 são as obtidas com maior frequência. Em materiais frágeis ou estreitamente fissurados, certas rochas fracas, argilas duras e também em materiais pedregosos, são obtidas amostras de classe 3; se houver água no furo de perfuração a qualidade das amostras é reduzida para classe 4. Em solos de pouca coesão, tais como silte e areia fina siltosa, as amostras podem soltar quando o amostrador for retirado do terreno.

Para a coleta das amostras utilizadas neste trabalho, foi confeccionado de um amostrador de acordo com valores dos índices recomendados por Clayton *et al.* (1995), descritos anteriormente.

As dimensões são apresentadas na Figura 23.

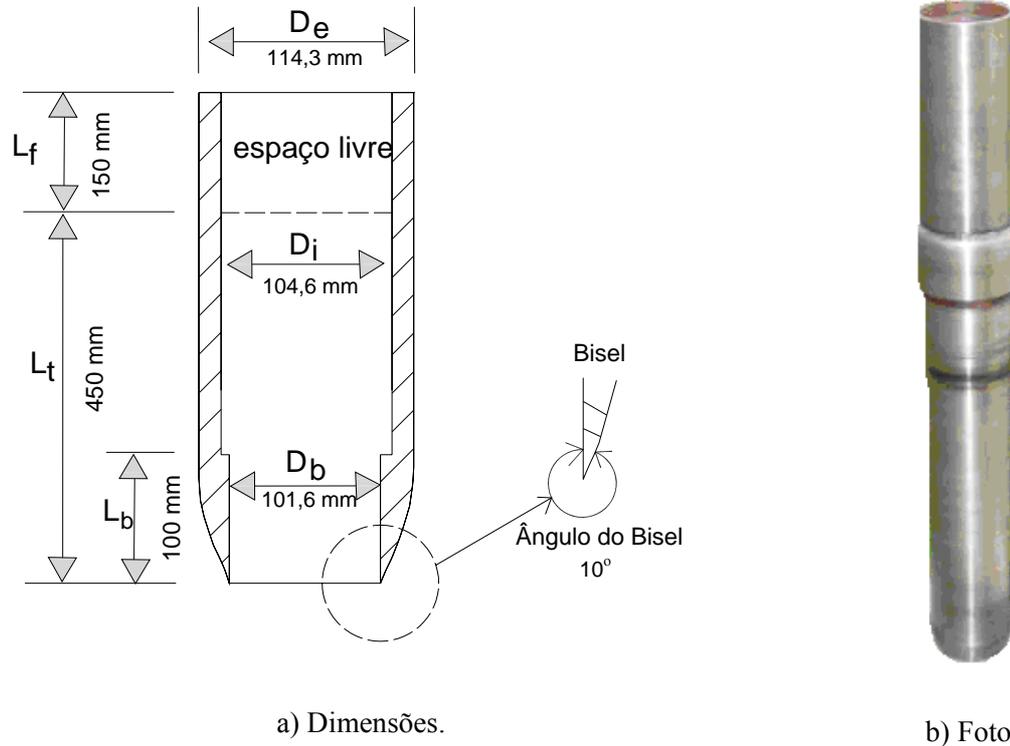


Figura 23: Dimensões e foto do amostrador tubular utilizado na pesquisa.

Os valores dos índices do amostrador são:

- a) Abertura Interna Relativa (I_i)

$$I_i = \frac{D_i - D_b}{D_b} = 2\%; \text{ valor recomendado } [\leq 2,0\%].$$

- b) Coeficiente de área (I_a)

$$I_a = \frac{D_e^2 - D_b^2}{D_e^2} = 21\%; \text{ valor recomendado } [\leq 30\%].$$

Observa-se que foi possível alcançar os índices recomendados para este tipo de amostrador. O comprimento da peça é 600 mm, ficando 450 mm para o amostrador e 150 mm para o espaço livre.

3.5.2 Procedimentos de amostragem

Antes da obtenção da amostra, a base do furo de sondagem ou superfície de escavação deve estar livre de materiais soltos ou deformados. Entretanto caso ainda haja algum material solto, este irá normalmente para dentro do espaço livre do amostrador.

O amostrador foi projetado e confeccionado para ser acoplado a uma máquina de perfuração, o que proporcionou uma operação de cravação com pressão contínua e velocidade constante. A distância vertical em que a ferramenta é cravada é observada e registrada, pois se a cravação for excessiva o solo poderá ser comprimido no interior do amostrador. O espaço livre admite que o amostrador tubular possa ser completamente preenchido sem risco de danificação da amostra.

Depois de cravado o amostrador é continuamente retirado com baixa velocidade. O comprimento da amostra recuperada é registrado e comparado com a distância que a ferramenta foi cravada. Este procedimento é necessário, pois se o comprimento da amostra for menor que a distância de cravação, esta sofreu alguma compressão; se for maior, a ferramenta permitiu que a amostra deslizesse para fora do tubo no início da retirada.

Os locais de coleta (Figura 24) foram escolhidos em função de fatores como cobertura do solo, proximidade de determinados poços de monitoramento e profundidade do aquífero freático.

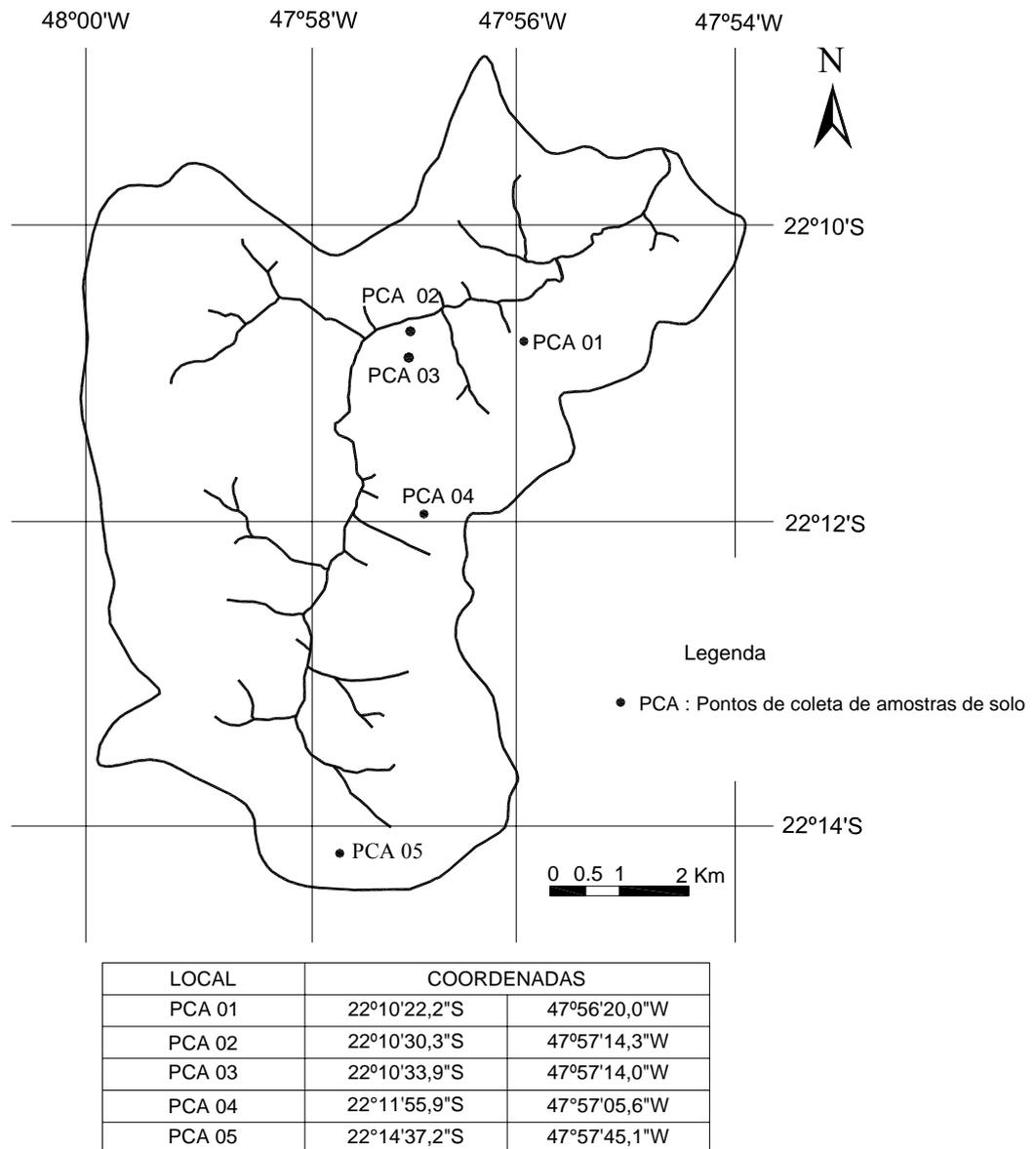


Figura 24: Locais de coleta de amostras indeformadas de solo na bacia.

A profundidade da coleta foi determinada pela faixa de flutuação do nível do aquífero freático. Normalmente o aquífero atinge seu nível máximo nos meses de fevereiro ou março e seu nível mínimo em novembro ou dezembro de cada ano.

A metodologia utilizada nas operações de amostragem é a seguinte:

- Preparação do local de retirada das amostras (limpeza do terreno e retirada de materiais que interferem nos trabalhos).
- Montagem e preparação dos equipamentos de apoio (barraca, mesa, fogareiro, caixas para transporte) (Figura 25); montagem e preparação dos equipamentos de amostragem (amostrador tubular acoplado à haste de perfuração) (Figura 26).
- Operações com o amostrador (Figura 27).
- Tratamento (preparação e aplicação de parafina nas amostras coletadas) e armazenagem para transporte (acondicionamento em caixas plásticas com serragem).
- Desmontagem e recolhimento de todos os equipamentos e transporte das amostras para o Laboratório de Fenômeno de Transportes do Departamento de Hidráulica e Saneamento – SHS.



Figura 25: Equipamentos de apoio para coleta de amostra indeformada.



Figura 26: Amostrador tubular acoplado a máquina de perfuração.

O tempo gasto para executar estas operações foi em média 12 horas. Normalmente teve início às 8 horas e término as 20 horas.

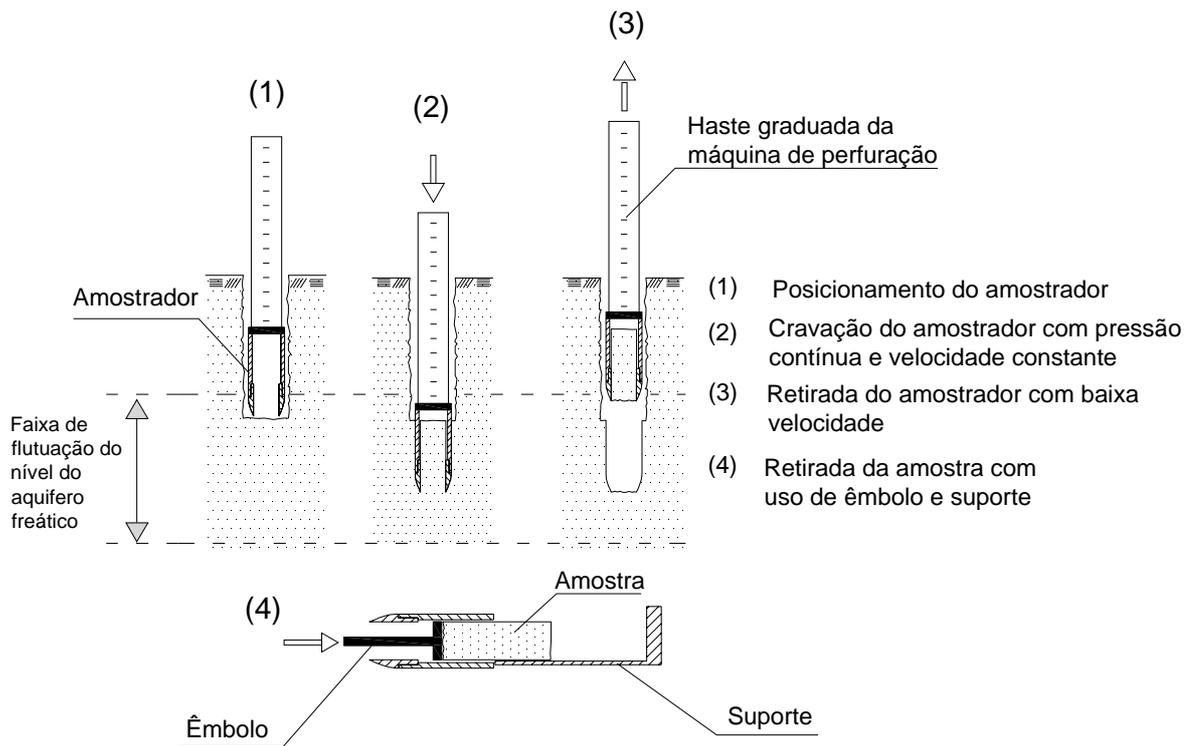


Figura 27: Principais operações de coleta do solo com amostrador tubular.

Foram estabelecidos alguns procedimentos para o manuseio, etiquetagem, transporte e armazenamento e conservação das amostras, descritos a seguir:

- Para a preservação da estrutura e umidade natural, imediatamente após o início de sua retirada de um furo de perfuração, as amostras foram cobertas com parafina.
- Todas as amostras foram etiquetadas com um número de referência. As informações da etiqueta foram escritas com tinta indelével de forma a suportar os efeitos do ambiente e do transporte das amostras.
- As amostras foram armazenadas em local onde a temperatura não ultrapassa a faixa de 2°C a 45°C, valor recomendado para evitar danificação e deteriorização.

Tais procedimentos visaram assegurar que as amostras fossem facilmente identificadas e utilizadas quando requeridas.

3.6 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO ESPECÍFICO DO SOLO

3.6.1 Método de saturação e drenagem

Inicialmente, para o ensaio do rendimento específico das amostras foi utilizado o processo de saturação e drenagem. Para este estudo, foi montado um equipamento conforme desenho esquemático da Figura 28.

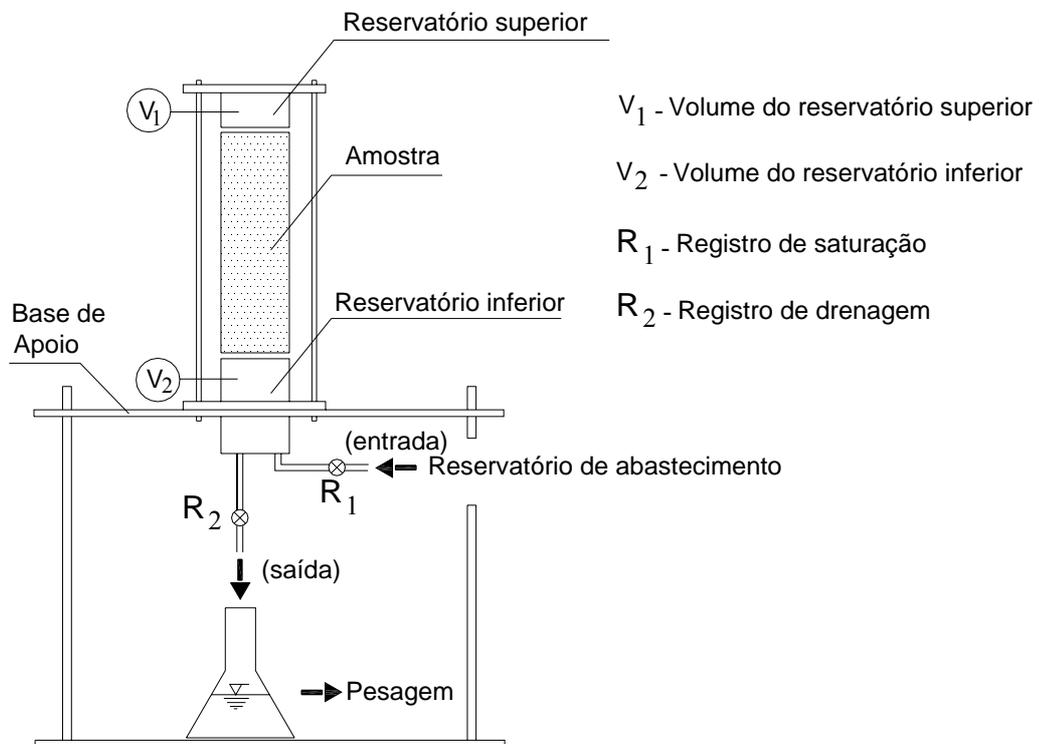


Figura 28: Esquema de aparelho para determinação de rendimento específico em laboratório (saturação- R_1 e drenagem- R_2).

A operação deste equipamento é constituída pelos seguintes procedimentos:

- A amostra é acoplada ao equipamento, solidarizando-a aos reservatórios superior e inferior (de volumes conhecidos).
- O registro R_2 (saída) é fechado, o registro R_1 (entrada) é aberto. Aguarda-se o preenchimento do reservatório inferior, a saturação da amostra de solo e o preenchimento do reservatório superior.
- Após esta etapa, o registro R_1 é fechado, o registro R_2 é aberto e a água do interior dos reservatórios e da amostra é drenada por gravidade e coletada em um vasilhame.
- A água drenada é pesada em balança eletrônica para determinação do volume total (V_t), em função do peso específico e temperatura. Este volume é constituído pela soma do volume do reservatório superior (V_1), reservatório inferior (V_2) e volume drenado da amostra saturada (V_{dr}) conforme

$$V_t = V_1 + V_2 + V_{dr} \quad (8)$$

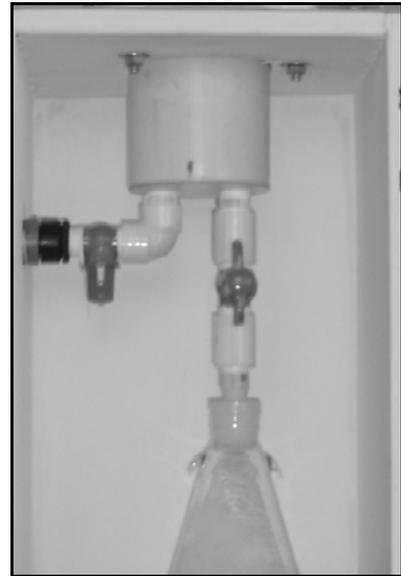
A partir do volume total (V_t) e conhecendo-se os volumes V_1 e V_2 , obtém-se o volume drenado da amostra saturada (V_{dr}). A porosidade drenável ou rendimento específico (S_y) é obtida dividindo-se V_{dr} pelo volume da amostra de solo (V_{am})

$$S_y = \frac{V_{dr}}{V_{am}} \quad (9)$$

O equipamento construído para este ensaio é mostrado na Figura 29.



a) Equipamento para saturação e drenagem.



b) Detalhe dos registros de controle.



c) Amostra de solo preparada para o ensaio.



d) Ensaio em andamento.

Figura 29: Equipamento para ensaio de saturação e drenagem.

3.6.2 Método de tensão da água no solo

Posteriormente, foi construído outro equipamento para determinação do rendimento específico com base no potencial matricial da amostra. O equipamento é denominado Funil de

Haines e constitui-se de um funil munido de uma placa porosa na parte inferior de seu corpo. Os princípios e equações, em que se baseia o equipamento, são descritos por Libardi (1995).

O modo de operação do funil é mostrado na Figura 30.

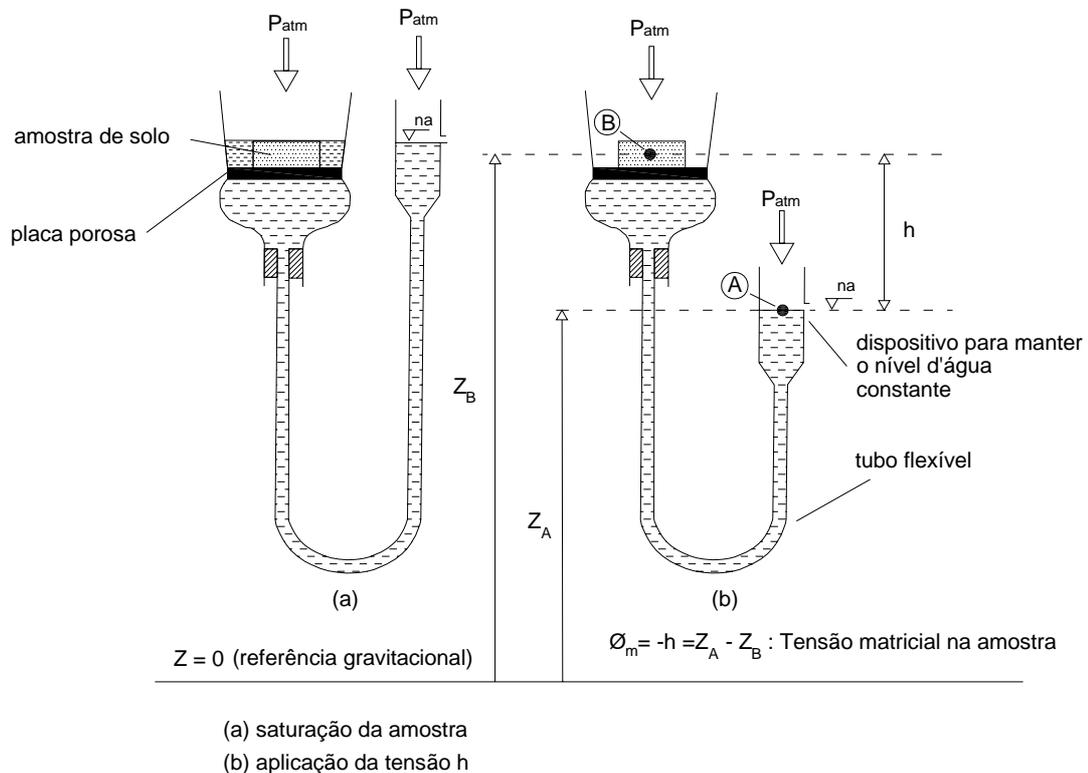


Figura 30: Procedimento para medida da tensão matricial da amostra:

(a) saturação do solo, (b) Aplicação da tensão h.

Fonte: Libardi (1995).

Para este estudo, funil de placa porosa (Figura 31a) foi construído a partir de peças de PVC encontradas no mercado, placa porosa (Figura 31d) com 50 kPa de pressão de entrada de ar, mangueiras plásticas e grampos estranguladores. Na parte inferior há um reservatório com um pequeno orifício para drenagem da amostra (Figura 31b).

Para o ensaio, a distância entre a placa porosa e o orifício do reservatório inferior é de 60 cm. Isto faz com que a amostra esteja submetida a uma sucção de 6 kPa, necessária para se retirar toda a água dos poros maiores que 0,05 mm.



a) Conjunto montado (3 funis).



b) Detalhe do reservatório inferior.



c) Detalhe do funil com a placa porosa.



d) Placa porosa (50 kPa).

Figura 31: Funil de Haines utilizado para a determinação do rendimento específico do solo.

Além do funil de placa porosa os seguintes itens são utilizados no ensaio:

- Cápsulas de alumínio;
- Papel filtro;
- Pedra porosa para a saturação dos corpos-de-prova;
- Estufa mantida a temperatura de 110 °C;
- Recipiente para saturação (bandeja plástica);
- Água destilada e deaerada;
- Balança com capacidade de 1000,0 g, com sensibilidade de 0,1 g.

A seguir são descritos os procedimentos do ensaio.

A amostra (em tréplica) a ser ensaiada é saturada previamente durante 24 horas. A pedra porosa é utilizada como apoio e o papel filtro como condutor da umidade (Figura 32).

Após este processo, a amostra saturada é pesada imediatamente antes de ser colocada no funil (Figura 33).



Figura 32: Saturação das amostras.



Figura 33: Pesagem da amostra.

Para iniciar a utilização do funil, é necessário preencher todo o sistema com água destilada e deaerada, tomando cuidado para que não haja formação de bolhas de ar. Em seguida, a placa porosa e os acessórios são colocados no interior do funil (Figura 34). Terminada esta etapa, a amostra é colocada no interior do funil (Figura 35) e o conjunto é fechado com o tampo (Figura 36).



Figura 34: Preparação do funil.



Figura 35: Amostra colocada no funil.



Figura 36: Funil com tampo.

Para iniciar o ensaio, os grampos estranguladores das mangueiras são afrouxados, deixando verter água pelo orifício do reservatório inferior. Após a estabilização da sucção quando cessa a saída de água no orifício do reservatório inferior (tempo médio de 18 horas), a amostra é retirada do funil para ser pesada. Posteriormente a amostras é seca em estufa para a determinação da microporosidade..

Além deste ensaio foi realizada a granulometria das amostras para melhorar o conhecimento do solo da bacia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa seção inicia com apresentação dos dados de pluviometria, nível d'água nos poços de monitoramento e vazão no corpo d'água, obtidos na bacia do Ribeirão da Onça no período de setembro/2004 a setembro/2007.

Em seguida, são apresentados os resultados da campanha de coleta de amostras de solo indeformadas e os valores do rendimento específico, obtidos em ensaio de laboratório. Posteriormente, são apresentados os valores de recarga direta e variação do armazenamento, ambos dependentes do rendimento específico. Também é apresentado o valor do escoamento básico na seção de controle do ribeirão, determinado por separação do hidrograma da série de vazões.

A seção termina com o resultado do balanço hídrico em zona saturada, aplicado para o período citado anteriormente, subdividido em 3 anos hidrológicos

4.1 PLUVIOMETRIA

Os dados pluviométricos foram obtidos na estação meteorológica situada no CRHEA por leitura direta em pluviômetro tipo *Ville de Paris*. Os valores das precipitações totais mensais observadas durante o período de monitoramento são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Precipitações totais mensais no período do monitoramento (2004-2007).

Precipitações totais mensais (mm)				
Mês	2004	2005	2006	2007
Janeiro	302	542	181	381
Fevereiro	264	69	263	245
Março	74	155	163	93
Abril	57	13	24	96
Mai	135	88	16	62
Junho	44	42	18	14
Julho	56	4	27	161
Agosto	171	16	16	0
Setembro	38	85	55	1
Outubro	127	85	115	130
Novembro	168	101	127	194
Dezembro	183	225	362	126
Total Anual	1619	1425	1367	1503

As precipitações ocorridas no período do balanço (setembro 2004 a setembro de 2007) foram comparadas com a média histórica (Tabela 5).

Tabela 5: Média histórica das precipitações totais mensais (1971/2007)

Precipitações mensais (mm) - média histórica (1971/2007)	
Janeiro	286
Fevereiro	207
Março	161
Abril	80
Mai	67
Junho	39
Julho	37
Agosto	35
Setembro	75
Outubro	125
Novembro	170
Dezembro	243
Total Anual (mm)- média histórica	1527

Verifica-se pela Figura 37 que a menor precipitação total anual ocorreu em 2006 (1367 mm), este valor é 11% menor que a média histórica (1527 mm). Em 2004 a precipitação foi

de 1619 mm, ou seja, 6% acima da média. Em 2007 a precipitação de 1503 mm está muito próxima da média histórica.

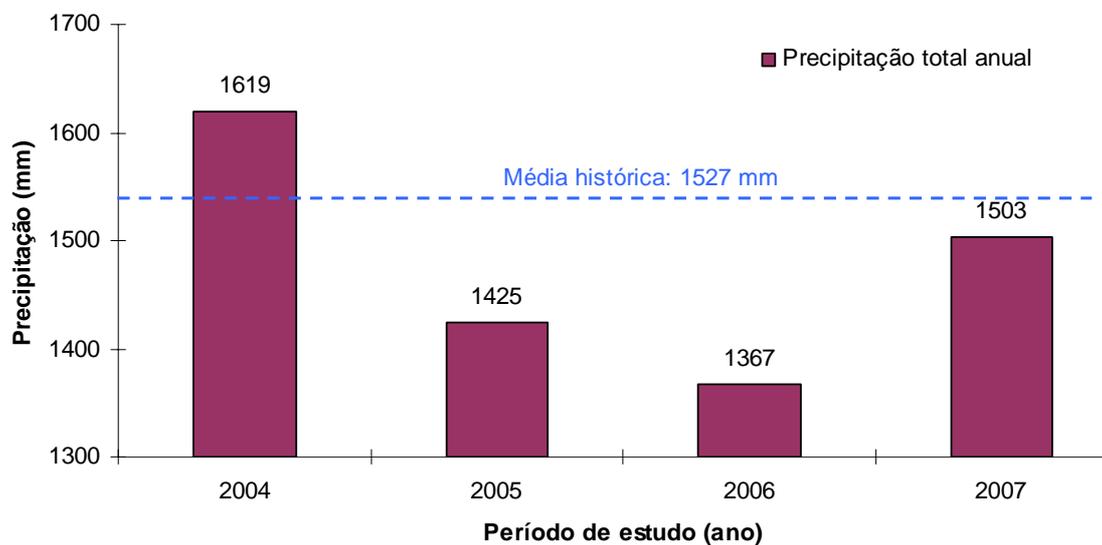


Figura 37: Evolução da precipitação no período de estudo.

Observando a Figura 38, construída a partir da média histórica das precipitações mensais (1971 a 2007) e precipitações no período do estudo, observa-se que os períodos chuvosos correspondem aos meses de outubro a março e os períodos de estiagem correspondem aos meses de abril a setembro. Verifica-se também que as precipitações totais ocorridas nos meses de janeiro e fevereiro de 2005 estão discrepantes, indicando que houve um adiantamento das chuvas de fevereiro para o mês de janeiro. As demais têm boa aproximação com a média histórica. Tal fato propicia certa confiança no uso das medidas de precipitação para o cálculo do balanço hídrico.

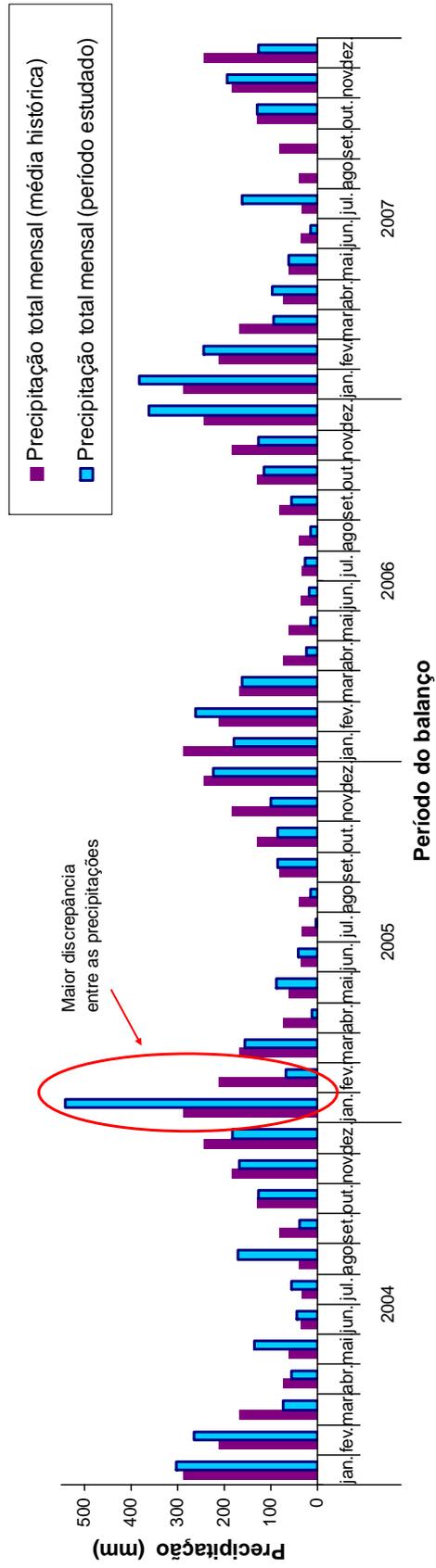


Figura 38: Precipitação mensal no período 2004/2007

4.2 VARIACÕES DO NÍVEL D'ÁGUA

A bacia conta com 23 poços de monitoramento construídos em projetos realizados anteriormente. Destes 23 poços, 21 estão em operação e 2 estão completamente desativados (poços 06 e 07). As tabelas com as medidas de variação de nível d'água nos poços de monitoramento no período do balanço são apresentadas no Apêndice A.

Entretanto, para este estudo foram descartados os poços 01, 02, 03, 09 e 10 por não pertencerem à bacia e os poços 11 e 12 por permanecerem secos por determinado intervalo de tempo por causa da pequena profundidade de seus filtros em relação ao nível do aquífero. Também foram descartados os poços 20, 21, 22 e 23, pois estão localizados às margens do ribeirão. Estes poços apresentam rápida elevação do nível freático em resposta a um determinado evento de chuva, devido à pequena espessura da zona não saturada (aproximadamente 1,0 m). Para que isto fosse monitorado em todos os eventos de chuva, seria necessário um monitoramento com intervalo de tempo menor entre as medições, que atualmente são feitas quinzenalmente. O poço 04 foi descartado por seus filtros estarem localizados a grande profundidade (aproximadamente 100 m).

Portanto foram utilizados 9 poços no estudo (05, 08, 13, 14, 15, 16, 17,18 e 19), os quais são apresentados na Figura 39.

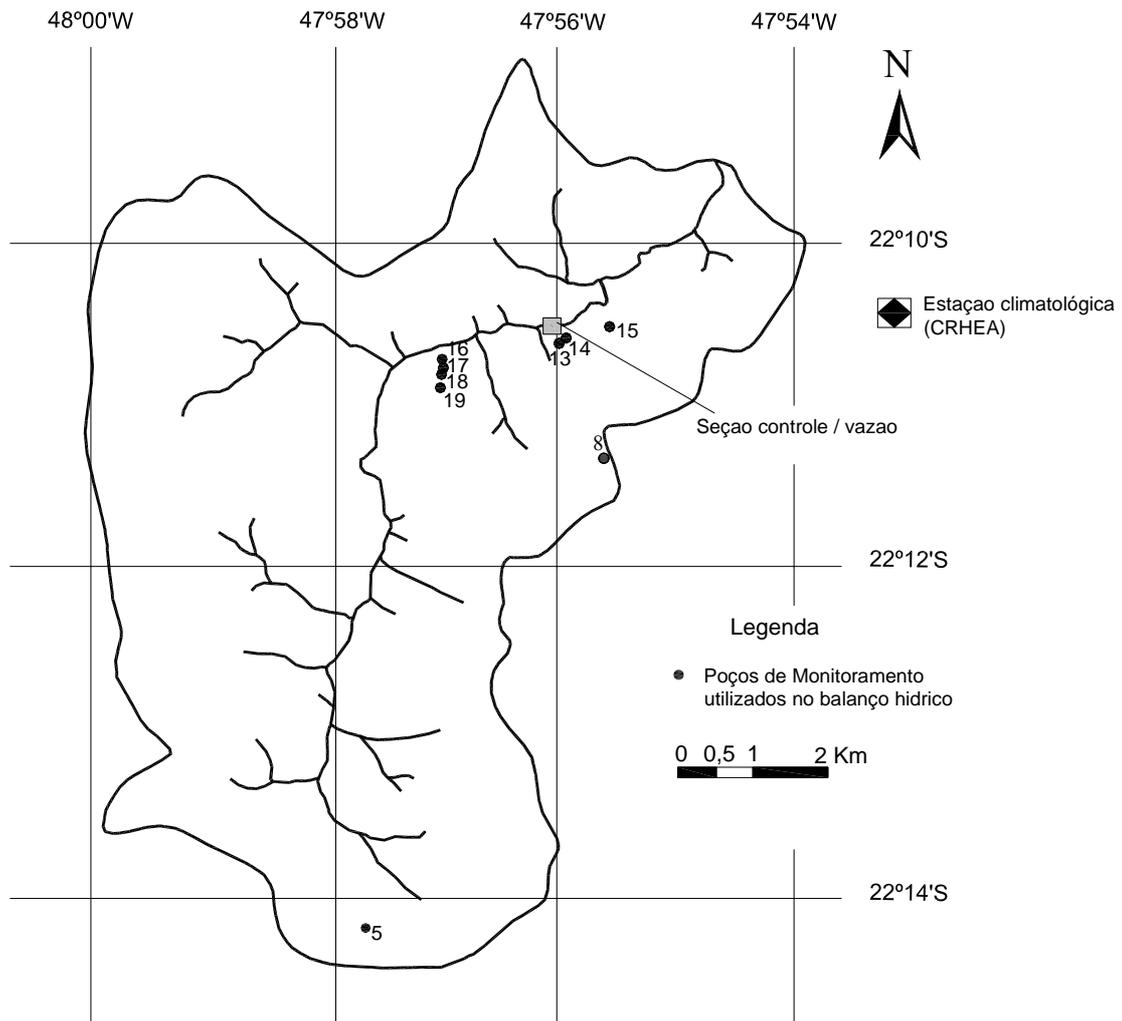


Figura 39: Poços de monitoramento utilizados no balanço hídrico.

A variação do nível do aquífero em relação à superfície do solo para estes poços é apresentada na Figura 40, para o período de monitoramento.

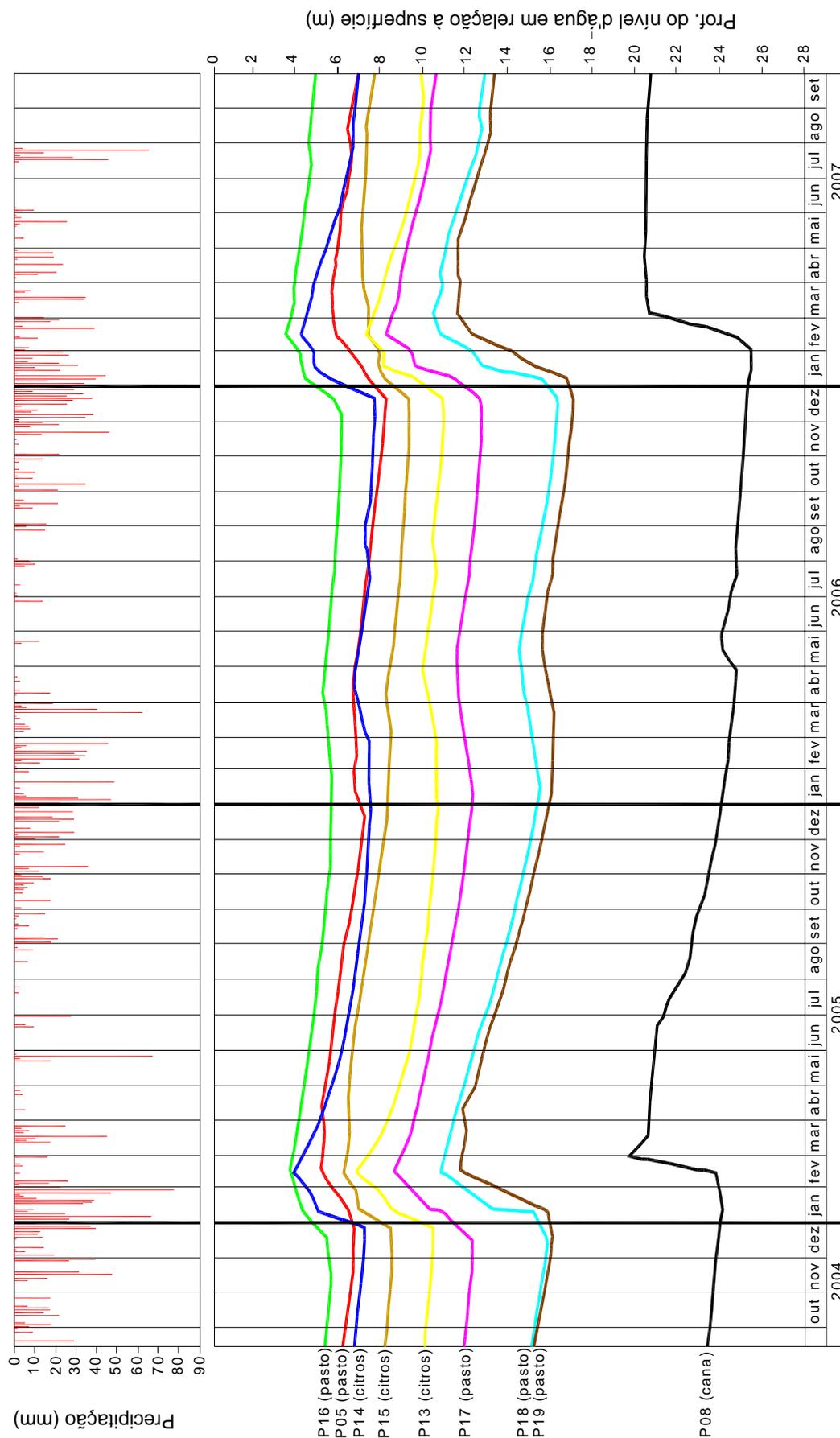


Figura 40: Gráfico da variação do nível d'água nos poços na bacia do Ribeirão da Onça

Os dados do monitoramento indicam que os eventos de chuva no período de novembro a março (com pico no mês de janeiro) determinam uma elevação dos níveis d'água nos poços, apresentando valores máximos no mês fevereiro. Portanto pode-se considerar que o período de recarga corresponde aos meses de dezembro a março. A partir de abril há um decréscimo nos valores de carga hidráulica vinculado ao início do período de estiagem para o ano

Pequenas precipitações praticamente não ocasionam respostas sensíveis nos níveis, como pode ser observado no período de abril a agosto em que há uma diminuição significativa das chuvas.

Entretanto, isto ocorre nos anos em que o valor da precipitação anual está próximo da média histórica. No ano hidrológico 2005/2006, a precipitação total esteve 11% abaixo da média histórica, provocando pouca variação nos níveis dos poços.

Analisando o ramo ascendente das curvas da Figura 40 observa-se que, para o período chuvoso 2004/2005 e 2006/2007, a ascensão ocorreu entre os meses de dezembro e março, quando a precipitação total foi de 1244 mm e 1323 mm respectivamente (Tabela 6). Em 2005/2006, ocorreu uma ascensão muito sutil no período de janeiro a abril devido à baixa precipitação total de 1017 mm (18% menor que 2004/2005 e 30% menor que 2006/2007)

Tabela 6: Precipitação na bacia para os períodos chuvosos durante o período de estudo.

<i>Mês</i>	<i>Precipitação (mm)/ano de referência</i>		
	2004/2005	2005/2006	2006/2007
Outubro	127	85	115
Novembro	168	101	127
Dezembro	183	225	362
Janeiro	542	181	381
Fevereiro	69	263	245
Março	155	163	93
Total	1244	1017	1323

Com relação ao comportamento das curvas Figura 40, os poços localizados em locais com menor zona não saturada apresentam ramos com declividade suave (poços 05, 14, 15 e

16), ao passo que com o aumento da profundidade a declividade tende a se acentuar (poços 08, 17, 18, 19). Porém, há um trecho da curva de recessão do poço 08, que não segue este comportamento. Nos meses finais do período de estudo, seu nível permanece praticamente estável, enquanto os demais apresentam variação.

Ainda, com relação ao comportamento do poço 08, a curva não apresenta grande defasagem na posição dos picos em relação aos demais poços. Porém, o início da recuperação está defasado, iniciando em fevereiro, enquanto os demais iniciam em dezembro ou janeiro.

Com isto, verifica-se que a espessura da zona não saturada tem influência no comportamento dos poços.

4.2.1 Mapa potenciométrico

Com as cotas do nível d'água obtidas no monitoramento foi possível gerar um mapa com as curvas potenciométricas para os períodos seco e chuvoso na região da bacia em que estão localizados os poços (Figura 41).

As datas escolhidas para a confecção do mapa foram 15 de fevereiro de 2005, na qual os valores dos níveis d'água nos poços foram os maiores no período chuvoso, e 15 de dezembro de 2006, dia em que os valores foram os menores ao final do período de seca.

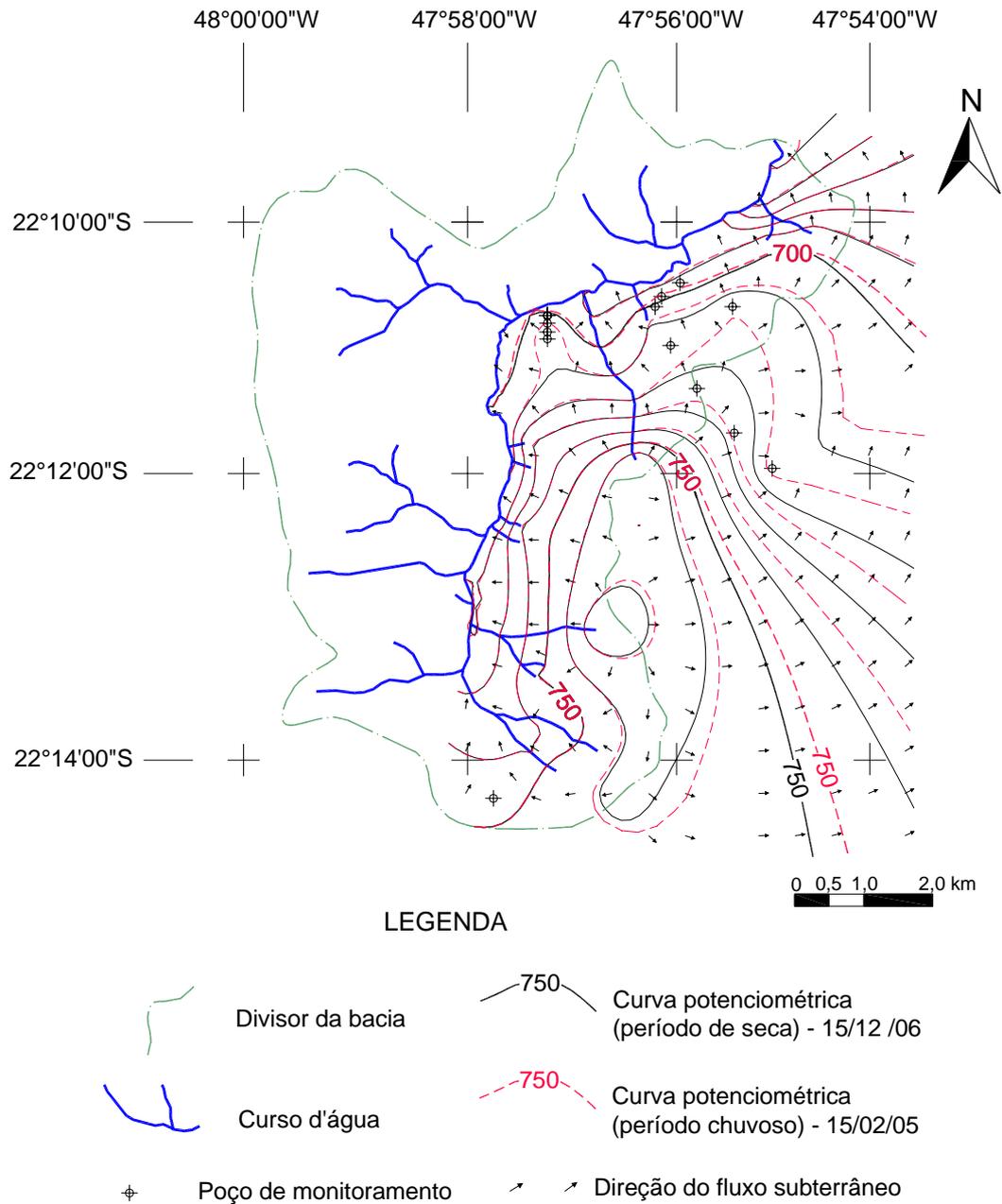


Figura 41: Mapa potenciométrico na região da bacia para os dias 15/02/05 e 15/12/06.

As curvas potenciométricas para os dois períodos praticamente coincidem na região próxima ao curso d'água e separam-se próximo do divisor da bacia, constatando que as variações dos níveis d'água são maiores nesta região.

No mapa potenciométrico são apresentadas as direções de fluxo, indicando que o divisor subterrâneo é muito próximo do superficial nesta região da bacia. Posteriormente, com

a construção de novos poços de monitoramento na região oeste, será possível a verificação da coincidência dos divisores para toda a bacia.

4.3 RENDIMENTO ESPECÍFICO (S_y)

4.3.1 Coleta das amostras

Os locais em que foram coletadas as amostras de solo para determinação do rendimento específico foram apresentados no item 2.5, Figura 24.

Amostras indeformadas (Figura 42 e Figura 43) coletadas nas profundidades que compreendem as faixas de variação do nível do aquífero freático foram utilizadas em ensaio de ou rendimento específico. As amostras que sofreram alterações na estrutura foram utilizadas em ensaio de granulometria.



Figura 42: Tratamento e aplicação de parafina na amostra de solo indeformada.



Figura 43: Amostras indeformadas prontas para transporte.

Durante as coletas das amostras foram encontrada linhas de seixos em (Figura 44), confirmando uma das características do sedimento cenozóico descrito no item 3.1.5.



Figura 44: Linha de seixos encontrada durante coleta de amostras.

Local PCA 04, profundidade 16,50m.

Além deste ponto foram encontrada linha de seixos no PCA 03 na profundidade de 9,20 m e no PCA 05 na profundidade 6,50 m.

4.3.2 Ensaios

O ensaio para determinação da porosidade drenável (rendimento específico) baseado em tensão de água no solo utilizando funil de Haines é descritos no item 3.6.2. Este ensaio foi realizado inicialmente no laboratório do Departamento de Geotecnia da EESC-USP e posteriormente no laboratório de Fenômenos de Transporte do Departamento de Hidráulica e Saneamento - SHS da EESC-USP. Cada amostra foi ensaiada em tréplica.

As planilhas referentes aos cálculos são apresentadas no Apêndice D. Os valores rendimento específico encontrados para as amostras em várias profundidades foram condensados e apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados dos ensaios de rendimento específico.

<i>Locais de coleta de amostra de solo</i>									
PCA 01		PCA 02		PCA 03		PCA 04		PCA 05	
Prof.(m)	Sy	Prof.(m)	Sy	Prof.(m)	Sy	Prof.(m)	Sy	Prof.(m)	Sy
13,00	8,7%	3,00	15,4%	6,10	12,4%	14,80	9,6%	4,40	16,8%
14,00	7,8%	4,00	15,2%	7,10	12,4%	16,00	10,4%	5,40	15,7%
15,80	9,0%	4,50	14,7%	8,40	8,9%	16,90	11,1%	6,00	15,1%
-	-	-	-	9,30	10,4%	18,10	12,7%	-	-
-	-	-	-	-	-	19,10	9,0%	-	-
Média	8,5%	Média	15,1%	Média	11,3%	Média	10,6%	Média	15,9%
Desvio	0,6%	Desvio	0,4%	Desvio	1,7%	Desvio	1,4%	Desvio	0,9%

O valor médio do rendimento específico varia de 8,5% a 15,9%, conforme a distribuição espacial dos pontos de coleta. Verifica-se que há uma elevação deste valor em função da profundidade em alguns pontos de coleta das amostras (PCA 02,03 e 05). Entretanto, em outros pontos (PCA 01 e 04), o valor do rendimento específico não segue este comportamento.

Além do rendimento específico, relacionado à macroporosidade, foi determinada a microporosidade do solo, utilizando estufa para secar as amostras. Com a soma destas porosidades obtém-se a porosidade total, que pode ser verificada pela equação

$$n = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right) \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (10)$$

em que:

n = porosidade total (%);

ρ = massa específica do solo (g/cm^3);

ρ_s = massa específica do mineral (g/cm^3).

Para a determinação da massa específica do solo (ρ) foram utilizados os valores de peso e volume obtidos nos ensaios das amostras. O valor de massa específica do sólido (ρ_s) foi adotada como 2,65 g/cm³ (solo arenoso). Este é um valor médio, encontrado na literatura sobre mecânica dos solos.

A Tabela 8 apresenta os valores das porosidades determinadas pelo ensaio e, posteriormente, utilizando a equação (10).

Tabela 8: Porosidades estimadas para diferentes pontos.

Local	Prof.	Porosidade/Ensaio (%)			Porosidade Calculada (%)				(tc-te) %
		Macro	Micro	total/ensaio (te)	ρ (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	textura	total / calc. (tc)	
PCA_01	13,00	8,7	27,3	36,0	1,764	2,65	Arenosa	33,42	7,1
	14,00	7,8	30,0	37,8	1,766	2,65	Arenosa	36,94	2,0
	15,80	9,0	32,6	41,6	1,648	2,65	Arenosa	41,13	0,9
PCA_02	3,00	15,4	17,3	32,7	1,663	2,65	Arenosa	37,25	13,8
	4,00	15,2	18,0	33,2	1,663	2,65	Arenosa	37,24	12,3
	4,50	14,7	19,2	34,0	1,669	2,65	Arenosa	37,02	8,9
PCA_03	6,10	17,4	17,0	34,4	1,567	2,65	Arenosa	40,85	18,7
	7,10	12,4	21,0	33,4	1,624	2,65	Arenosa	38,72	15,9
	8,40	8,9	23,8	32,7	1,756	2,65	Arenosa	33,75	3,2
	9,30	10,4	22,0	32,4	1,739	2,65	Arenosa	34,39	6,2
PCA_04	14,80	9,6	22,2	31,8	1,682	2,65	Arenosa	36,52	14,8
	16,00	10,4	19,2	29,6	1,669	2,65	Arenosa	37,02	25,1
	16,90	11,1	24,5	35,6	1,548	2,65	Arenosa	41,58	16,9
	18,10	12,7	19,7	32,5	1,661	2,65	Arenosa	37,34	15,0
	19,10	9,0	29,0	38,1	1,717	2,65	Arenosa	35,20	7,5

Os valores de porosidade total obtidos com o ensaio em sua maioria condizem com os obtidos com a equação (10), embora alguns apresentem variações próximas de 20%. Em média a diferença entre as duas determinações foi de 11%.

Foram realizados ensaios de granulometria do solo para diversos pontos de coleta e construídas curvas granulométricas para representar o solo da bacia. Estas curvas são apresentadas na Figura 45.

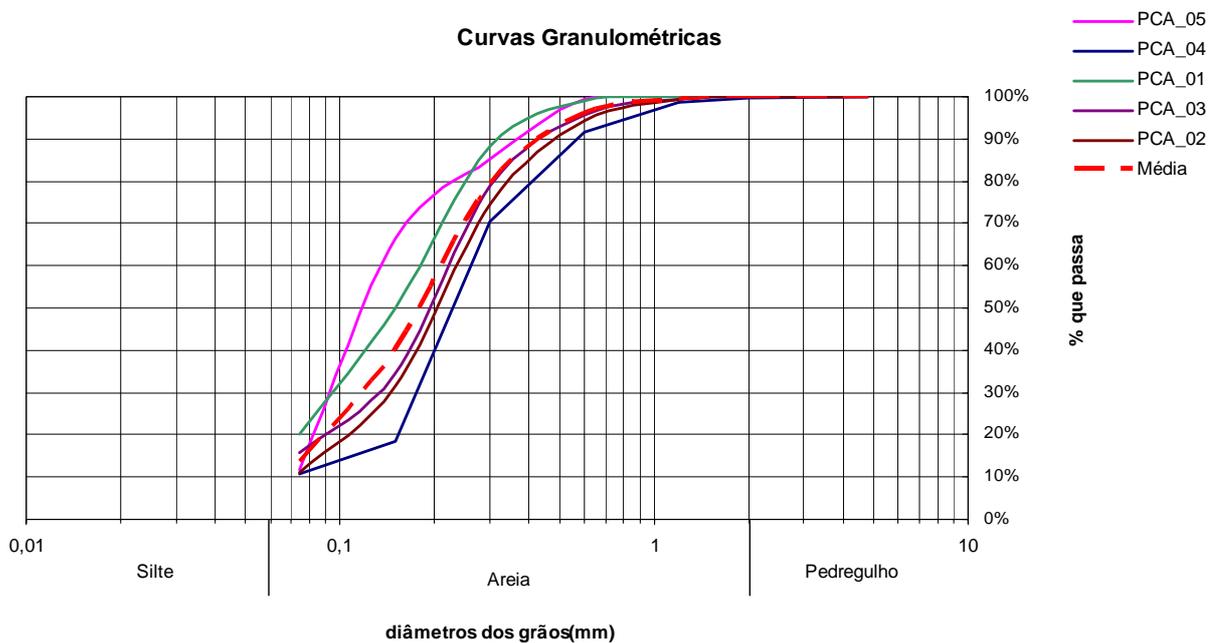


Figura 45: Curvas granulométricas das amostras coletadas na bacia.

A composição granulométrica média das amostras ensaiadas é apresentada na Tabela 9. Com estes dados foi possível definir a textura do solo da bacia.

Tabela 9: Granulometria média do solo da bacia do Ribeirão da onça.

Granulometria (%)	
Pedregulho (>4,8mm)	0,00
Areia Grossa 4,8 - 2,0mm	0,11
Areia Média 2,0 - 0,42mm	20,46
Areia Fina 0,42 - 0,074mm	65,51
Silte+Argila(<0,074mm)	13,92
Total.....	100,00

Nesta distribuição granulométrica, destaca-se o valor da porcentagem de areia fina (65%), seguido pela de areia média (20%). Estes valores podem ser utilizados para a

verificação dos valores de rendimento específico em relação à textura do solo apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Valores de rendimento específico para alguns tipos de solo (JOHNSON, 1967¹¹ *apud* HEALY e COOK, 2002).

Textura	Sy médio	Coefficiente de variação (%)	Sy Mínimo	Sy máximo	n°. de determinações
Argila	0,02	59	0,00	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

Os valores encontrados nos ensaios têm média geral de 12,0% e desvio padrão de 2,9% e a granulometria revela que o solo é predominantemente constituído de areia fina. Portanto, quando comparados com a literatura (Tabela 10), mostram-se adequados para serem utilizados no cálculo da recarga direta.

O equipamento descrito no item 3.6.1 apresentou resultados abaixo dos valores esperados. Um dos fatores que podem ter ocasionado o fato, é que o teste deveria ser conduzido preferencialmente em sala climatizada com umidade relativa mantida próxima de 100%. Em caso contrário, a água contida no recipiente e na amostra de solo evapora, de modo que a taxa de evaporação excede a taxa de drenagem. Caso esta técnica não seja aplicada adequadamente pode-se assumir que a drenagem cessou.

¹¹ JOHNSON, A.I. (1967). *Specific yield – Compilation of specific yields for various materials*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1662-D: 74pp

4.4 RECARGA DIRETA

A recarga direta foi calculada pelo Método de Flutuação da Superfície Livre (WTF). Este método é baseado em medidas dos níveis d'água nos poços de monitoramento com o objetivo de obter a variação dos valores de carga hidráulica por determinado período de tempo. A Figura 46 apresenta o método aplicado aos dados de nível d'água do poço 18, localizado em área de pasto na bacia do Ribeirão da Onça. Os gráficos dos demais poços são apresentados no Apêndice B.

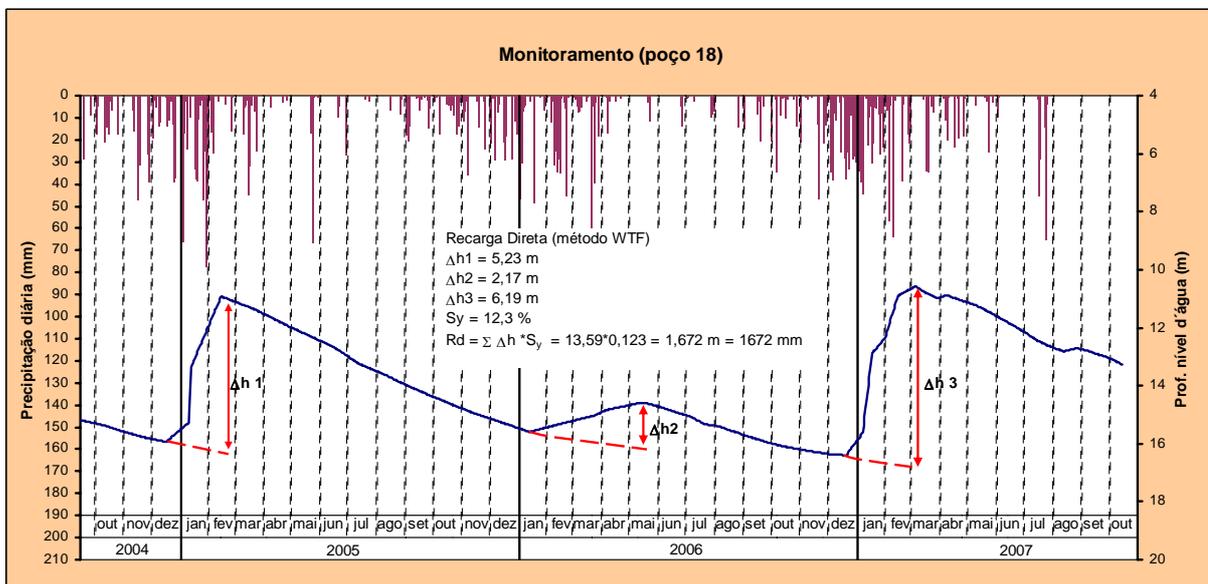


Figura 46. Método WTF aplicado aos dados de variação de nível d'água no poço 18, durante o período de estudo.

A variação Δh é a diferença entre o pico da curva ascendente e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente extrapolada até o instante do pico (item 2.2.2). A curva de recessão extrapolada é a trajetória da hidrógrafa do poço de monitoramento na ausência de elevação do nível d'água. Para a extrapolação foram utilizadas equações exponenciais, entretanto, não há um tipo específico segundo Healy e Cook (2002).

As flutuações da carga hidráulica avaliadas ocorreram nos anos hidrológicos referentes a setembro/2004 a agosto/2005, setembro/2005 a agosto/2006 e setembro/2006 a agosto/2007.

Os poços de monitoramento considerados na quantificação da recarga direta são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Poços utilizados para cálculo da recarga direta.

Poço	Coordenadas Geográficas (WGS 84)		Cota topográfica/ boca do poço (m)	Camada não saturada média (m)	Ocupação do solo
	S	W			
5	22°14'37,2"	47°57'45,1"	750,00	6,6	pasto
8	22°11'12,0"	47°55'53,8"	748,30	23,0	cana de açúcar
13	22°10'22,2"	47°56'20,0"	712,40	9,8	laranja
14	22°10'20,0"	47°56'17,0"	708,08	6,6	laranja
15	22°10'15,0"	47°55'56,5"	703,80	7,9	laranja
16	22°10'30,33"	47°57'14,3"	710,20	5,2	pasto
17	22°10'33,9"	47°57'14,0"	720,10	11,0	pasto
18	22°10'36,8"	47°57'14,6"	726,60	13,8	pasto
19	22°10'42,7"	47°57'15,0"	730,00	14,6	pasto

Estes poços foram escolhidos por apresentarem dados consistentes e não secarem durante o período do monitoramento, o que ocorre em alguns poços na bacia.

Nas Tabela 12 à Tabela 14 são apresentados os valores da recarga direta calculada em cada poço de monitoramento para cada ano hidrológico analisado.

Tabela 12: Recarga direta nos poços de monitoramento para 2004/2005.

Período 09/2004 –08/ 2005 (Precipitação 1444 mm)				
Poço	Camada não saturada média (m)	Δh total (mm)	Rendimento específico S_y (%)	Recarga Direta (mm)
16	5,2	1943	15,1	293
5	6,6	2008	15,9	319
14	6,6	3507	8,5	298
15	7,9	2847	8,5	242
13	9,8	3762	8,5	320
17	11,0	3773	12,3	464
18	13,8	5234	12,3	644
19	14,6	4971	12,3	611
8	23,0	5717	8,5	486

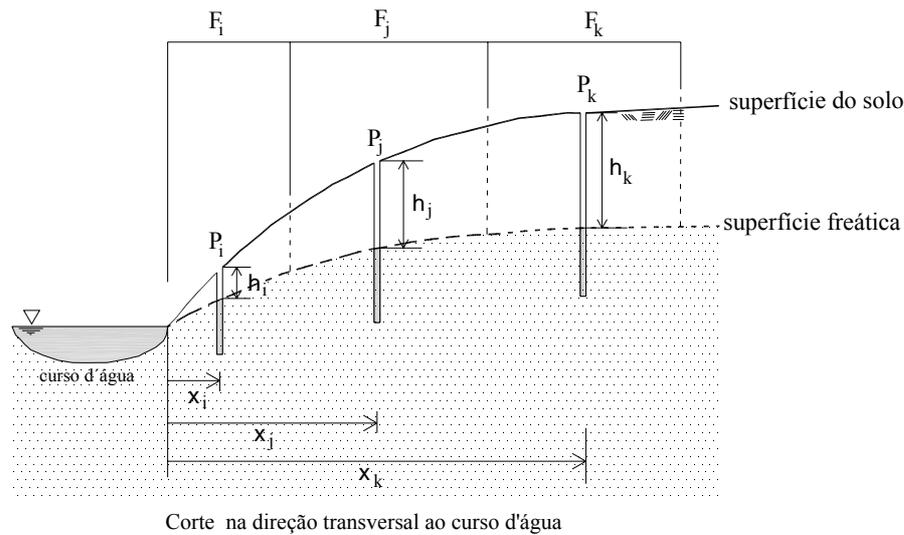
Tabela 13: Recarga direta nos poços de monitoramento para 2005/2006.

Período 09/2005 –08/ 2006 (Precipitação 1203 mm)				
Poço	Camada não saturada média (m)	Δh total (mm)	Rendimento específico Sy (%)	Recarga Direta (mm)
16	5,2	522	15,1	79
5	6,6	1132	15,9	180
14	6,6	1432	8,5	122
15	7,9	671	8,5	57
13	9,8	1184	8,5	101
17	11,0	1358	12,3	167
18	13,8	2167	12,3	267
19	14,6	2037	12,3	251
8	23,0	1116	8,5	95

Tabela 14: Recarga direta nos poços de monitoramento para 2006/2007.

Período 2006 – 2007 (Precipitação 1711 mm)				
Poço	Camada não saturada média (m)	Δh total (mm)	Rendimento específico Sy (%)	Recarga Direta (mm)
16	5,2	3191	15,1	482
5	6,6	3293	15,9	524
14	6,6	3662	8,5	311
15	7,9	2374	8,5	202
13	9,8	3809	8,5	324
17	11,0	4710	12,3	579
18	13,8	6869	12,3	845
19	14,6	6434	12,3	791
8	23,0	5516	8,5	469

A espessura da camada não saturada exerce grande influência na ordem de grandeza da recarga calculada nos poços de monitoramento, conforme dados das tabelas anteriores. Por sua vez, esta espessura aumenta com a distância perpendicular do eixo do rio até o local do poço de monitoramento. Este fato determinou que os valores anuais da recarga direta para toda a bacia fossem obtidos em função da média ponderada das recargas médias em cada poço de monitoramento. Como pesos foram utilizados os valores das áreas de influência. Estas áreas possuem a espessura média da camada não saturada iguais às dos poços inseridos nas mesmas. Para a determinação destas áreas, a bacia foi subdividida tendo como critério as distâncias médias do eixo do rio ao poço de monitoramento (Figura 48).



$x_{i,j,k}$: distância da margem aos poços $P_{i,j,k}$

$h_{i,j,k}$: espessura da zona vadosa nos poços $P_{i,j,k}$

$F_{i,j,k}$: faixa de zona vadosa relacionada aos poços $P_{i,j,k}$

Figura 47: Determinação da área de influência para cada poço, em função da relação entre a espessura da zona saturada e a distância ao curso d'água.

Os poços foram separados em grupos em função de suas distâncias ao corpo d'água. Foi possível verificar o aumento da espessura da camada não saturada em função da distância dos poços ao curso d'água. Com isto, foram definidas as áreas de influência utilizadas nos cálculos (Tabela 15).

Tabela 15: Definição das áreas de influência dos poços.

Poço	Dist. média ao curso d'água (m)	Camada não saturada média (m)	Área de influência (km ²)
16			
5	174	6,1	16,90
14			
15			
13	313	9,6	10,90
17			
18			
19	932	17,1	23,26
8	1907	23,0	2,44

A Figura 48 apresenta a bacia dividida em áreas de influência dos poços

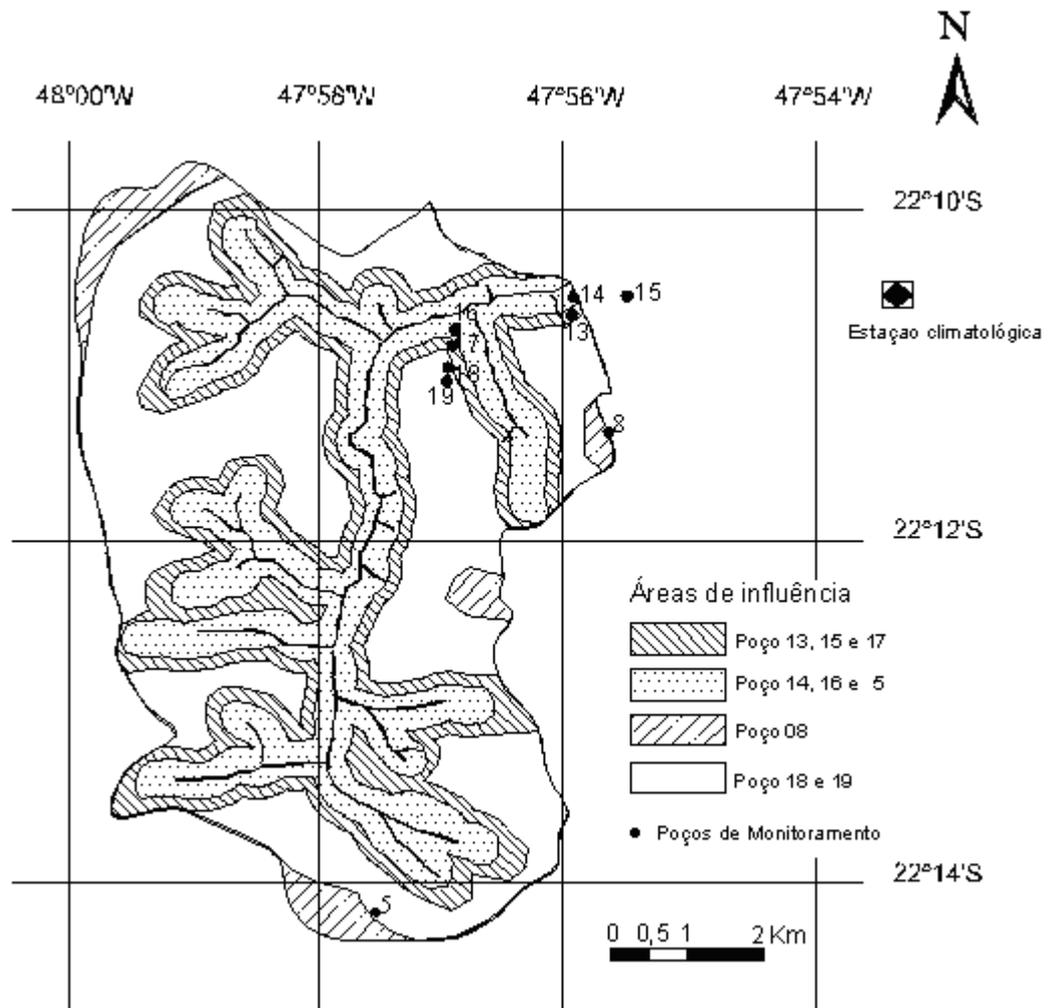


Figura 48: Áreas de influência dos poços de monitoramento.

Com a determinação das áreas de influência (Tabela 15) e os valores de recarga direta (Tabela 12 a Tabela 14), foi possível calcular a recarga direta na bacia, durante o período do estudo. O resultados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Resultados da Recarga Direta na bacia.

Poço	Dist. média ao curso d'água (m)	Camada não saturada média (m)	Área de influência (km ²)	Recarga Direta Média no Período (mm)		
				2004/2005	2005/2006	2006/2007
16						
5	174	6,1	16,90	304	146	487
14						
15						
13	313	9,6	10,90	342	124	409
17						
18						
19	932	17,1	23,26	628	199	908
8	1907	23,0	2,44	486	109	520
Média ponderada				461	163	656
Precipitação no período				1444	1203	1711
Recarga Direta em Porcentagem da precipitação				32 %	14 %	38 %

Na Tabela 16, pode-se notar que as variações de recarga direta acompanham os valores da precipitação no período. O valor da recarga direta cresce com o aumento da precipitação (Figura 49).

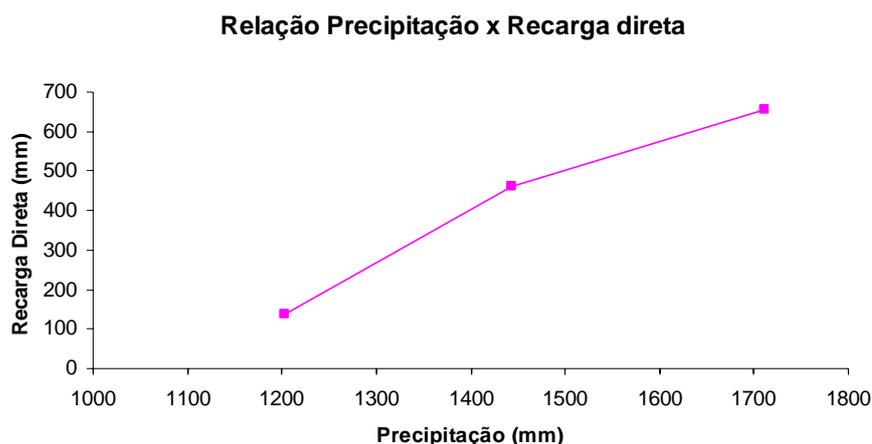


Figura 49: Relação entre a precipitação e a recarga direta na bacia do Ribeirão da Onça, no período de estudos (2004-2007)

A porcentagem da recarga em relação à precipitação varia entre 14% e 38%, dependendo do total de chuvas registrado no período do hidrológico. Barreto (2005) estimou a recarga direta em 29% da precipitação total (1410 mm) no período de seu balanço (janeiro a dezembro/2005) nesta mesma bacia.

4.5 VARIAÇÃO DO ARMAZENAMENTO

A variação do armazenamento subterrâneo de água em um aquífero livre descarregando em um curso de água é igual à variação do volume de água que ocorre quando o nível do aquífero varia em relação ao nível anterior.

A estimativa da variação do armazenamento subterrâneo dá-se a partir dos dados de variação dos níveis nos poços de monitoramento (Figura 50) e da estimativa do rendimento específico do aquífero.

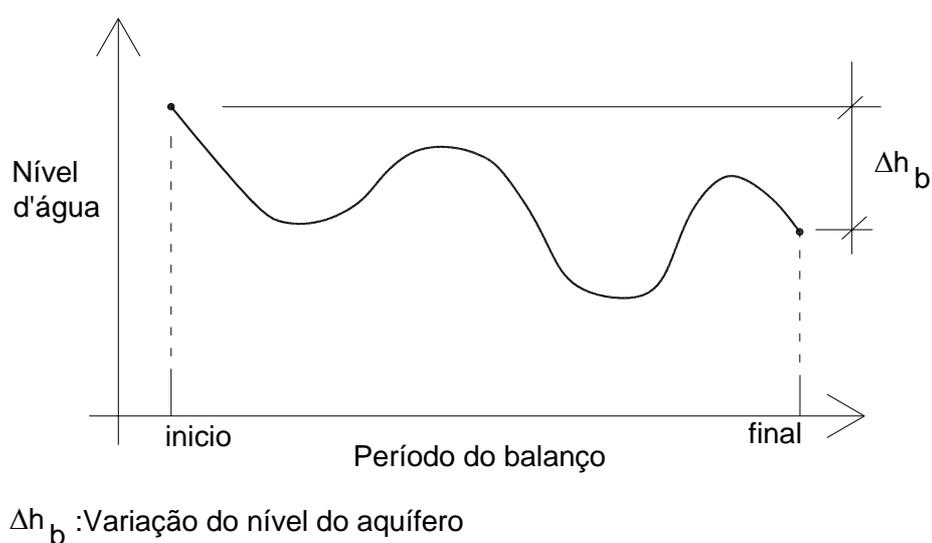


Figura 50: Variação do nível do aquífero para determinação do armazenamento

A variação do armazenamento é dada por:

$$\Delta S = \Delta h_b \cdot S_y \quad (11)$$

em que:

ΔS = variação do armazenamento subterrâneo [L];

Δh_b = variação na altura do nível do aquífero no período total do balanço hídrico [L];

S_y = rendimento específico [adimensional].

O cálculo da variação do armazenamento na bacia seguiu os mesmos critérios usados para determinação da recarga direta, ou seja, agrupamentos dos poços em função de suas camadas não saturadas. A Figura 51 apresenta a variação do armazenamento determinada para o poço 18, os demais são apresentados no Apêndice C.

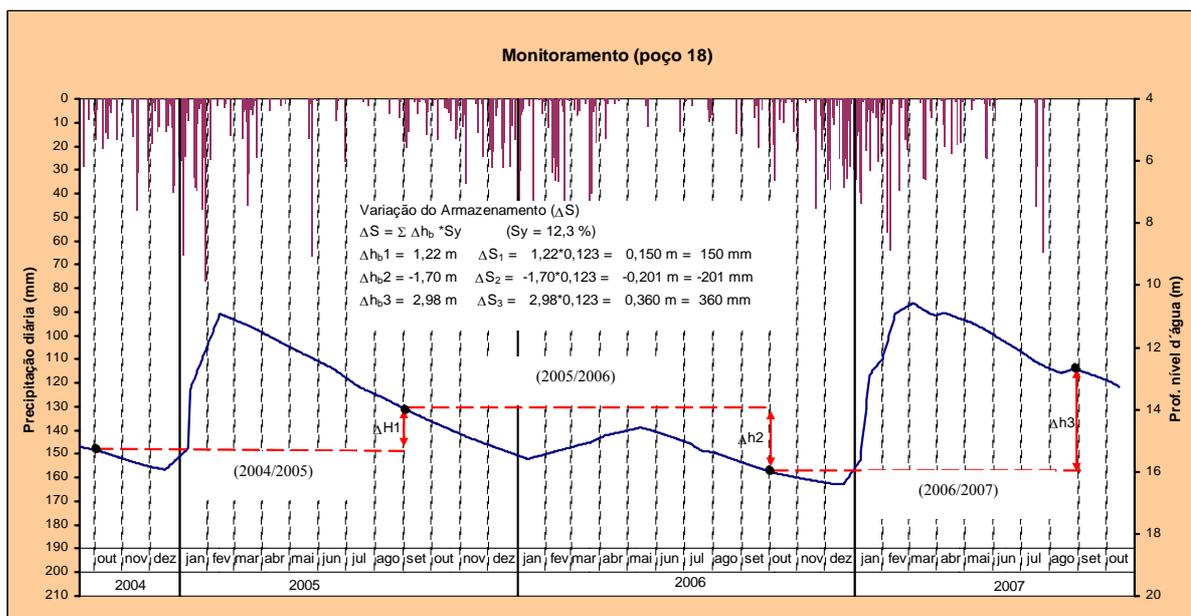


Figura 51: Variação do armazenamento subterrâneo aplicado à variação do nível d'água no poço 18, calculado para cada ano hidrológico.

Os valores de armazenamento subterrâneo calculados para a bacia estão apresentados na Tabela 17, calculado para cada ano hidrológico estudado.

Tabela 17: Valores da variação do armazenamento para o período do monitoramento.

Poço	Dist. média ao curso d'água (m)	Camada não saturada média (m)	Área de influência (km ²)	Variação do Armazenamento Médio (mm)		
				2004/2005	2005/2006	2006/2007
16	174	6,1	16,90	-2,7	-91,3	87,7
5						
15	313	9,6	10,90	43,6	-80,2	103,0
13						
17						
18	932	14,2	23,26	126,1	-179,5	266,7
19						
8	1907	23,0	2,44	64,6	-148,5	254,1
Média Ponderada				66	-130	176
Precipitação no Período				1444	1203	1711
Armazenamento em porcentagem da precipitação				5%	-11%	10%

Verifica-se que os valores do armazenamento acompanham as variações da precipitação nos anos hidrológicos estudados. O volume armazenado decresce com a menor precipitação e se recupera com há aumento da mesma.

Pode-se notar que houve uma queda acentuada do armazenamento no período de 2005/2006 em função da menor precipitação neste período. As chuvas diminuíram 17% em relação ao período anterior provocando uma sensível redução no armazenamento do aquífero (-130 mm).

Entretanto, no período de 2006/2007 houve um aumento nas precipitações (42% de aumento em comparação com o período anterior), que fez com que houvesse a recuperação do armazenamento na bacia (176 mm).

4.6 ESCOAMENTO BÁSICO

O escoamento na bacia foi determinado conforme descrito no item 3.3. A metodologia permitiu estimar o escoamento de base e o superficial, utilizando a série de precipitações na bacia e a série de vazões (Tabela 18). As medidas foram tomadas diretamente na seção de controle, utilizando molinete hidrométrico.

Tabela 18: Vazões medidas na seção de controle do Ribeirão da Onça.

Data	Vazão (m³/s)	Data	Vazão (m³/s)
-	-	13/01/06	0,410
28/10/04	0,512	23/02/06	0,350
13/12/04	0,660	15/05/06	0,660
22/02/05	0,790	03/08/06	0,430
04/03/05	0,700	31/08/06	0,320
18/03/05	0,940	14/09/06	0,460
20/04/05	0,620	28/09/06	0,400
06/05/05	0,560	11/10/06	0,450
16/05/05	0,670	26/10/06	0,400
24/05/05	0,650	09/11/06	0,430
03/06/05	0,550	23/11/06	0,450
21/06/05	0,660	21/12/06	0,630
24/06/05	0,550	01/02/07	1,100
01/07/05	0,610	15/02/07	1,100
03/08/05	0,500	06/03/07	0,900
12/08/05	0,550	15/03/07	0,870
19/08/05	0,550	29/03/07	0,830
02/09/05	0,500	09/04/07	0,870
15/09/05	0,430	23/04/07	0,830
14/10/05	0,450	07/05/07	0,820
11/11/05	0,450	18/05/07	0,750
08/12/05	0,350	04/06/07	0,820
22/12/05	0,410	18/06/07	0,750

O escoamento básico foi calculado a partir da separação dos hidrogramas, pelo método gráfico apresentado na Figura 20.

Os hidrogramas de escoamento total e básico são apresentados na Figura 52.

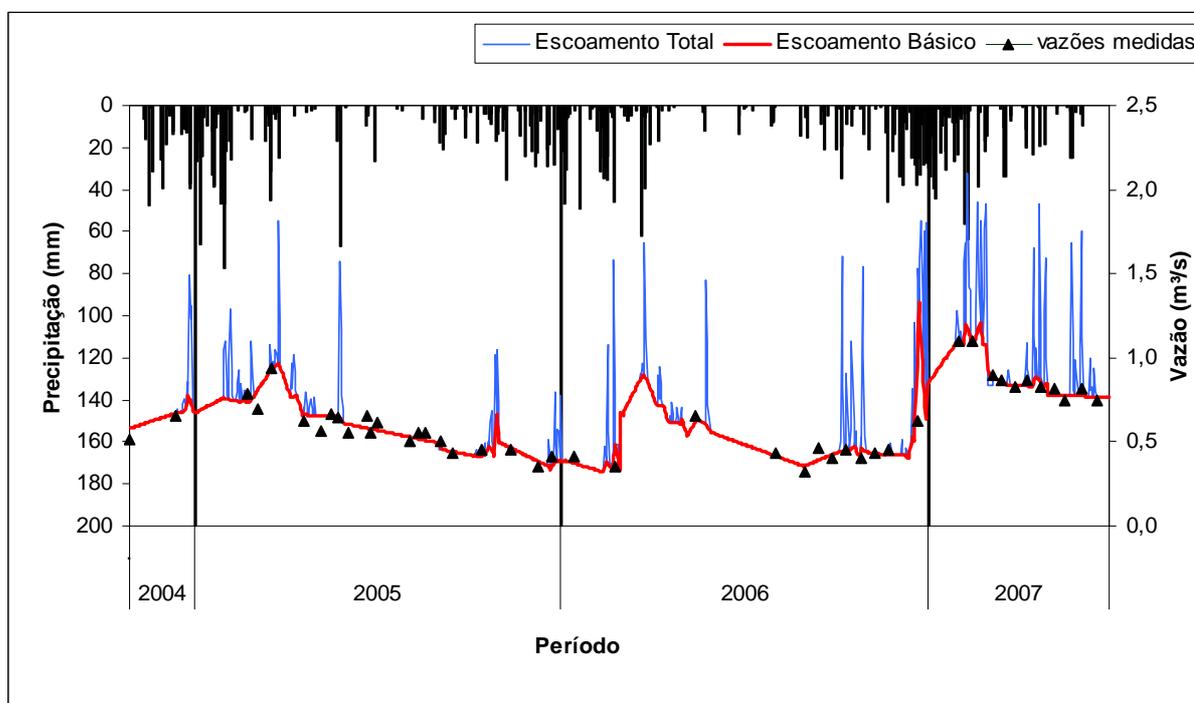


Figura 52: Hidrogramas gerados para seção de controle na bacia com dados do programa IPHS 1.

Os parâmetros utilizados na geração das vazões com o software IPHS 1 para Windows® foram determinados de tal maneira que as vazões máximas estivessem próximas de $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Este foi o valor máximo, observado na seção, segundo trabalhos realizados na bacia por Contin Neto (1987), Pompêo (1989), Arantes (2003) e Barreto (2005). Para este trabalho a vazão máxima foi $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Os valores das vazões diárias são apresentados no Apêndice E.

O escoamento básico apresenta comportamento sazonal bem caracterizado, elevando-se no período chuvoso de outubro a março, apresentando depleção a partir de abril e atingindo valores mínimos no mês de setembro. Verifica-se que parte da precipitação que chega ao aquífero livre, encaminha-se rapidamente para o curso d'água.

Os valores das parcelas do escoamento em volume e em lâmina d'água são apresentados nas Tabela 19 a Tabela 21 .

Tabela 19: Volumes escoados calculados na seção de controle – período 2004/2005.

Período 2004/2005 – Precipitação: 1444 mm			
Parcelas	Volume escoado		% precipitação
	x 10 ⁶ (m ³)	mm	
Básico	20,31	380	26,3
Superficial	0,90	17	1,2
Total	21,21	397	27,5

Tabela 20: Volumes escoados calculados na seção de controle – período 2005/2006.

Período 2005/2006 – Precipitação: 1203 mm			
Parcelas	Volume escoado		% precipitação
	x 10 ⁶ (m ³)	mm	
Básico	15,45	289	24,0
Superficial	0,89	17	1,4
Total	16,34	306	25,4

Tabela 21: Volumes escoados calculados na seção de controle – período 2006/2007

Período 2006/2007 – Precipitação: 1711 mm			
Parcelas	Volume escoado		% precipitação
	x 10 ⁶ (m ³)	mm	
Básico	23,42	438	25,6
Superficial	3,04	57	3,3
Total	27,01	505	29,5

Os valores de escoamento básico acompanham o valor da precipitação nos períodos, entretanto, não apresentam grandes mudanças em termos percentuais, variando entre 24% e 26% da precipitação. Esta pequena variação na porcentagem revela a permanência das condições gerais da bacia neste período de monitoramento.

Outro fator importante a ser observado é a porcentagem do escoamento superficial que apresenta variação de 1,2% a 3,3% da precipitação. Estes valores são compatíveis com os apresentados por Contin Neto (1987), ou seja, 1,5% da precipitação na bacia. Entretanto, é inferior ao valor de 7% apresentado por Barreto (2005). O autor comenta que este valor pode ter sido superestimado.

4.7 BALANÇO HÍDRICO EM ZONA SATURADA

A metodologia do balanço hídrico assumiu como volume de controle a região saturada do solo na bacia. Seguindo o princípio da continuidade, a entrada no sistema é representada pela recarga direta (R_d), enquanto a saída do sistema é dada pelo escoamento de base (Q_b); e pela recarga profunda (R_p).

A variação do volume armazenado subterrâneo (ΔS) é determinada a partir da variação do nível nos poços de monitoramento durante o ano hidrológico.

O modelo considerou recargas laterais (RL) nulas, em função da localização da bacia em cotas topográficas elevadas na região, e considerou também que o divisor d'água subterrâneo coincide com o superficial.

A equação a seguir representa o balanço hídrico:

$$R_p = R_d - Q_b - \Delta S \quad (12)$$

Os resultados das parcelas e do balanço hídrico são mostrados na Tabela 22.

Tabela 22: Balanço hídrico em zona saturada.

	Períodos do balanço		
	2004/2005	2005/2006	2006/2007
Precipitação (P)	1444 mm	1203 mm	1711 mm
Recarga direta (Rd)	461 mm	163 mm	656 mm
Escoamento básico (Qb)	380 mm	289 mm	438 mm
Variação do armazenamento (ΔS)	66 mm	-130 mm	176 mm
Recarga profunda (Rp)	15 mm	5 mm	41 mm

A Figura 53 apresenta os gráficos com as parcelas desagregadas da precipitação em recarga direta e demais componentes (interceptação, evapotranspiração, escoamentos

superficial e subsuperficial e variação da umidade do solo), para os três períodos (anos hidrológicos) do estudo.

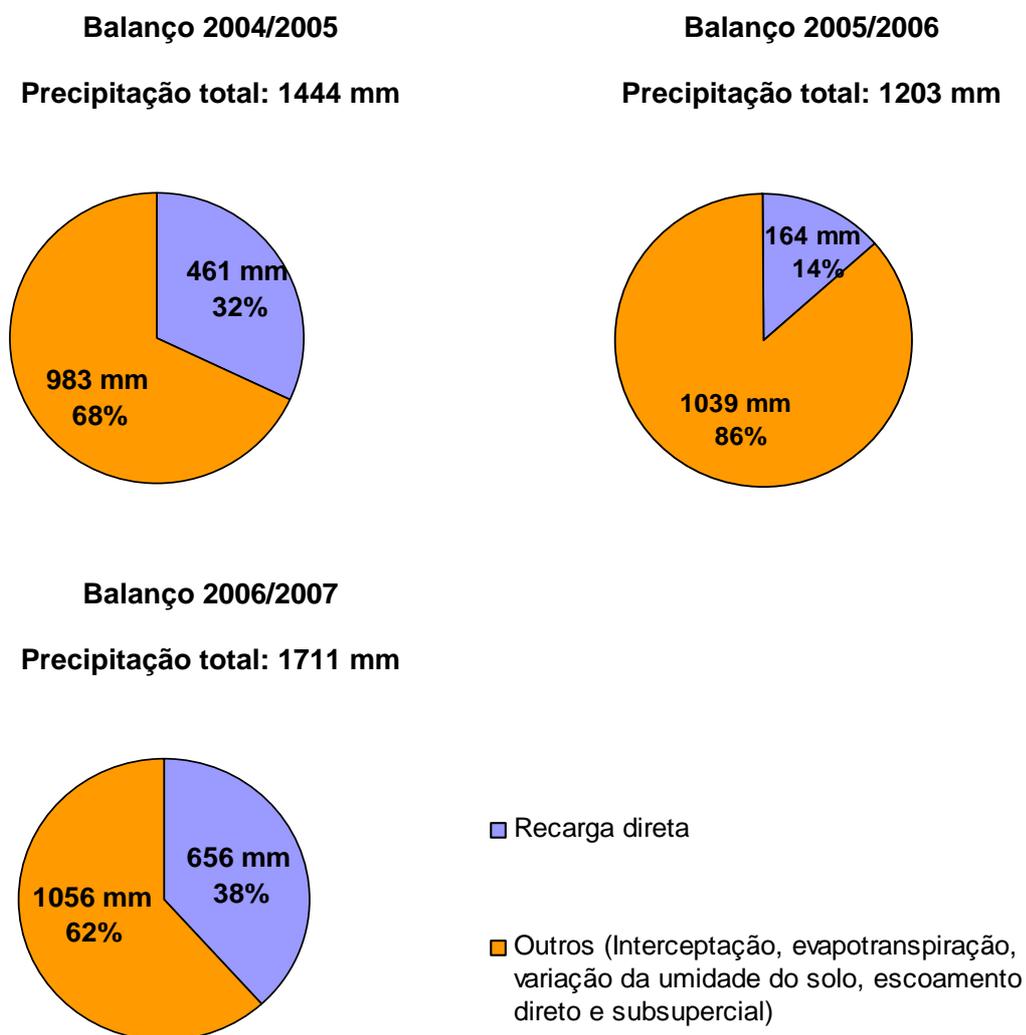


Figura 53: Parcelas de precipitação total com relação à recarga direta, em cada período.

No balanço 2004/2005, o valor de recarga direta foi 461 mm no período, ou seja, 32% da precipitação de 1444 mm. Estes valores estão próximos dos encontrados por Barreto (2005) nesta bacia. O autor apresentou um valor da recarga direta de 29% da precipitação.

No período 2005/2006 houve uma queda de 17% na precipitação, em relação ao período anterior. Isto provocou uma queda, em termo absoluto, na relação da recarga com a precipitação total. Neste período a recarga foi 14% (164 mm) da precipitação de 1203 mm.

A precipitação no período 2006/2007 foi de 1711 mm, o maior valor no período de estudo. Esta precipitação provocou um aumento em termos absolutos da recarga direta (655 mm), isto é, 38% da precipitação de 1711 mm.

A Figura 54 apresenta os componentes do balanço realizado em três períodos.

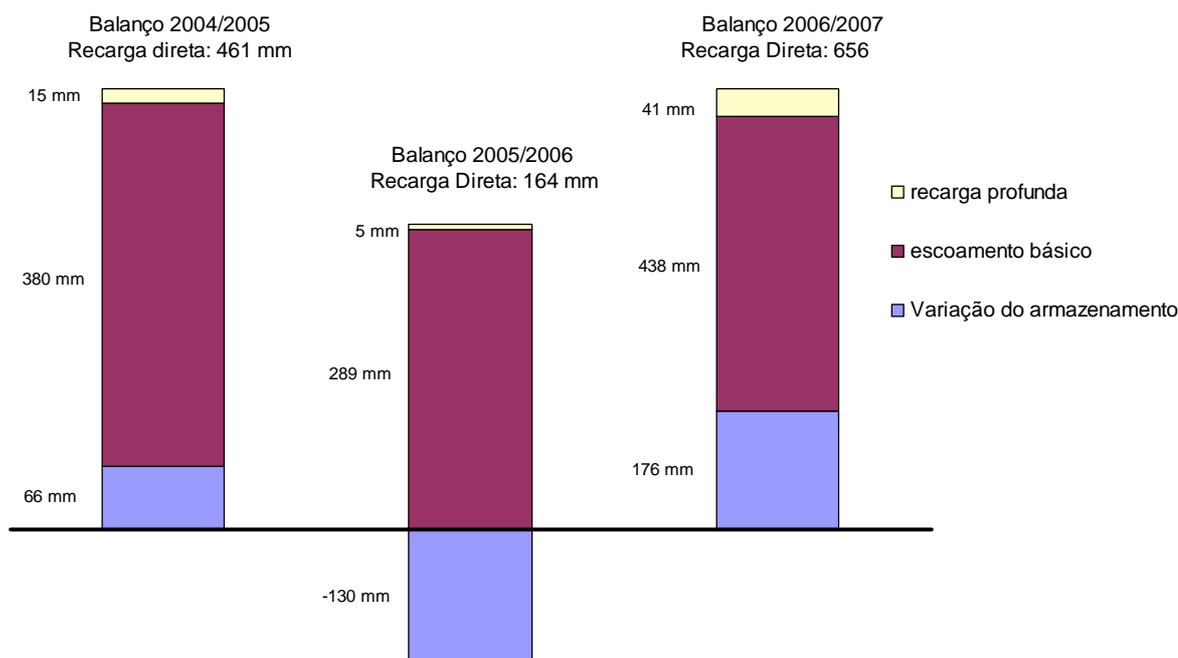


Figura 54: Componentes do balanço hídrico em zona saturada no período de estudo.

Nos períodos 2004/2005 e 2006/2007, o armazenamento foi positivo, com valores de 380 mm e 438 mm, respectivamente. O armazenamento foi negativo (-130 mm) no período de 2005/2006, em decorrência da baixa precipitação. Este foi um período muito seco que fez com que praticamente só houvesse descarrega do aquífero, principalmente pelo escoamento básico.

A recarga profunda variou de 5 mm a 41 mm, ou seja, de 0,4% a 2,4% da precipitação no período de estudo. A evolução deste componente do balanço é apresentada na Figura 55

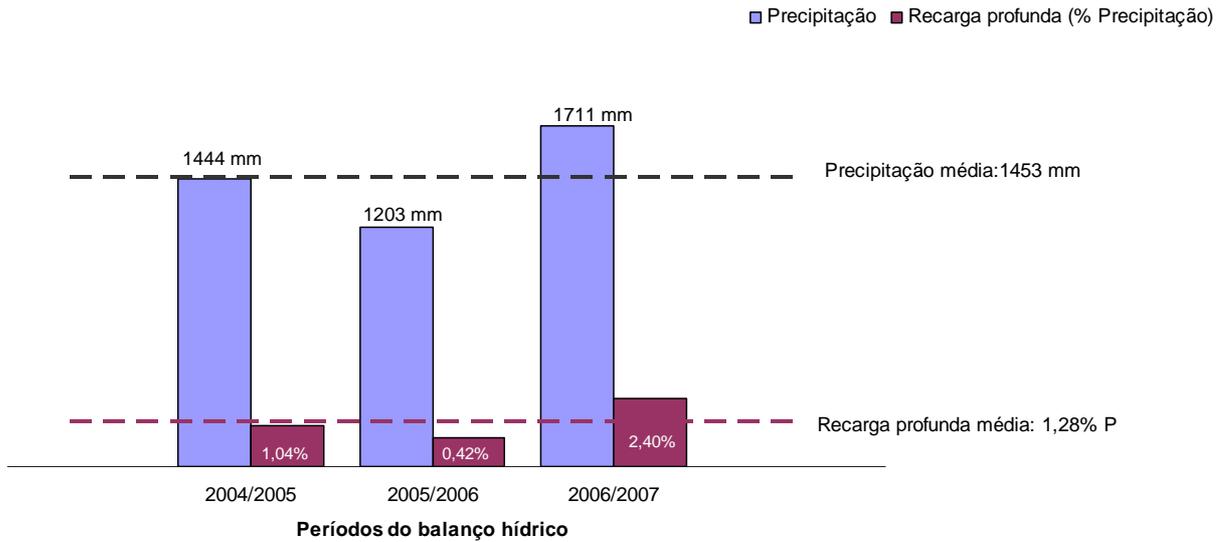


Figura 55: Evolução da precipitação e recarga profunda no período do estudo.

Os resultados da recarga direta evidenciam baixos valores deste componente do balanço.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo estimar a recarga profunda na bacia do Ribeirão da Onça utilizando o método de balanço hídrico em zona saturada do solo, apoiado em dados de monitoramento hidrogeológico. Foram monitoradas e/ou determinadas as seguintes variáveis do ciclo hidrológico: precipitação, nível do aquífero, vazão total e de base em curso de água. Os dados do nível do aquífero foram utilizados para estimativa da recarga direta e variação do armazenamento subterrâneo.

O valor médio do rendimento específico (S_y) determinado para o solo da bacia foi de 12,2%, com desvio padrão de 2,9%. Os valores determinados em laboratório em amostras de solo indeformadas mostraram-se coerentes com a literatura (HEALY e COOK, 2002), que apresenta valores entre 10% e 28% para a mesma classe textural.

A recarga direta para o período de 2004 a 2007, utilizando o método WTF na bacia do Ribeirão da Onça, variou entre 164 mm e 656 mm, ou seja, de 14% a 38% das respectivas precipitações. Estes valores poderão servir de base para os novos estudos que vêm sendo executados na bacia.

A variação do armazenamento foi negativa (-130 mm) no período em que houve a menor precipitação. Este foi um período muito seco, a precipitação ficou abaixo da média histórica, o que fez com que praticamente só houvesse descarrega do aquífero.

O escoamento básico, estimado com base em modelo chuva-vazão ficou entre 24% e 26% dos totais precipitados na bacia do Ribeirão da Onça no período. Em trabalho anterior, Barreto (2005) estimou este valor em 30%. O escoamento superficial variou de 1,2% a 3,3% da precipitação, valores compatíveis com estudo realizado na bacia (CONTIN NETO, 1987, POMPEO, 1990 e BARRETO, 2005).

A recarga profunda para os anos de 2004 a 2007, utilizando o balanço hídrico em zona saturada, foi estimada entre 1% e 2,4% do valor precipitado. Estes valores mostram que as taxas de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG) são efetivamente baixas nesta região requerendo, portanto, um maior cuidado com a taxa de exploração da água subterrânea

Recomenda-se a instalação de outros pluviômetros ou pluviógrafos distribuídos pela área da bacia, embora em trabalhos anteriores (CONTIN NETO, 1987, POMPEO, 1990 e BARRETO, 2005) a comparação dos dados de pluviometria mostrasse forte correlação entre as estações de campo (existentes na época) e a estação de CRHEA.

Quanto à instrumentação, para a melhoria da qualidade dos dados são necessários novos poços de monitoramento para uma melhor distribuição espacial. Também é necessária a implantação de uma nova seção de controle de vazão, bem como equipamentos de medição contínua (linígrafo).

A continuidade do monitoramento das variáveis hidrológicas na bacia do Ribeirão da Onça é de grande importância para futuros estudos. Tais estudos terão como meta o melhor entendimento dos mecanismos que governam o Sistema Aquífero Guarani em suas áreas de afloramento, o que fornecerá subsídios para o gerenciamento dos recursos hídricos na região.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANTES, E. J. (2003). *Emprego de Infiltrômetros na Caracterização da Interação Rio e Aquífero*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- 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.
- BARRETO, C. E. A. G. (2005). *Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- BORTOLUCCI, A. A. (1983). *Caracterização Geológico-Geotécnica da região urbana de São Carlos-SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1983.
- CETESB (2001). *Manual de gerenciamento de áreas contaminadas*. CETESB, GTZ 2ª ed. São Paulo. 389 pp.
- 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.
- CLAYTON, C.R.I., MATTHEWS, M.C., SIMONS, N.E., (1995): *Site Investigation*. Second Edition, Blackwell Science.
- COLLISCHONN, W. (2001). *Simulações hidrológicas em grandes bacias*. Tese de doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS.
- CONTIN NETO, D. (1981). *Interação rio-aquífero*. Relatório Final, Convênio DNAEE/EESC-010/81. São Carlos, SP.

- CONTIN NETO, D. (1987). *Balanço Hídrico em Bacia Hidrográfica situada em Região de Recarga do Aquífero Botucatu*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. (1996). *Hidrología Subterránea*. 2ª ed., 2v. Barcelona: Omega, D.L.
- DE VRIES, J. J.; SIMMERS, I. (2002). *Groundwater recharge: an overview of processes and challenges*. Hydrogeology Journal (2002) 10:5-17 DOI 10.1007/s10040-001-0171-7.
- 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.
- 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.
- 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.
- IDEL, K.H.; MUHS H.; von SOOS, P. (1969) *Proposals for quality classes in soil sampling and the importance of boring methods and sampling equipment*. In: Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng. Mexico, Specialty Session No. 1. Rotterdam: Balkema, 1969.
- LERNER, D. N.; ISSAR, A. S. e SIMMERS, I. (1990). *Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge*. International Contributions to Hydrogeology, Vol. 8. International Association of Hydrogeologists, Verlag Heinz Heise.
- 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.
- LIBARDI, P. L. (1995). *Dinâmica da água no solo*. 2ª. Edição. Piracicaba - SP, 1995. 497p.

- MAZIERO, T. A.(2005) *Monitoramento de água subterrânea em Área Urbana: Aspectos Quantitativos* - Dissertação de Mestrado. São Carlos, EESC-USP-SHS, 2005.
- 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.
- OLIVEIRA, L. B.(1968). *Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, v. 3, p. 197-200, jan./fev. 1968.
- POMPÊO, C. A. (1990). *Balanço Hídrico da Zona Não-Saturada do Solo na Bacia do Ribeirão do Onça (SP)*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.
- QUEIROZ, J. L.; CRUCIANI, D. E. ; LIBARDI, P. L. (1995). *Estimativa da Porosidade Drenável de Um Solo de Várzea e Função da Tensão da Água No Solo*. Scientia Agrícola, v. 52(3),, p. 469-475, set/dez. 1995.
- QUEIROZ, J. L.; CRUCIANI, D. E. ; LIBARDI, P. L. (1999). *Variabilidade espacial da porosidade drenável de um solo de várzea no município de Piracicaba, estado de São Paulo*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p. 135-139, 1999.
- RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A. G.; NOVA, N. A. V.; REICHARDT, K. ; AES, P. C. M.; CLEARY, R. (1989). *Engenharia Hidrológica*. Rio de Janeiro: Coleção ABRH de Recursos Hídricos 1989. 409 p.
- SHARDA V.N.; KUROTHE, R.S.; SENA, D. R.; PANDE, V. C.; TIWARI, S. P.(2006) *Estimation of groundwater recharge from water storage structures in a semi-arid climate of India*. Journal of Hydrology (2006) 329, 224– 243
- 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.

- SENARATH, D.C.; RUSHTON, K.R. (1984). *A routing technique for estimating groundwater recharge*. Ground Water, 22 (2), p. 142-147.
- SIGRH (2008) *Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo*. Disponível em: <http://mapas.sigrh.sp.gov.br:8888/sigrh.php>. Acesso em fev/2008.
- SOPHOCLEOUS, M. (2002). *Interaction between groundwater and surface water; the state of the science*. Hydrogeology Journal (2002) 10:52-67 DOI 10.1007/s10040-001-0170-8.
- TAYLOR, C. J.; ALLEY, W. M. (2001) Groundwater monitoring and the importance of long-term water-level data. U. S. Geological Survey circular 1217. Denver CO, 2001.
- VASCONCELOS, S. M. S. (1999). *Recarga do aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza-CE*. Tese de Doutorado Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- VELÁSQUES, L. M. 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. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- 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, n°4, 2002. ISSN 0378-4738.
- WAHNFRIED, I; HIRATA, R. (2004). *A recarga do aquífero sedimentar na Cidade Universitária da USP (São Paulo)*. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Cuiabá, MT, 2004.
- WENDLAND, E.; BARRETO, C.; GOMES, L. H. (2007). *Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring*. Journal of Hydrology (Amsterdam), v. 342, p. 261-269, 2007

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.

YOUNGER, P. L. (2007). *Groundwater in the Environment: An Introduction*. Blackwell Publishing. 312p.

APÊNDICE A

Tabela das medidas de campo dos níveis d'água nos poços de monitoramento.

Tabela 23: Medidas de campo dos níveis nos poços de monitoramento.

DATA	POÇO – Profundidade do nível d'água (m)																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
02/03/04	-	10,83	15,4	16,87		-	-		18,48		-	-								-	-	-	-
05/03/04	-	-	-			-	-				16,59	seco	8,34							-	-	-	-
08/04/04	-	11,04	15,6	16,71	5,23	-	-	21,89	18,67		-	-								-	-	-	-
14/05/04	seco	12,77	16,06	16,82	5,32	*	8,74		18,96		-	-								-	-	-	-
05/07/04	seco	14,42	16,25	16,88	5,45		8,63	22,12	19,36	18,7	seco	seco	9,59	6,3						-	-	-	-
03/08/04	seco	14,62	16,36	17	5,78	seco	8,59	23,03	19,4	18,8	-	-								-	-	-	-
05/08/04	-	-	-			-	-				seco	seco	9,87	6,62	8,08					-	-	-	-
30/08/04	seco	15,48	16,47	17,22	6,09	seco	8,6	23,4	19,51	18,88	seco	seco	10,02	6,75	8,19					-	-	-	-
02/09/04	-	-	-			-	-				-	-				5,24				-	-	-	-
16/09/04	seco	16,2	16,56	17,33	6,26	seco	8,59	23,46		18,94	seco	seco	10,13	6,86	8,28	5,49	12	15,2	15,29	-	-	-	-
01/10/04	seco	16,65	16,61	17,44	6,39	seco	8,55	23,56		18,99	seco	seco	10,22	6,92	8,36	5,55	12,08	15,29	15,44	-	-	-	-
14/10/04	seco	16,83	16,65	17,48	6,53	seco	8,55	23,64	19,69	19,03	destruído	seco	10,29	7		5,6	12,16	15,4	15,58	-	-	-	-
28/10/04	-	16,98	16,67	17,56	6,6	seco	8,54	23,72	19,76	19,09	-	seco	10,36	7,09	8,5	5,64	12,24	15,54	15,72	-	-	-	-
14/11/04	-	-	-	17,63	6,72	-	8,54				-	-				5,77	12,35	15,7	15,9	-	-	-	-
27/11/04	seco	17,31	16,7	17,62	6,79	seco	8,55	23,84	19,88	19,21	destruído	seco	10,5	7,26	8,62	5,63	12,38	15,81	16,02	-	-	-	-
07/12/04	seco	seco	16,72	17,68	6,79	seco	8,55	23,92	19,95	19,37	destruído	seco	10,53	7,3	8,58					-	-	-	-
10/12/04	-	-	-			-	-				-	-				5,59	12,36	15,89	16,12	-	-	-	-
17/12/04	seco	seco	16,74	17,69	6,82	seco	8,53	23,96	20,01	19,33	-	seco	10,55	7,32	8,55	5,6	12,35	15,94	16,19	-	-	-	-
28/12/04	seco	seco	16,71	17,68	6,81	seco	8,52		20,08	19,37	seco	seco	10,55	7,32	8,48					-	-	-	-
05/01/05	-	-	-			-	-				-	-								-	-	-	-
06/01/05	-	-	-			-	-		20,1	19,42	-	-								2,155	0,32	0,9	1,34
11/01/05	seco	16,72	16,3	17,54	6,55	seco	8,53	24,16	20,14	19,46	-	-	8,68	5,12		4,4	10,99	15,25	15,93	1,96	0,3	1,39	0,92
13/01/05	-	-	-			-	-	24,17			-	-			7,03		10,38	13,36	15,5	-	-	-	-
18/01/05	-	-	-		6,3	-	-				-	-								-	-	-	-
20/01/05	-	-	15,83	17,5	6,3	-	8,45			19,5	-	-								-	-	-	-
21/01/05	-	-	-			-	-				-	-								2	0,31	1,39	0,9
27/01/05	-	-	-			-	-				-	-	8,12	4,79	6,95					1,91	0,27	1,31	0,83
14/02/05	13,09	10,45	14,91	16,81	5,27	seco	11,42	23,84	20,21	19,62	-	seco	6,94	4	6,3		8,76	10,94	11,8	1,9	0,51	1,5	0,97
16/02/05	-	-	-			-	-				-	-				3,81	8,76	10,94	11,8	-	-	-	-

DATA	POÇO – Profundidade do nível d'água (m)																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
18/02/05	-	-	-			-	-				15,43	-								-	-	-	-
28/02/05	13,55	11,73	15,3	16,79	5,32	seco	11,42	19,79	20,25		-	-				95				-	-	-	-
04/03/05	-	-	-			-	-				15,8	-	7,61	4,5	6,55					2,3	0,54	1,78	1,09
18/03/05	-	-	-			-	-	20,67	20,3		-	-	8,07	4,9	6,61					-	-	-	-
22/03/05	13,97	13,08	15,76	16,72	5,42	seco	11,42	20,7	20,33	19,78	16,26	25,85	8,19	5	6,59	4,13	9,52	11,36	12,1	-	-	-	-
13/04/05	14,17	13,73	15,89	16,71	5,31	seco	11,41	20,75	20,41		17,04	25,08	8,66	5,44	6,54					-	0,58	1,99	1,2
29/04/05	14,3	14,03	16,15	16,78	5,47	-	11,42	20,81	20,48	19,93	17,8	25,03	8,92	5,76	6,59	4,48	10	11,96	12,5	2,83	0,54	2,04	1,23
06/05/05	-	-	-			-	-		20,5		-	-	9,04		6,62					-	-	-	-
16/05/05	14,43	14,35	16,27	16,87	5,62	seco	11,42	20,93	20,57	19,99	18,17	25,12		6,03						-	0,65	2,08	1,27
03/06/05	seco	14,68	16,39	16,9	5,75	-	11,42	21,02	20,68	20,05	seco	25,28	9,49	6,28						2,66	0,52	2,05	1,23
16/06/05	-	-	-			-	-				-	-				4,81	10,54	12,67	13,13	-	-	-	-
21/06/05	seco	15,13	16,4	16,91	5,82	-	11,37	21,08	20,65	19,98	seco	25,34	9,64	6,46	6,87					2,91	0,43	2,1	1,24
01/07/05	seco	15,38	16,43	16,93	5,89	-	11,36	21,4	20,69	20	seco	25,46	9,72	6,57	6,95					2,81	0,45	2,11	1,25
14/07/05	seco	15,89	16,56	17,06	6,02	-	11,43	21,6	20,85	20,13	seco	25,75	9,88	6,68	7,08	5,02	10,94	13,26	13,69	3,05	0,63	2,18	1,31
03/08/05	seco	16,08	16,56	17,01	6,16	-	11,37	22,32	20,84	20,05	seco	25,88	9,98	6,84	7,23					3,17	0,7	2,2	1,33
12/08/05	-	-	-			-	-		20,87		-	-	10,05		7,31	5,19	11,2	13,65	14,1	-	-	-	-
19/08/05	seco	16,25	16,61	17,08	6,23	-	11,37	22,61	20,99	20,08	seco	26,1	10,09	6,98	7,37					3,26	0,74	2,24	1,37
02/09/05	seco	16,46	16,66	17,15	6,34	-	11,37	22,7	21,12	20,11	seco	26,25	10,19	7,09	7,49	5,33	11,44	13,98	14,46	3,3	0,63	2,24	1,35
15/09/05	seco	seco	16,69	17,21	6,55	-	11,37	22,83	21,23	20,13	seco	26,41	10,28	7,18	7,6	5,39	11,56	14,16	14,64	3,32	0,73	2,27	1,39
28/09/05	-	-	-	17,31	6,67	-	-		21,35	20,17	-	-		7,25	7,7	5,46	11,69	14,34	14,84	-	-	-	-
29/09/05	seco	seco	16,72			-	11,37	22,97	21,32	20,18	seco	26,57	10,36		7,72					3,34	0,67	2,28	1,4
14/10/05	seco	16,85	16,75	17,41	6,82	-	11,37	23,32	21,48	20,21	seco	26,77	10,45	7,33	7,84					3,41	0,86	2,31	1,45
27/10/05	seco	17,01	16,79	17,47	6,93	-	11,37	23,45	21,6	20,24	seco	26,94	10,52	7,4	7,96					3,45	0,68	2,31	1,4
11/11/05	seco	17,16	16,81	17,54	7,05	-	11,37	23,62	21,7	20,28	seco	27,12	10,59	7,46	8,07	5,71	12,06	14,91	15,41	seco	0,8	2,29	1,41
25/11/05	seco	seco	16,84	17,61	7,17	-	-	23,8	21,85	20,33	seco	27,3	10,65	7,51	8,19					3,52	0,86	2,32	1,42
08/12/05	seco	seco	16,86	17,62	7,26	-	11,37	23,94	21,98	20,37	seco	27,48	10,7	7,56	8,28					3,46	0,54	2,26	1,35
22/12/05	seco	seco	16,85	17,65	7,3	-	11,37	24,04	22,1	20,41	seco	27,65	10,74	7,58	8,37					3,45	0,64	2,27	1,38
13/01/06	seco	seco	16,63	17,56	6,88	-	11,37	24,2	22,25	20,48	seco	seco	10,71	7,57	8,35	5,79	12,42	15,59	16,15	3,12	0,73	2,17	1,33
03/02/06	seco	16,65	16,49	17,64	6,83	X	X	24,36		20,55	seco	seco								X	X	X	X
10/02/06	seco	16,28	16,53	17,69	6,91	X	X	24,41		20,58	seco	seco		7,57						3,39	0,61	2,25	1,35
23/02/06	seco	16,17	16,54	17,6	6,95	X	X	24,44	22,54	20,62	seco	seco	10,73	7,55	8,57					2,98	0,38	1,97	1,17
10/03/06	seco	15,53	16,44	17,6	6,84	X	X	24,54	22,52	20,66	seco	seco	10,58	7,29	8,52					3,02	0,76	2,11	1,29

DATA	POÇO – Profundidade do nível d'água (m)																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
24/03/06	seco	14,47	16,41	17,68	6,79	X	X	24,66	22,69	20,71	seco	seco				5,5	11,82	15,03	16,25	X	X	X	X
07/04/06	seco	14,11	16,19	17,65		X	X	24,74	22,75	20,74	seco	seco		6,93	8,28	5,36	11,71	14,83	16,03	2,78	0,47	2,01	1,19
28/04/06	seco	14,24	16,24	17,69		X	X	24,84	22,87	20,81	seco	seco	10,05	6,85	8,48					3,06	0,87	2,14	1,32
10/05/06	seco	14,35	16,35	17,7		X	X	24,36	22,94	20,83	seco	seco								X	X	X	X
15/05/06	seco	14,4	16,4			X	X	24,17	22,98	20,84	seco	seco	10,2	7,05	8,63	5,54	11,66	14,58	15,7	3,24	0,86	2,2	1,34
29/05/06	seco	14,54	16,53	17,81	7,08	X	X	24,14	23,06	20,89	seco	seco	10,27	7,17	8,71	5,6	11,77	14,68	15,69	3,31	0,79	2,23	1,36
20/06/06	seco	14,72	16,67	17,86	7,18	X	X	24,44	23,18	20,94	seco	seco	10,45	7,35	8,85					3,43	0,86	2,28	1,4
07/07/06	seco	15,31	16,76	17,93	7,32	X	X	24,58	23,29	20,99	seco	seco	10,57	7,47	8,91	5,79	12,1	15,08	15,95	3,46	0,8	2,31	1,41
21/07/06	seco	15,91	16,82	17,97	7,42	X	X	24,83	23,38	21,02	seco	seco	10,69	7,58	9,02	5,9	12,28	15,33	16,16	3,5	0,84	2,34	1,44
04/08/06	seco	16,51	16,87	18,05	7,5	X	X	24,74	23,46	21,06	seco	seco	10,63	7,52	9,03	5,91	12,32	15,39	16,18	3,23	0,73	2,35	1,45
17/08/06	seco	16,91	16,92	18,09	7,58	X	X	24,83	23,53	21,09	seco	seco	10,53	7,33	9,08	5,98	12,41	15,53	16,3	3,18	0,89	2,36	1,47
31/08/06	seco	seco	16,95	18,15	7,68	X	X	24,89	23,59	21,13	seco	seco	10,57	7,38	9,14	6,03	12,49	15,68	16,42	3,25	0,83	2,37	1,47
14/09/06	seco	seco	seco	18,17	7,76	X	X	24,95	23,64	21,16	seco	seco	10,67	7,52	9,19	6,08	12,56	15,82	16,54	3,38	0,86	2,37	1,48
28/09/06	seco	seco	seco	18,25	7,89	X	X	25,02	23,7	21,2	seco	seco	10,76	7,61	9,24	6,13	12,62	15,96	16,66	3,44	0,76	2,35	1,47
11/10/06	seco	seco	seco	18,29	7,98	X	X	25,06	23,73	21,22	seco	seco	10,82	7,66	9,29	6,16	12,68	16,07	16,77	3,47	0,75	2,33	1,44
26/10/06	seco	seco	seco	18,36	8,08	X	X	25,12	23,76	21,26	seco	seco	10,89	7,69	9,35	6,19	12,73	16,16	16,85	seco	0,87	2,38	1,5
09/11/06	seco	seco	seco	18,38	8,17	X	X	25,18	23,81	21,29	seco	seco	10,95	7,73	9,41	6,21	12,78	16,24	16,95	seco	0,82	2,37	1,48
23/11/06	seco	seco	seco	18,4	8,24	X	seco	25,22	23,85	21,31	seco	seco	11,01	7,76	9,47	6,24	12,82	16,31	17,02	seco	0,73	2,38	1,48
07/12/06	seco	seco	seco			X	seco	25,26	23,86	21,35	seco	seco	11,04	7,82		6,21	12,86	16,38	17,1	3,34	0,38	2,07	1,15
21/12/06	seco	seco	16,95	18,36	8,29	X	seco	25,33	23,9	21,38	seco	seco	10,97	7,76	9,39	5,86	12,75	16,4	17,15	2,97	0,23	2	1
01/08/07	seco	seco	16,52	18,01	7,46	X	seco	25,41	23,88	21,41	seco	seco	9,67	5,66	8,23	4,5	11,5	15,62	16,84	1,7	0,36	1,35	0,88
18/01/07	seco	13,75	15,86	17,78	7,22	X	seco	25,55	23,94	21,56	seco	seco	8,21	4,93	7,97	4,38	9,68	12,88	15,29				
01/02/07	seco	13,54	15,66	17,44	6,57	X	seco	25,55	23,84	21,57	17,5	seco	8,22	4,9	8,01	4,23	9,52	12,36	14,19	1,8	0,47	1,7	1,05
15/02/07	seco	12,82	15,33	17,06	5,95	X	seco	24,68	23,62	21,6	16,58	seco	7,43	4,32	7,5	3,62	8,37	10,9	12,42	1,61	0,45	1,59	1
06/03/07	seco	12,49	15,45	16,73	5,8	X	seco	20,71	23,31	21,6	15,98	28,17	7,78	4,61	7,49	3,9	8,62	10,57	11,67	1,9	0,53	1,78	1,09
15/03/07	seco	12,92	15,62	16,67	5,78	X	seco	20,59	23,25	21,6	16,18	28,11	7,99	4,78	7,47	4,01	8,85	10,76	11,74	2,06	0,59	1,88	1,15
29/03/07	seco	13,17	15,84	16,58	5,79	X	X	20,57	23,15	21,59	16,47	26,85	8,17	4,91	7,25	3,99	8,98	10,98	11,86	2,05	0,53	1,87	1,14
09/04/07	seco	13,27	15,97	16,54	5,86	X	X	20,59	23,09	21,58	16,68	26,08	8,32	5,09	7,21	4,09	9,04	10,88	11,69	2,20	0,40	1,90	1,13
23/04/07	seco	13,35	16,04	16,51	5,96	X	X	20,52	22,90	21,43	16,79	25,46	8,56	5,34	7,17	4,18	9,20	11,05	11,73	2,39	0,56	2,02	1,22
07/05/07	seco	13,55	16,17	16,54	6,08	X	X	20,53	22,81	21,35	17,10	25,26	8,84	5,60	7,17	4,30	9,36	11,19	11,78	2,57	0,64	2,08	1,27
18/05/07	seco	13,74	16,26	16,58	6,15	X	X	20,56	22,78	21,28	17,45	25,21	9,05	5,80	7,21	4,40	9,51	11,35	11,91	2,66	0,65	2,13	1,30
04/06/07	seco	13,97	16,38	16,64	6,21	X	X	20,57	22,70	21,14	17,92	25,24	9,31	6,08	7,26	4,50	9,79	11,65	12,16	2,75	0,45	2,15	1,30

DATA	POÇO – Profundidade do nível d'água (m)																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
18/06/07	seco	14,13	16,47	16,73	6,43	X	X	20,57	22,66	21,02	18,19	25,32	9,52	6,29	7,32	4,60	9,94	11,90	12,37	2,89	0,65	2,19	1,36
02/07/07	seco	14,33	16,54	16,81	6,56	X	X	20,55	22,59	20,91	seco	25,45	9,69	6,49	7,37	4,71	10,13	12,16	12,61	3,00	0,69	2,23	1,37
16/07/07	seco	14,49	16,60	16,88	6,71	X	X	20,58	22,61	20,81	seco	25,60	9,85	6,65	7,43	4,83	10,34	12,45	12,84	2,92	0,53	2,24	1,31
27/07/07	seco	14,65	16,62	16,84	6,69	X	X	20,57	22,42	20,73	seco	25,75	9,91	6,77	7,44	4,70	10,43	12,62	13,03	2,68	0,48	1,96	1,18
13/08/07	seco	14,77	16,56	16,88	6,54	X	X	20,59	22,40	20,64	seco	25,99	9,94	6,77	7,39	4,75	10,42	12,82	13,25	2,80	0,68	2,18	1,33

APÊNDICE B

Gráficos de aplicação do método WTF para os poços utilizados no balanço

Water Table Fluctuation - WTF (poço 8)

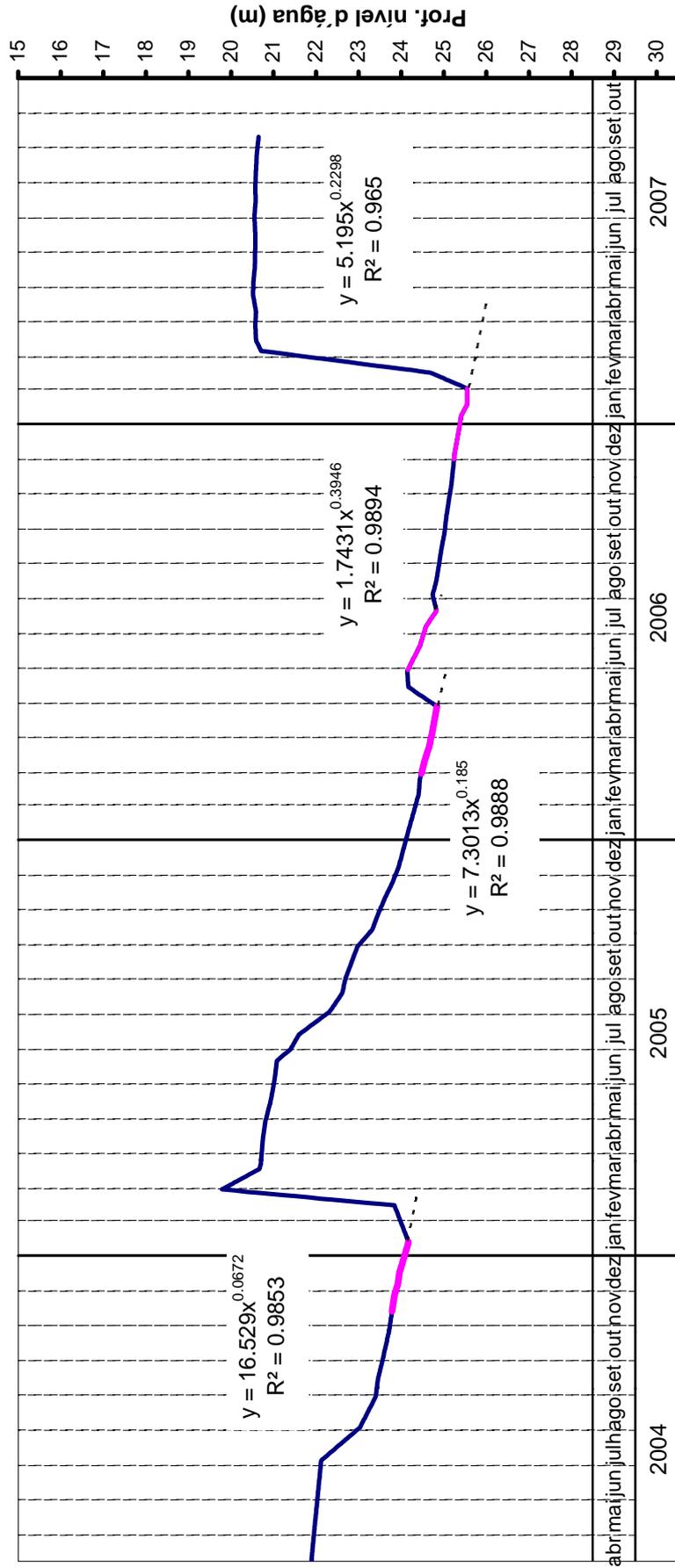


Figura 56: Aplicação do método WTF para o poço 08

Water Table Fluctuation - WTF (poço 05)

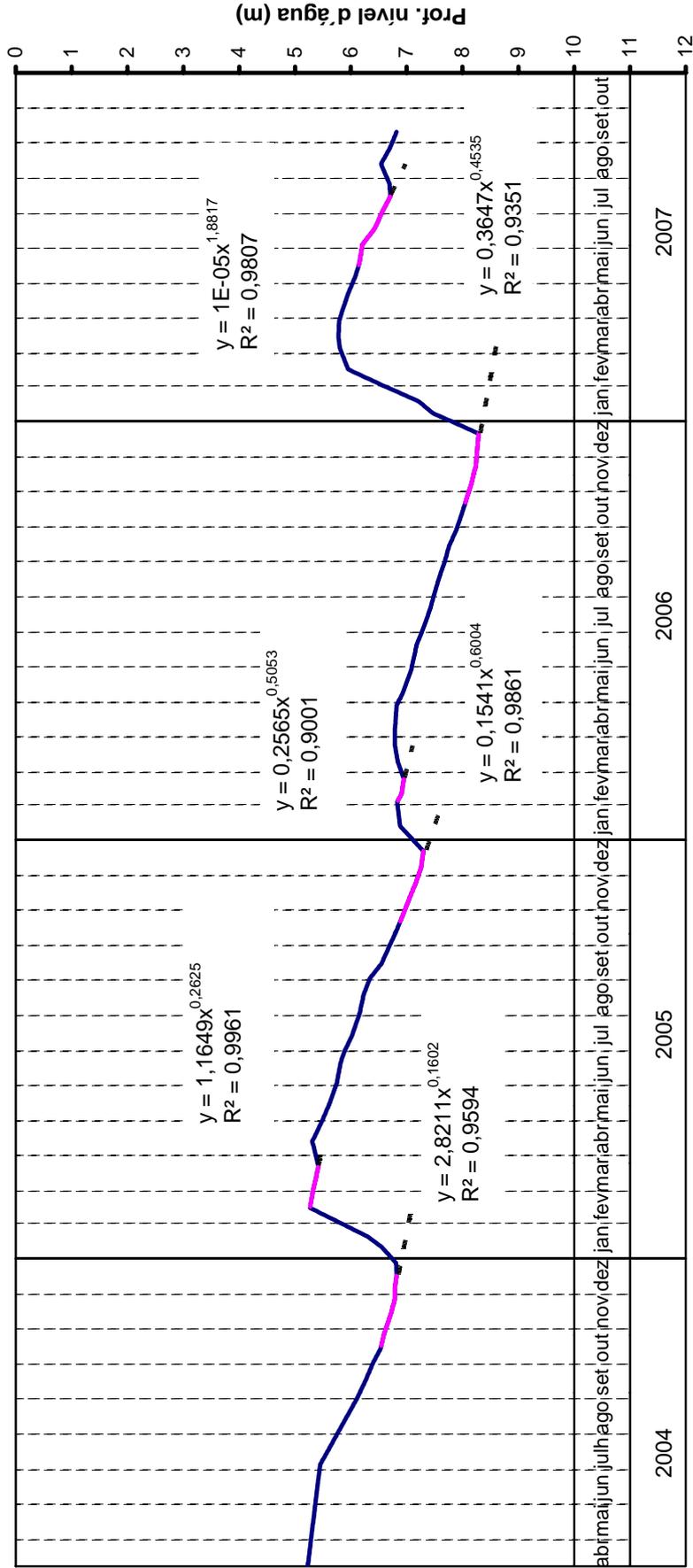


Figura 57: Aplicação do método WTF para o poço 05

Water Table Fluctuation - WTF (poço 13)

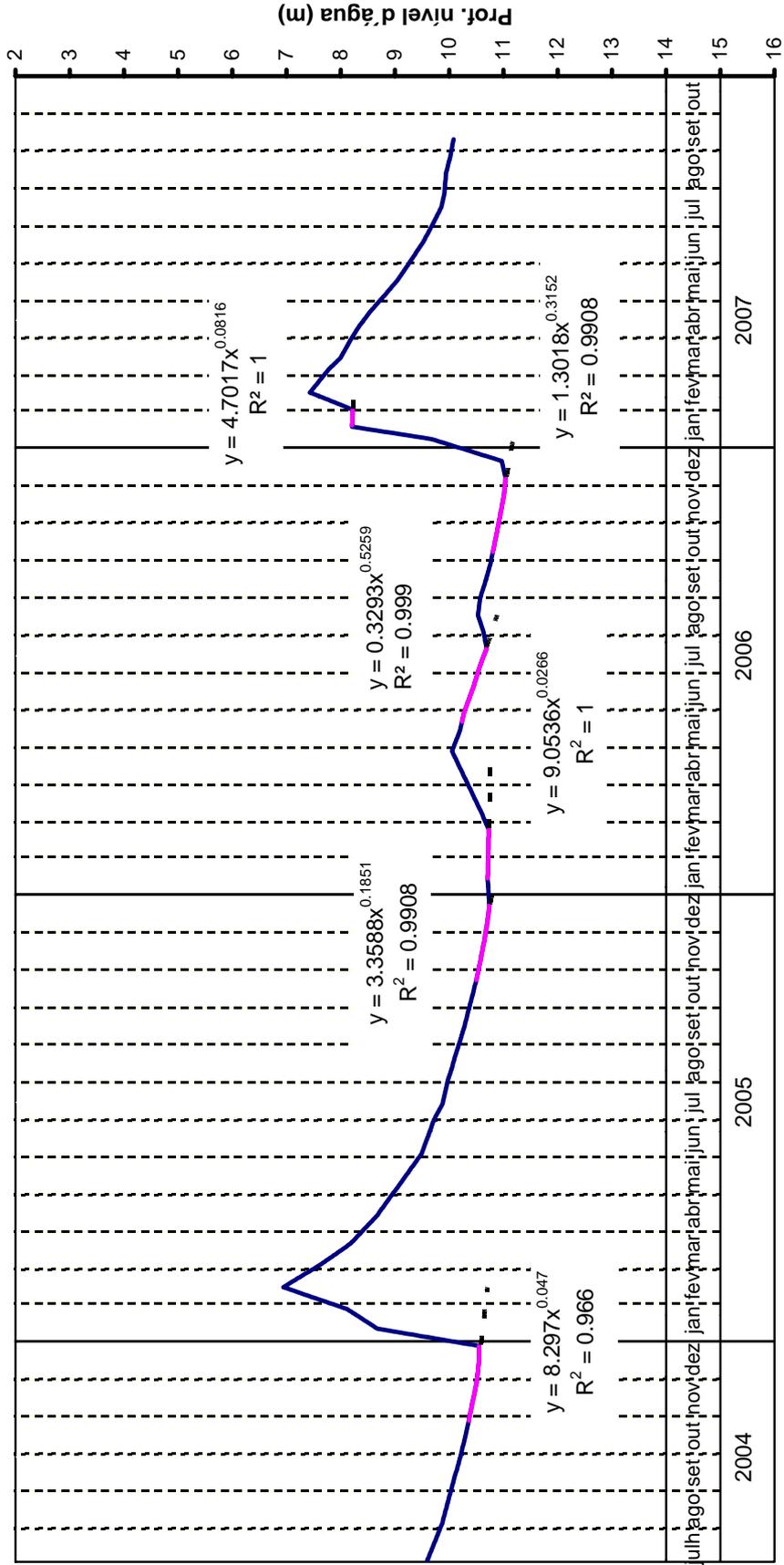


Figura 58 Aplicação do método WTF para o poço 13.

Water Table Fluctuation - WTF (poço 14)

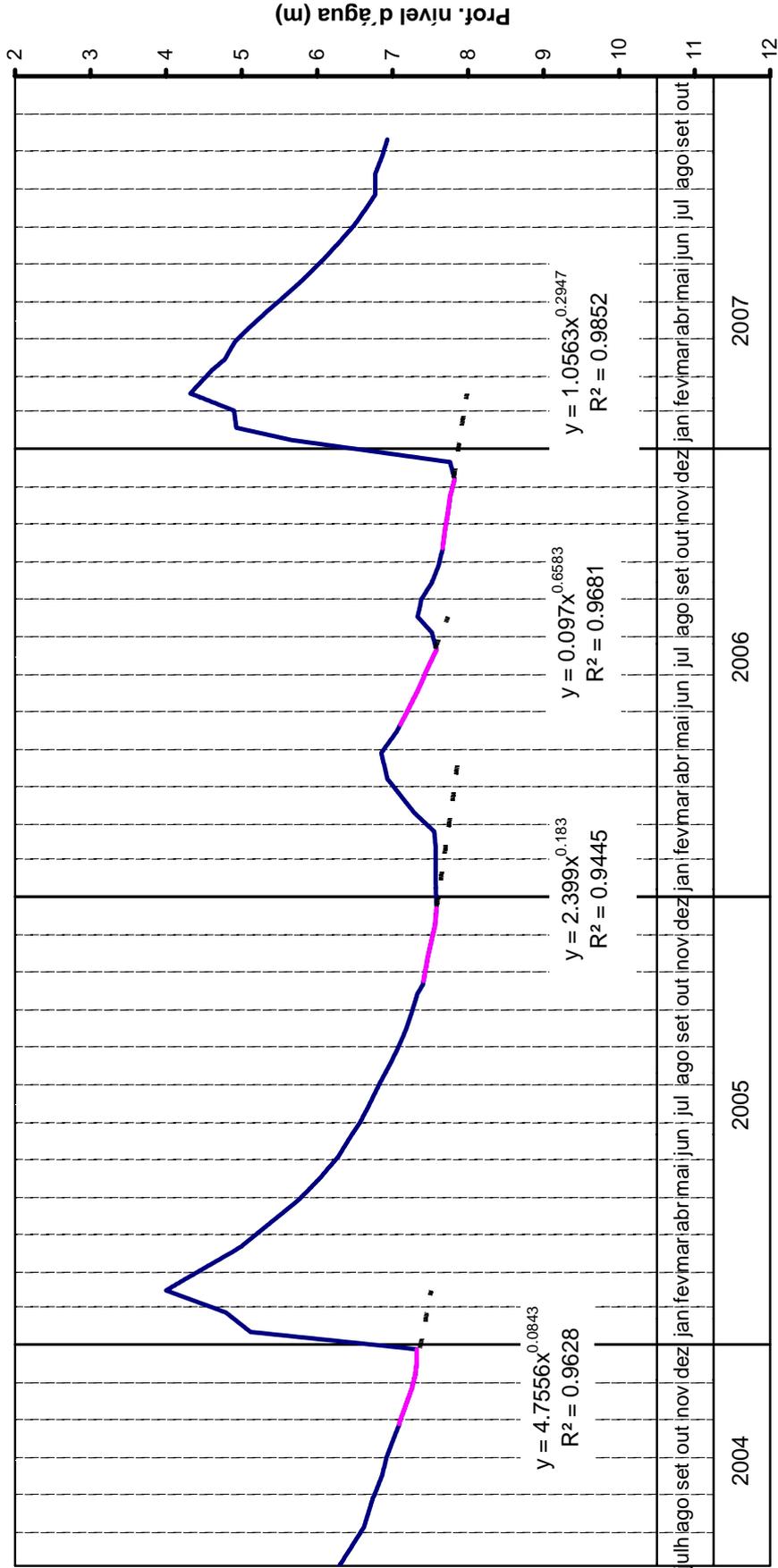


Figura 59: Aplicação do método WTF para o poço 14.

Water Table Fluctuation - WTF (poço 15)

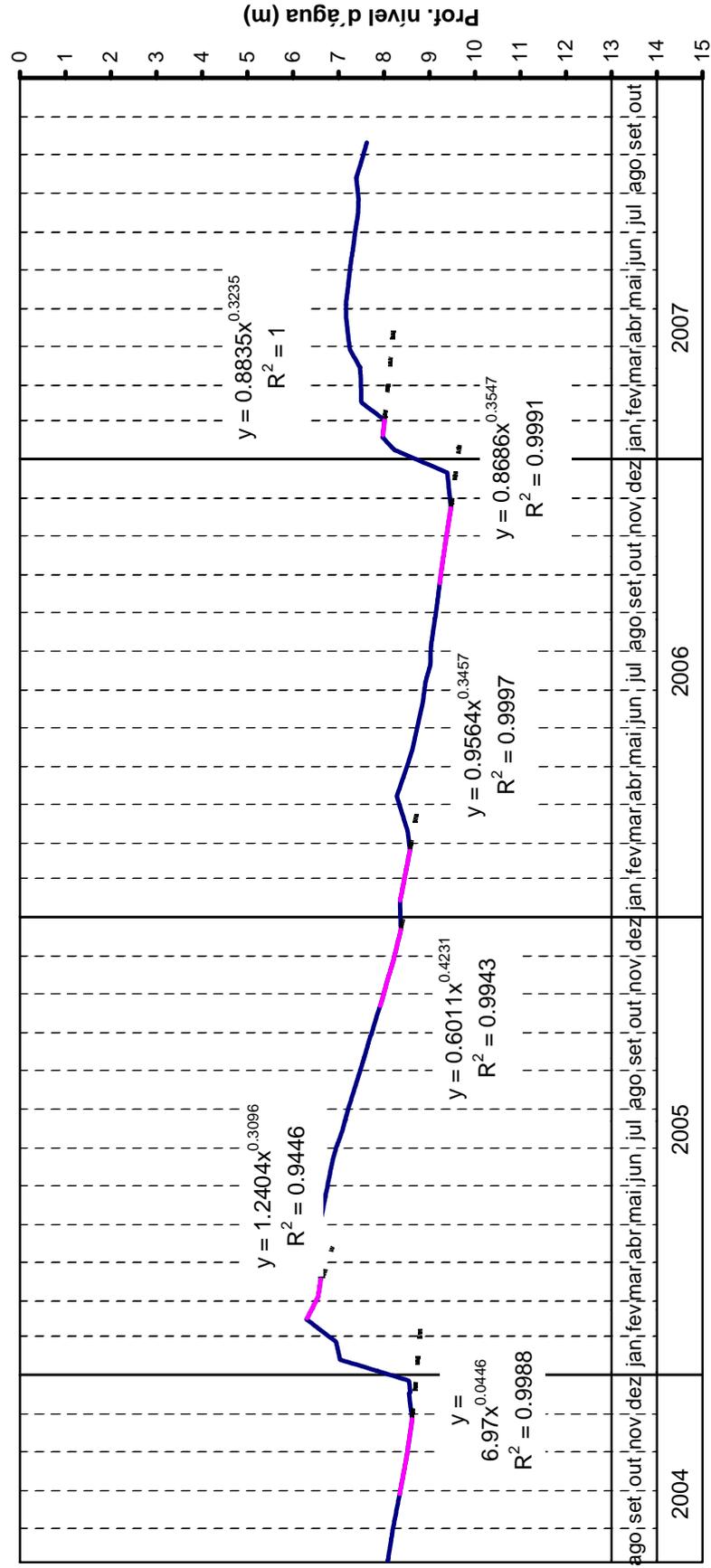


Figura 60: Aplicação do método WTF para o poço 15.

Water Table Fluctuation - WTF (poço 16)

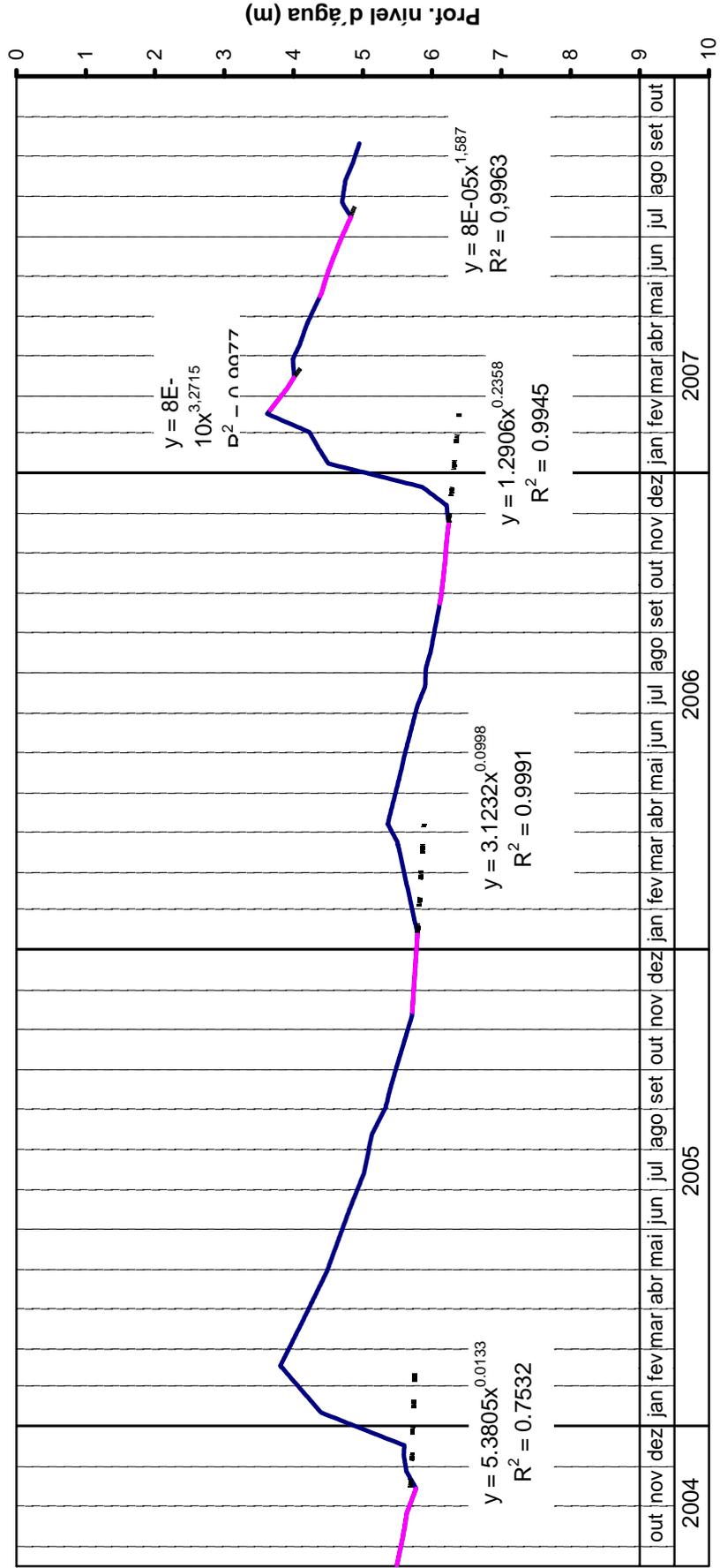


Figura 61: Aplicação do método WTF para o poço 16.

Water Table Fluctuation - WTF (poço 17)

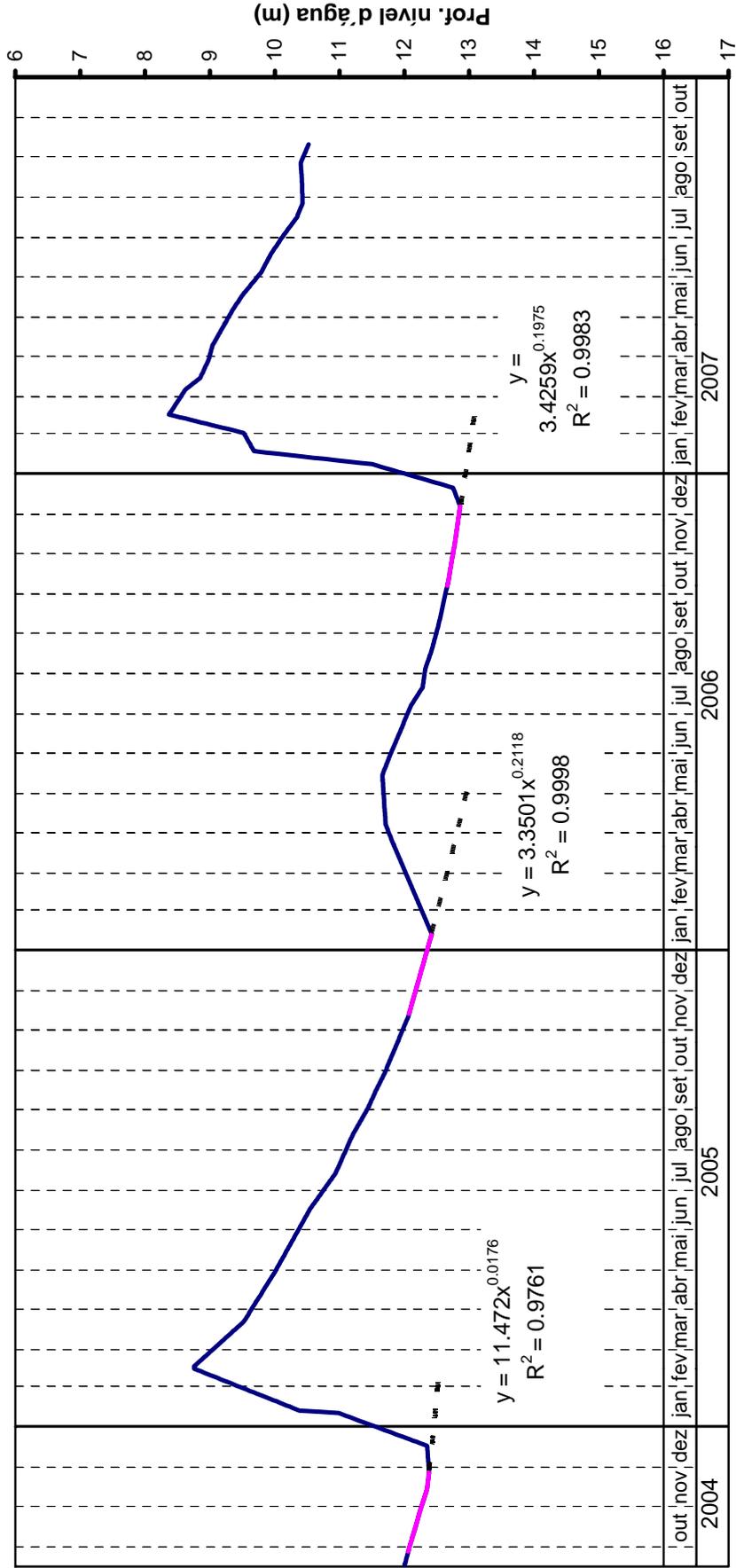


Figura 62: Aplicação do método WTF para o poço 17.

Water Table Fluctuation - WTF (poço 18)

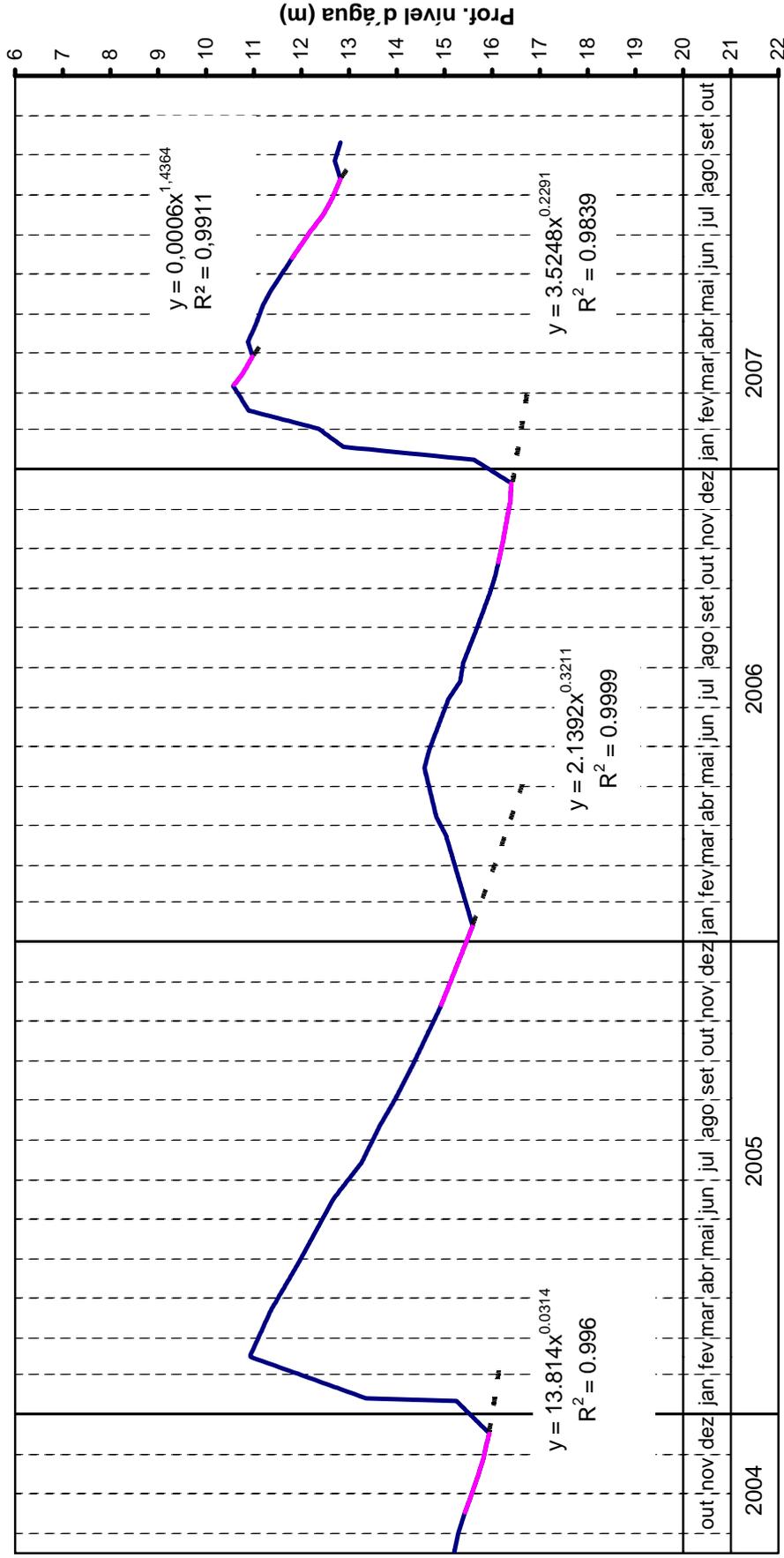


Figura 63: Aplicação do método WTF para o poço 18.

Water Table Fluctuation - WTF (poço 19)

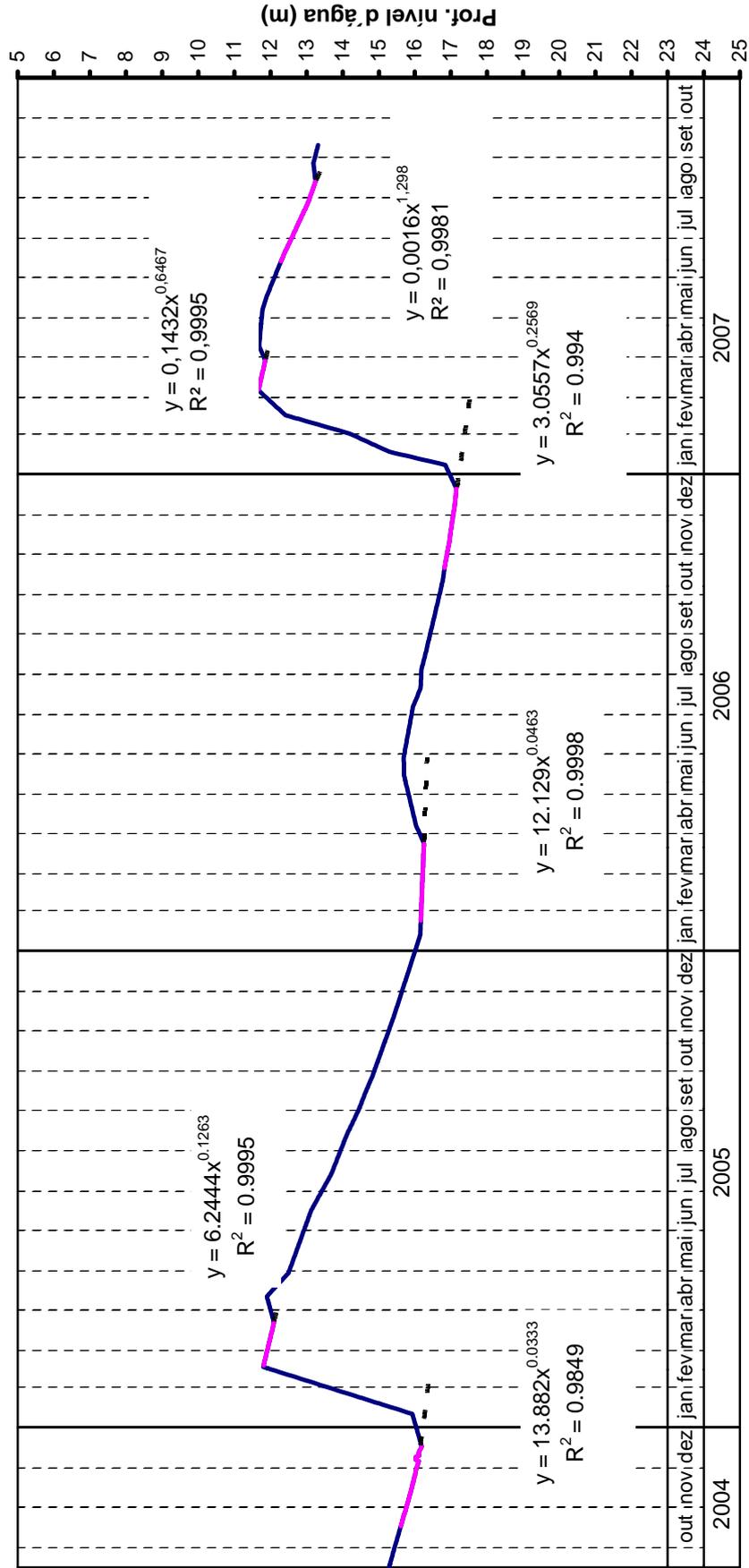


Figura 64: Aplicação do método WTF para o poço 19.

APÊNDICE C

Gráficos da variação do armazenamento para os poços utilizados no balanço

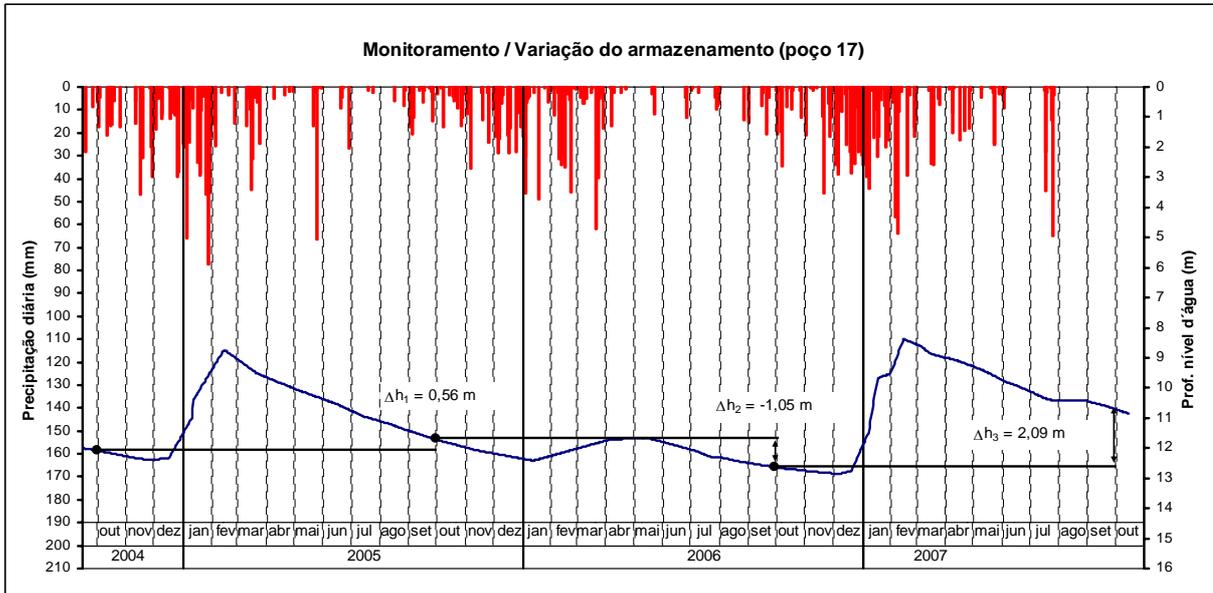


Figura 65: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 17).

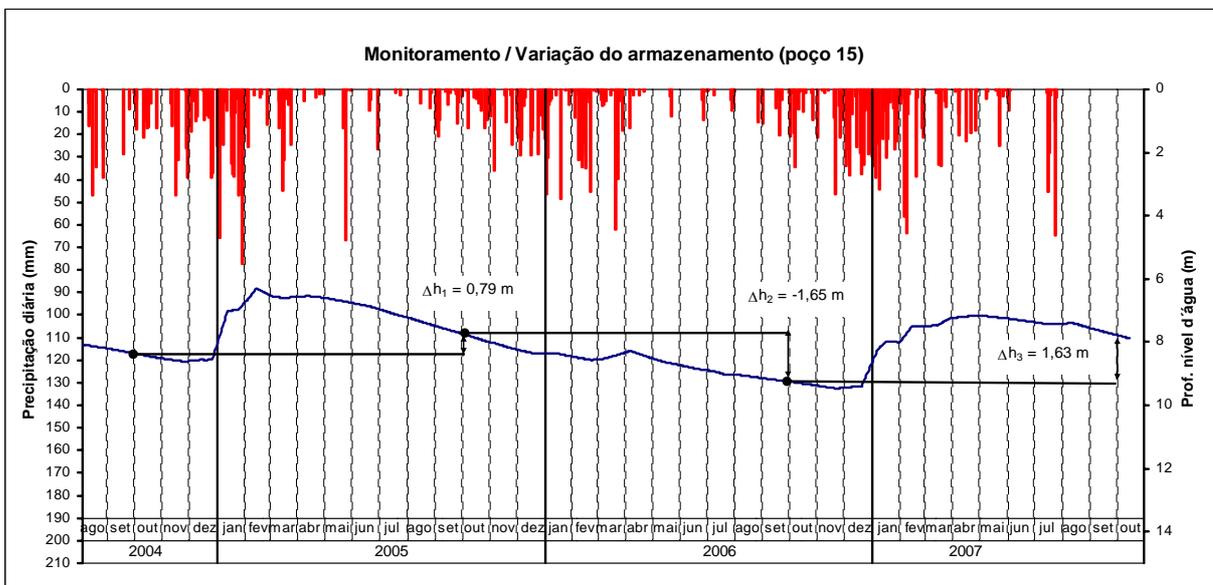


Figura 66: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 15).

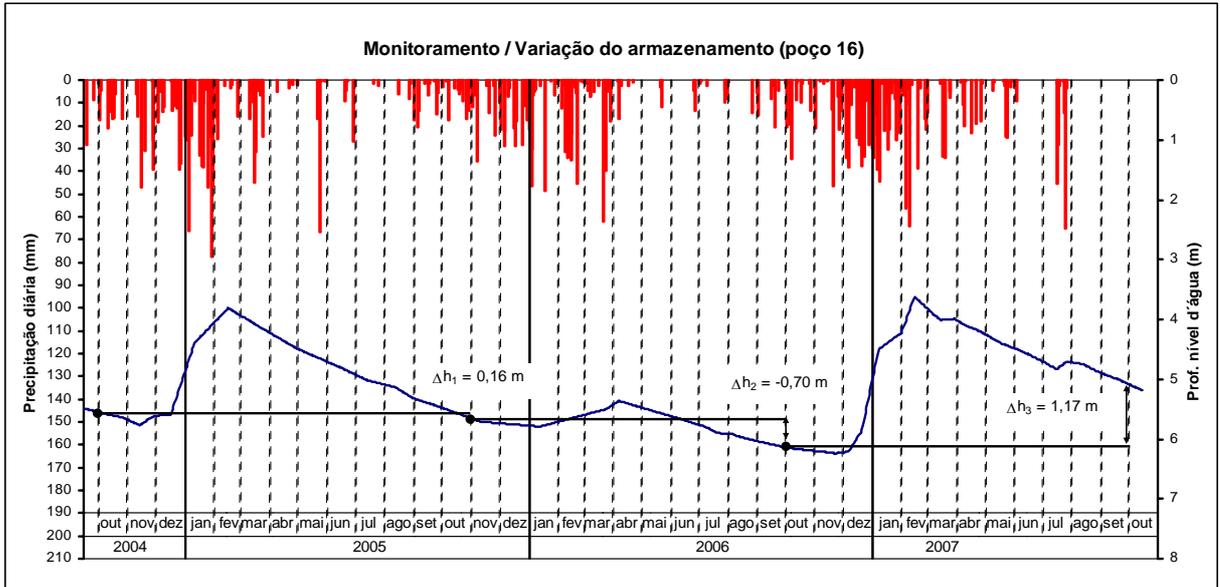


Figura 67: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 16).

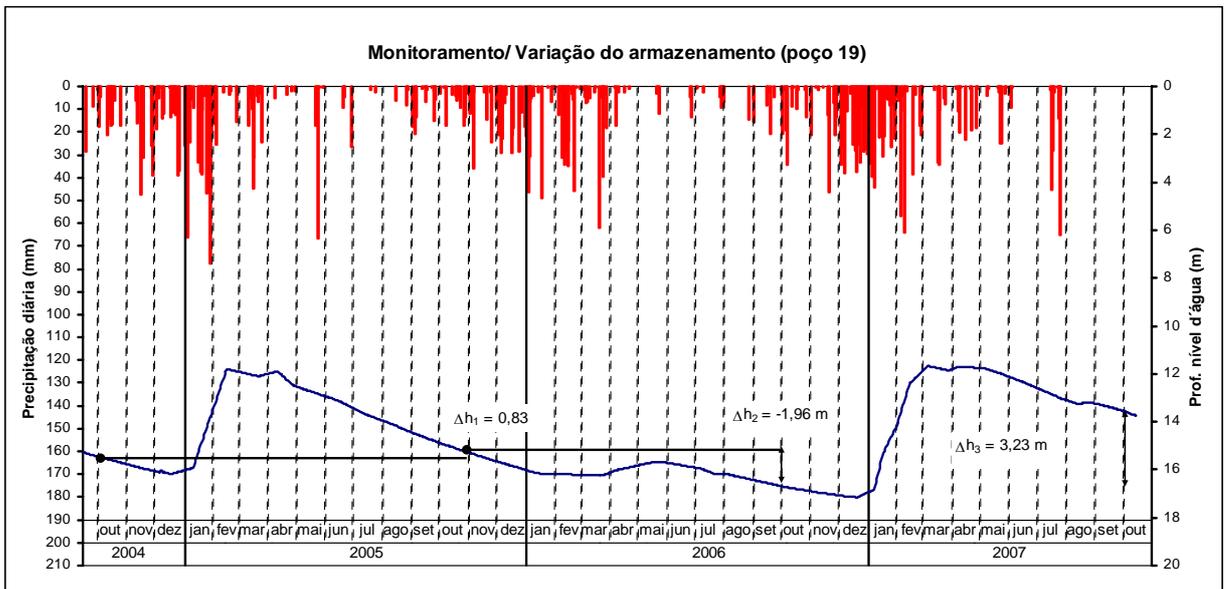


Figura 68: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 19).

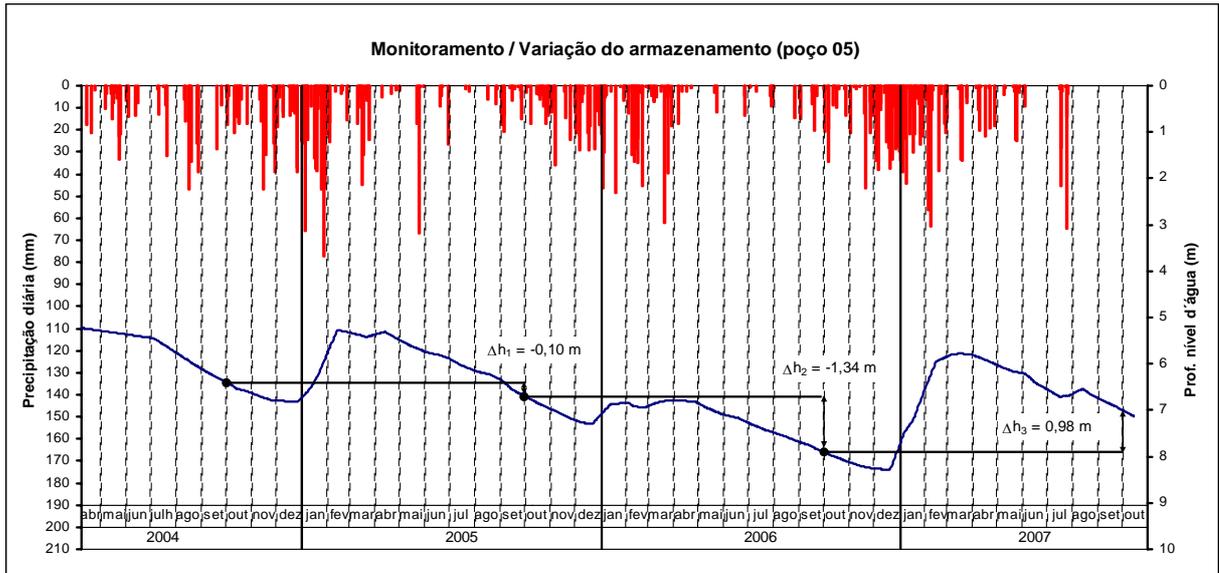


Figura 69: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 05).

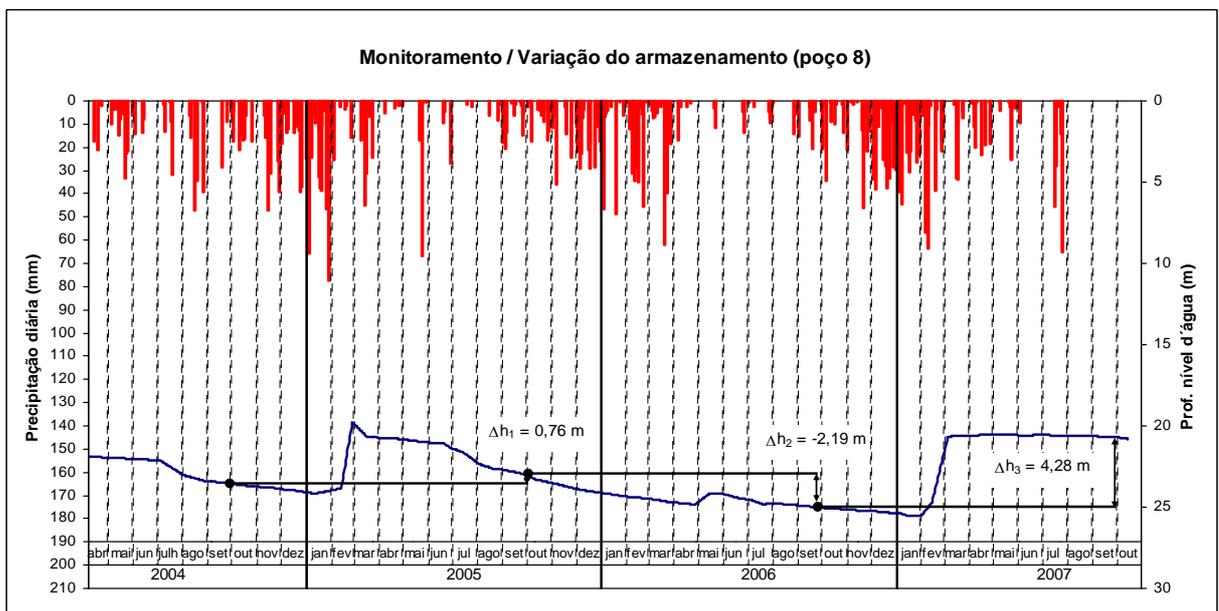


Figura 70: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 08).

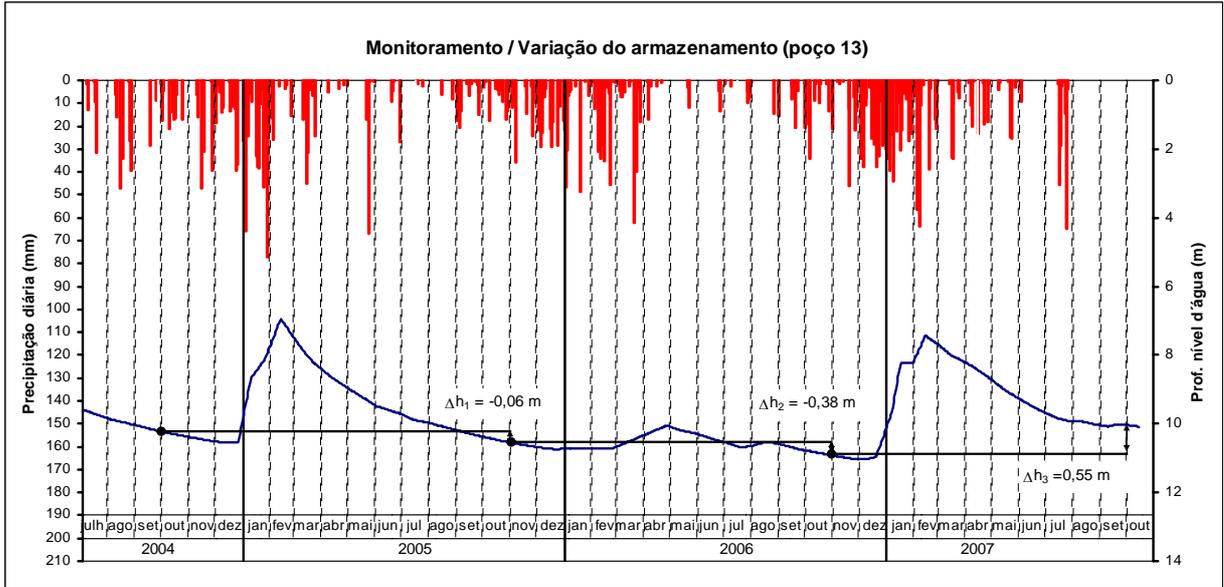


Figura 71: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 13).

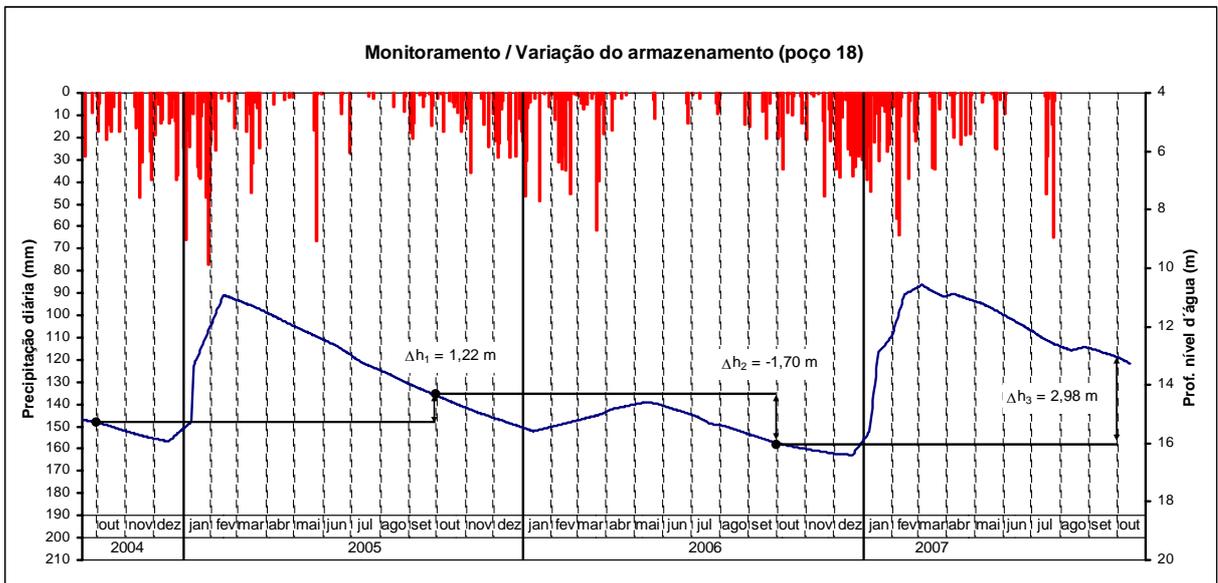


Figura 72: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 18).

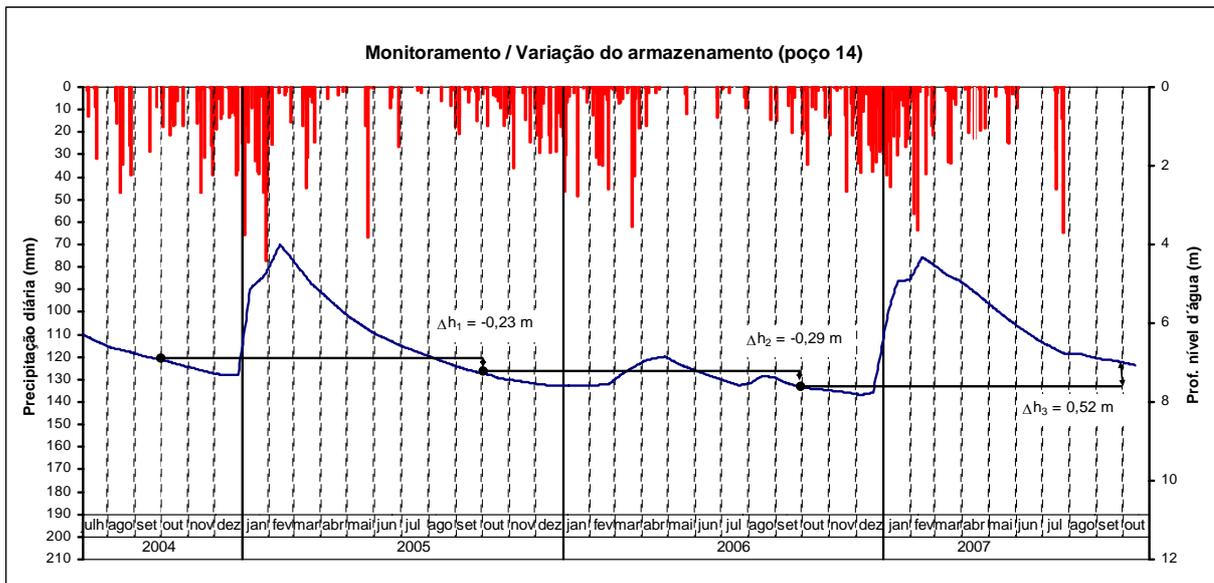


Figura 73: Variação do armazenamento no período de estudo (poço 14).

APÊNDICE D

Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade em amostras indeformadas

Tabela 24: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 01, profundidade: 13,00 m).

PCA 01		13,00 m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)				Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)		
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.} (g)	M _{seco + Cap.} (g)	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{- 6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-04	8,87	23,760	59,05	57,03	C-01	72,50	66,18	6,32	50,18	48,16	41,84	8,5	26,6	35,1
A-10	8,87	23,381	58,89	56,65	C-02	71,80	65,33	6,47	50,02	47,78	41,31	9,6	27,7	37,3
A-15	8,92	23,618	59,01	57,11	C-03	77,24	70,75	6,49	50,09	48,19	41,70	8,0	27,5	35,5
											Média	8,7	27,3	36,0

Tabela 25: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 01, profundidade: 14,00 m).

PCA 01		14,00 m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)				Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)		
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.} (g)	M _{seco + Cap.} (g)	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{- 6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-04	8,87	23,760	59,75	58,32	C-09	97,58	89,92	7,66	50,88	49,45	41,79	6,0	32,2	38,3
A-10	8,87	23,381	58,89	58,01	C-13	97,98	90,57	7,41	50,02	49,14	41,73	3,8	31,7	35,5
A-15	8,92	23,618	58,77	56,49	C-46	88,92	82,77	6,15	49,85	47,57	41,42	9,7	26,0	35,7
											Média	7,8	30,0	36,5

Tabela 26: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 01, profundidade: 15,80 m).

PCA 01		15,80 m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)				Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)		
n°	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-04	8,87	23,760	57,71	55,64	C-46	88,36	80,42	7,94	48,84	46,77	38,83	8,7	33,4	42,1
A-10	8,87	23,381	56,90	54,72	C-09	94,05	86,54	7,51	48,03	45,85	38,34	9,3	32,1	41,4
A-15	8,92	23,618	58,15	56,02	C-13	96,08	88,45	7,63	49,23	47,1	39,47	9,0	32,3	41,3
											Média	9,0	32,6	41,6

Tabela 27: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 03, profundidade: 7,10 m).

PCA 03		7,10 m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)				Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)		
n°	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-01	8,91	23,291	54,96	52,59	C-13	92,50	87,64	4,86	46,05	43,68	38,82	10,2	20,9	31,0
A-07	8,55	23,336	52,85	49,34	C-09	88,85	84,27	4,58	44,30	40,79	36,21	15,0	19,6	34,7
A-22	8,51	22,503	53,49	50,81	C-46	83,83	78,74	5,09	44,98	42,3	37,21	11,9	22,6	34,5
											Média	12,4	21,0	33,4

Tabela 28: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 03, profundidade: 8,40 m).

PCA 03		8,40m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-04	8,87	23,760	57,85	55,41	C-01	70,88	65,39	5,49	48,98	46,54	41,05	10,3	23,1	33,4
A-10	8,87	23,381	56,41	54,31	C-02	69,43	64,01	5,42	47,54	45,44	40,02	9,0	23,2	32,2
A-15	8,92	23,618	59,78	58,04	C-03	78,14	72,19	5,95	50,86	49,12	43,17	7,4	25,2	32,6
											Média	8,9	23,8	32,7

Tabela 29: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 03, profundidade: 9,30 m).

PCA 03		9,30 m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-04	8,87	23,760	61,59	58,89	C-03	79,17	70,81	8,36	52,72	50,02	41,66	11,4	35,2	46,5
A-10	8,87	23,381	60,64	58,38	C-01	73,83	65,15	8,68	51,77	49,51	40,83	9,7	37,1	46,8
A-15	8,92	23,618	59,56	57,16	C-02	72,28	64,57	7,71	50,64	48,24	40,53	10,2	32,6	42,8
											Média	10,4	35,0	45,4

Tabela 30: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 14,80 m).

PCA 04		14,80m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-01	8,91	23,291	55,65	53,44	C-09	92,73	87,48	5,25	46,74	44,53	39,28	9,5	22,5	32,0
A-07	8,55	23,336	54,72	52,64	C-13	93,07	87,84	5,23	46,17	44,09	38,86	8,9	22,4	31,3
A-22	8,51	22,503	53,87	51,52	C-46	84,60	79,73	4,87	45,36	43,01	38,14	10,4	21,6	32,1
Média												9,6	22,2	31,8

Tabela 31: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 16,00m).

PCA 04		16,00 m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-01	8,91	23,291	55,72	53,54	C-06	73,09	68,61	4,48	46,81	44,63	40,15	9,4	19,2	28,6
A-07	8,55	23,336	53,41	50,84	C-04	68,74	64,30	4,44	44,86	42,29	37,85	11,0	19,0	30,0
A-22	8,51	22,503	52,67	50,25	C-05	68,73	64,37	4,36	44,16	41,74	37,38	10,8	19,4	30,1
Média												10,4	19,2	29,6

Tabela 32: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 16,90 m).

PCA 04		16,90 m													
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)				Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total	
A-04	8,87	23,760	54,39	52,51	C-01	68,00	62,12	5,88	45,52	43,64	37,76	7,9	24,7	32,7	
A-10	8,87	23,381	53,18	50,55	C-02	65,71	59,82	5,89	44,31	41,68	35,79	11,2	25,2	36,4	
A-15	8,92	23,618	53,81	50,50	C-03	70,41	64,84	5,57	44,89	41,58	36,01	14,0	23,6	37,6	
												Média	11,1	24,5	35,6

Tabela 33: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 18,10 m).

PCA 04		18,10 m													
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)				Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total	
A-04	8,87	23,760	56,34	53,27	C-02	68,44	63,74	4,70	47,47	44,4	39,70	12,9	19,8	32,7	
A-10	8,87	23,381	55,07	52,14	C-01	67,61	62,89	4,72	46,20	43,27	38,55	12,5	20,2	32,7	
A-15	8,92	23,618	56,45	52,71	C-03	72,81	68,27	4,54	47,53	43,79	39,25	15,8	19,2	35,1	
												Média	12,7	19,7	33,5

Tabela 34: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 04, profundidade: 19,10 m).

PCA 04		19,10 m													
nº	Anel		Saturação/Pressão		Cápsulas	Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)		M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total	
A-01	8,91	23,291	58,22	56,09	C-04	73,66	66,75	6,91	49,31	47,18	40,27	9,1	29,7	38,8	
A-07	8,55	23,336	56,93	54,90	C-06	74,81	65,82	8,99	48,38	46,35	37,36	8,7	38,5	47,2	
A-22	8,51	22,503	55,83	53,74	C-05	72,31	68,07	4,24	47,32	45,23	40,99	9,3	18,8	28,1	
												Média	9,0	29,0	38,1

Tabela 35: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 05, profundidade: 4,10 m).

PCA 05		4,40 m													
nº	Anel		Saturação/Pressão		Cápsulas	Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)		M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total	
A-04	8,87	23,760	56,58	52,57	C-46	85,23	80,61	4,62	47,71	43,7	39,08	16,9	19,4	36,3	
A-10	8,87	23,381	55,10	51,25	C-09	90,53	85,95	4,58	46,23	42,38	37,80	16,5	19,6	36,1	
A-15	8,92	23,618	56,17	52,13	C-13	91,11	87,62	3,49	47,25	43,21	39,72	17,1	14,8	31,9	
												Média	16,8	17,9	34,8

Tabela 36: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 05, profundidade: 5,40m).

PCA 05		5,40 m													
nº	Anel		Saturação/Pressão		Cápsulas	Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)		M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total	
01	8,91	23,291	54,32	48,27	C-04	65,71	61,91	3,80	45,41	39,36	35,56	26,0	16,3	42,3	
07	8,55	23,336	54,15	50,48	C-05	68,91	64,03	4,88	45,60	41,93	37,05	15,7	20,9	36,6	
22	8,51	22,503	52,47	46,22	C-06	66,10	63,43	2,67	43,96	37,71	35,04	27,8	11,9	39,6	
												Média	15,7	20,9	36,6

Tabela 37: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 05, profundidade: 6,00 m).

PCA 05		6,00 m													
nº	Anel		Saturação/Pressão		Cápsulas	Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)		M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total	
01	8,91	23,291	60,39	56,92	C-05	75,05	69,62	5,43	51,48	48,01	42,58	14,9	23,3	38,2	
07	8,55	23,336	58,74	55,17	C-06	75,09	69,65	5,44	50,19	46,62	41,18	15,3	23,3	38,6	
22	8,51	22,503	59,73	58,13	C-04	76,02	68,80	7,22	51,22	49,62	42,40	7,1	32,1	39,2	
												Média	15,1	23,3	38,4

Tabela 38: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 02, profundidade: 3,00m).

PCA 02		3,00 m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-04	8,87	23,760	54,00	50,34	C-03	70,52	67,34	3,18	45,13	41,47	38,29	15,4	13,4	28,8
A-10	8,87	23,381	54,00	48,77	C-01	64,14	61,46	2,68	45,13	39,90	37,22	22,4	11,5	33,8
A-15	8,92	23,618	54,00	49,19	C-02	64,25	61,38	2,87	45,08	40,27	37,40	20,4	12,2	32,5
											Média	15,4	12,3	31,7

Tabela 39: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 02, profundidade: 4,00 m).

PCA 02		4,00 m												
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)			Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)			
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total
A-04	8,87	23,760	56,61	53,29	C-03	74,18	69,41	4,77	47,74	44,42	39,65	14,0	20,1	34,0
A-10	8,87	23,381	55,18	51,37	C-01	67,01	63,11	3,90	46,31	42,50	38,60	16,3	16,7	33,0
A-15	8,92	23,618	56,03	52,43	C-02	67,82	63,75	4,07	47,11	43,51	39,44	15,2	17,2	32,5
											Média	15,2	18,0	33,2

Tabela 40: Resultados dos ensaios de laboratório para porosidade nas amostras coletadas (local: PCA 02, profundidade: 4,50 m).

PCA 02		4,50m																
Anel		Saturação/Pressão			Secagem (Estufa 105° / 24h)				Massa Solo (líquido)			Porosidades (%)						
nº	Tara (g)	Volume (cm³)	M _{Saturado+Anel} (g)	M _{-6 Kpa+Anel} (g)	Cápsulas	M _{-6 Kpa + Cap.(g)}	M _{seco + Cap.(g)}	Δ M (g)	M _{saturado} (g)	M _{-6 KPa} (g)	M _{seco} (g)	Macroporos	Microporos	Total				
A-01	8,91	23,291	55,42	52,01	C-06	71,67	67,17	4,50	46,51	43,1	38,60	14,6	19,3	34,0				
A-07	8,55	23,336	55,59	52,00	C-05	70,44	65,98	4,46	47,04	43,45	38,99	15,4	19,1	34,5				
A-22	8,51	22,503	53,83	50,63	C-04	68,59	64,25	4,34	45,32	42,12	37,78	14,2	19,3	33,5				
												Média	14,7	19,2	34,0			

APÊNDICE E

Vazões diárias totais (determinadas com o software IPHS 1®)

e vazões de base (determinadas por separação de hidrograma).

Tabela 41: Vazões diárias totais na seção de controle, calculadas com o software IPHS 1® para o ano de 2004

Data	Vazão (m³/s)	Data	Vazão (m³/s)	Data	Vazão (m³/s)
01/01/07	-	01/11/04	0,590	01/12/04	0,648
02/01/07	-	02/11/04	0,592	02/12/04	0,649
03/01/07	-	03/11/04	0,594	03/12/04	0,651
04/01/07	-	04/11/04	0,595	04/12/04	0,653
05/01/07	-	05/11/04	0,597	05/12/04	0,655
06/01/07	-	06/11/04	0,599	06/12/04	0,657
07/01/07	-	07/11/04	0,601	07/12/04	0,659
08/01/07	-	08/11/04	0,603	08/12/04	0,661
09/01/07	-	09/11/04	0,605	09/12/04	0,663
10/01/07	-	10/11/04	0,607	10/12/04	0,665
11/01/07	-	11/11/04	0,609	11/12/04	0,667
12/01/07	-	12/11/04	0,611	12/12/04	0,669
13/01/07	-	13/11/04	0,613	13/12/04	0,679
14/01/07	-	14/11/04	0,615	14/12/04	0,695
15/01/07	-	15/11/04	0,617	15/12/04	0,679
16/01/07	-	16/11/04	0,619	16/12/04	0,679
17/01/07	-	17/11/04	0,621	17/12/04	0,679
18/01/07	-	18/11/04	0,622	18/12/04	0,687
19/01/07	-	19/11/04	0,624	19/12/04	0,671
20/01/07	-	20/11/04	0,626	20/12/04	0,728
21/01/07	-	21/11/04	0,628	21/12/04	0,752
22/01/07	-	22/11/04	0,630	22/12/04	0,720
23/01/07	-	23/11/04	0,632	23/12/04	0,703
24/01/07	-	24/11/04	0,634	24/12/04	0,858
25/01/07	-	25/11/04	0,636	25/12/04	0,777
26/01/07	-	26/11/04	0,638	26/12/04	1,494
27/01/07	-	27/11/04	0,640	27/12/04	1,229
28/01/07	0,582	28/11/04	0,642	28/12/04	1,306
29/01/07	0,584	29/11/04	0,644	29/12/04	0,785
30/01/07	0,586	30/11/04	0,646	30/12/04	0,679
31/01/07	0,588	-	-	31/12/04	0,671

Tabela 42: Vazões diárias totais na seção de controle, calculadas com o software IPHS 1® para o ano de 2005

Data	Vazão (m³/s)																						
01/01/05	0,674	01/02/05	0,859	01/03/05	0,779	01/04/05	0,854	01/05/05	0,653	01/06/05	0,607	01/07/05	0,570	01/08/05	0,531	01/09/05	0,457	01/10/05	0,423	01/11/05	0,495	01/12/05	0,406
02/01/05	0,677	02/02/05	0,778	02/03/05	0,788	02/04/05	0,837	02/05/05	0,653	02/06/05	0,606	02/07/05	0,568	02/08/05	0,530	02/09/05	0,456	02/10/05	0,422	02/11/05	0,492	02/12/05	0,403
03/01/05	0,680	03/02/05	0,753	03/03/05	0,797	03/04/05	0,819	03/05/05	0,653	03/06/05	0,604	03/07/05	0,567	03/08/05	0,529	03/09/05	0,455	03/10/05	0,421	03/11/05	0,489	03/12/05	0,400
04/01/05	0,683	04/02/05	0,990	04/03/05	0,806	04/04/05	0,802	04/05/05	0,654	04/06/05	0,603	04/07/05	0,566	04/08/05	0,527	04/09/05	0,454	04/10/05	0,419	04/11/05	0,486	04/12/05	0,398
05/01/05	0,686	05/02/05	1,291	05/03/05	0,815	05/04/05	0,784	05/05/05	0,654	05/06/05	0,602	05/07/05	0,565	05/08/05	0,526	05/09/05	0,453	05/10/05	0,418	05/11/05	0,483	05/12/05	0,395
06/01/05	0,689	06/02/05	0,924	06/03/05	0,824	06/04/05	0,767	06/05/05	0,654	06/06/05	0,601	06/07/05	0,563	06/08/05	0,525	06/09/05	0,452	06/10/05	0,433	06/11/05	0,480	06/12/05	0,392
07/01/05	0,693	07/02/05	0,778	07/03/05	0,833	07/04/05	0,970	07/05/05	0,654	07/06/05	0,599	07/07/05	0,562	07/08/05	0,524	07/09/05	0,450	07/10/05	0,418	07/11/05	0,477	07/12/05	0,389
08/01/05	0,696	08/02/05	0,745	08/03/05	0,842	08/04/05	0,815	08/05/05	0,654	08/06/05	0,598	08/07/05	0,561	08/08/05	0,523	08/09/05	0,449	08/10/05	0,456	08/11/05	0,474	08/12/05	0,386
09/01/05	0,699	09/02/05	0,745	09/03/05	0,851	09/04/05	1,019	09/05/05	0,654	09/06/05	0,597	09/07/05	0,560	09/08/05	0,521	09/09/05	0,448	09/10/05	0,425	09/11/05	0,471	09/12/05	0,383
10/01/05	0,702	10/02/05	0,745	10/03/05	0,861	10/04/05	0,913	10/05/05	0,655	10/06/05	0,596	10/07/05	0,558	10/08/05	0,520	10/09/05	0,447	10/10/05	0,418	10/11/05	0,468	10/12/05	0,380
11/01/05	0,705	11/02/05	0,794	11/03/05	0,870	11/04/05	0,807	11/05/05	0,655	11/06/05	0,594	11/07/05	0,557	11/08/05	0,519	11/09/05	0,446	11/10/05	0,425	11/11/05	0,465	11/12/05	0,377
12/01/05	0,708	12/02/05	0,851	12/03/05	0,879	12/04/05	0,775	12/05/05	0,655	12/06/05	0,593	12/07/05	0,556	12/08/05	0,518	12/09/05	0,445	12/10/05	0,418	12/11/05	0,462	12/12/05	0,374
13/01/05	0,711	13/02/05	0,924	13/03/05	0,888	13/04/05	0,755	13/05/05	0,655	13/06/05	0,592	13/07/05	0,555	13/08/05	0,516	13/09/05	0,444	13/10/05	0,410	13/11/05	0,459	13/12/05	0,371
14/01/05	0,714	14/02/05	0,769	14/03/05	0,897	14/04/05	0,736	14/05/05	0,655	14/06/05	0,591	14/07/05	0,554	14/08/05	0,515	14/09/05	0,442	14/10/05	0,410	14/11/05	0,456	14/12/05	0,368
15/01/05	0,718	15/02/05	0,737	15/03/05	0,906	15/04/05	0,716	15/05/05	0,655	15/06/05	0,589	15/07/05	0,552	15/08/05	0,514	15/09/05	0,441	15/10/05	0,441	15/11/05	0,453	15/12/05	0,365
16/01/05	0,721	16/02/05	0,851	16/03/05	0,915	16/04/05	0,697	16/05/05	0,656	16/06/05	0,588	16/07/05	0,551	16/08/05	0,513	16/09/05	0,440	16/10/05	0,494	16/11/05	0,451	16/12/05	0,362
17/01/05	0,724	17/02/05	0,761	17/03/05	1,078	17/04/05	0,678	17/05/05	0,656	17/06/05	0,587	17/07/05	0,550	17/08/05	0,511	17/09/05	0,439	17/10/05	0,433	17/11/05	0,448	17/12/05	0,360
18/01/05	0,727	18/02/05	0,745	18/03/05	0,972	18/04/05	0,658	18/05/05	0,656	18/06/05	0,586	18/07/05	0,549	18/08/05	0,510	18/09/05	0,438	18/10/05	0,456	18/11/05	0,445	18/12/05	0,405
19/01/05	0,730	19/02/05	0,810	19/03/05	0,923	19/04/05	0,707	19/05/05	0,656	19/06/05	0,584	19/07/05	0,547	19/08/05	0,509	19/09/05	0,437	19/10/05	0,448	19/11/05	0,442	19/12/05	0,511
20/01/05	0,733	20/02/05	0,810	20/03/05	0,980	20/04/05	0,666	20/05/05	0,656	20/06/05	0,583	20/07/05	0,546	20/08/05	0,508	20/09/05	0,435	20/10/05	0,509	20/11/05	0,439	20/12/05	0,412
21/01/05	0,736	21/02/05	0,761	21/03/05	0,939	21/04/05	0,797	21/05/05	0,656	21/06/05	0,582	21/07/05	0,545	21/08/05	0,506	21/09/05	0,434	21/10/05	0,478	21/11/05	0,436	21/12/05	0,367
22/01/05	0,739	22/02/05	0,737	22/03/05	1,045	22/04/05	0,715	22/05/05	0,657	22/06/05	0,581	22/07/05	0,544	22/08/05	0,505	22/09/05	0,433	22/10/05	0,622	22/11/05	0,433	22/12/05	0,352
23/01/05	0,743	23/02/05	0,753	23/03/05	1,029	23/04/05	0,666	23/05/05	0,657	23/06/05	0,580	23/07/05	0,542	23/08/05	0,504	23/09/05	0,432	23/10/05	0,683	23/11/05	0,430	23/12/05	0,412
24/01/05	0,746	24/02/05	0,737	24/03/05	0,972	24/04/05	0,658	24/05/05	0,657	24/06/05	0,578	24/07/05	0,541	24/08/05	0,503	24/09/05	0,431	24/10/05	0,501	24/11/05	0,427	24/12/05	0,367
25/01/05	0,749	25/02/05	0,737	25/03/05	1,811	25/04/05	0,691	25/05/05	1,576	25/06/05	0,577	25/07/05	0,540	25/08/05	0,501	25/09/05	0,430	25/10/05	0,433	25/11/05	0,424	25/12/05	0,798
26/01/05	0,752	26/02/05	1,095	26/03/05	1,200	26/04/05	0,756	26/05/05	1,168	26/06/05	0,576	26/07/05	0,539	26/08/05	0,500	26/09/05	0,429	26/10/05	0,418	26/11/05	0,421	26/12/05	0,518
27/01/05	0,755	27/02/05	0,884	27/03/05	0,956	27/04/05	0,691	27/05/05	0,777	27/06/05	0,575	27/07/05	0,537	27/08/05	0,499	27/09/05	0,427	27/10/05	1,015	27/11/05	0,418	27/12/05	0,390
28/01/05	0,758	28/02/05	0,769	28/03/05	0,915	28/04/05	0,658	28/05/05	0,695	28/06/05	0,573	28/07/05	0,536	28/08/05	0,498	28/09/05	0,426	28/10/05	0,667	28/11/05	0,415	28/12/05	0,579
29/01/05	0,761	-	-	29/03/05	0,907	29/04/05	0,658	29/05/05	0,610	29/06/05	0,572	29/07/05	0,535	29/08/05	0,497	29/09/05	0,425	29/10/05	1,053	29/11/05	0,412	29/12/05	0,564
30/01/05	1,047	-	-	30/03/05	0,889	30/04/05	0,764	30/05/05	0,609	30/06/05	0,571	30/07/05	0,534	30/08/05	0,495	30/09/05	0,424	30/10/05	0,728	30/11/05	0,409	30/12/05	0,397
31/01/05	1,095	-	-	31/03/05	0,872	-	-	31/05/05	0,608	-	-	31/07/05	0,532	31/08/05	0,494	-	-	31/10/05	0,531	-	-	31/12/05	0,776

Tabela 43 Vazões diárias totais na seção de controle, calculadas com o software IPHS 1® para o ano de 2006

Data	Vazão (m³/s)																						
01/01/06	0,388	01/02/06	0,340	01/03/06	0,678	01/04/06	0,793	01/05/06	0,638	01/06/06	0,552	01/07/06	0,487	01/08/06	0,419	01/09/06	0,359	01/10/06	0,433	01/11/06	0,439	01/12/06	0,419
02/01/06	0,388	02/02/06	0,338	02/03/06	0,668	02/04/06	0,776	02/05/06	0,617	02/06/06	0,549	02/07/06	0,484	02/08/06	0,417	02/09/06	0,362	02/10/06	0,435	02/11/06	0,439	02/12/06	0,419
03/01/06	0,388	03/02/06	0,336	03/03/06	0,658	03/04/06	0,760	03/05/06	0,596	03/06/06	0,547	03/07/06	0,482	03/08/06	0,415	03/09/06	0,364	03/10/06	0,438	03/11/06	0,438	03/12/06	0,419
04/01/06	0,388	04/02/06	0,334	04/03/06	0,681	04/04/06	0,744	04/05/06	0,575	04/06/06	0,545	04/07/06	0,480	04/08/06	0,413	04/09/06	0,367	04/10/06	0,440	04/11/06	0,437	04/12/06	0,419
05/01/06	0,388	05/02/06	0,332	05/03/06	0,693	05/04/06	0,728	05/05/06	0,555	05/06/06	0,543	05/07/06	0,478	05/08/06	0,411	05/09/06	0,369	05/10/06	0,443	05/11/06	0,436	05/12/06	0,419
06/01/06	0,386	06/02/06	0,331	06/03/06	0,705	06/04/06	0,711	06/05/06	0,534	06/06/06	0,541	06/07/06	0,476	06/08/06	0,408	06/09/06	0,371	06/10/06	0,500	06/11/06	0,435	06/12/06	0,514
07/01/06	0,384	07/02/06	0,329	07/03/06	0,716	07/04/06	0,900	07/05/06	0,544	07/06/06	0,539	07/07/06	0,474	07/08/06	0,406	07/09/06	0,374	07/10/06	1,601	07/11/06	0,434	07/12/06	0,431
08/01/06	0,383	08/02/06	0,327	08/03/06	0,728	08/04/06	0,757	08/05/06	0,554	08/06/06	0,536	08/07/06	0,471	08/08/06	0,404	08/09/06	0,376	08/10/06	0,823	08/11/06	0,433	08/12/06	0,419
09/01/06	0,381	09/02/06	0,325	09/03/06	0,740	09/04/06	0,946	09/05/06	0,564	09/06/06	0,534	09/07/06	0,469	09/08/06	0,402	09/09/06	0,379	09/10/06	0,500	09/11/06	0,432	09/12/06	0,419
10/01/06	0,379	10/02/06	0,323	10/03/06	0,752	10/04/06	0,847	10/05/06	0,574	10/06/06	0,532	10/07/06	0,467	10/08/06	0,400	10/09/06	0,381	10/10/06	0,476	10/11/06	0,431	10/12/06	0,467
11/01/06	0,377	11/02/06	0,322	11/03/06	0,763	11/04/06	0,749	11/05/06	0,583	11/06/06	0,530	11/07/06	0,465	11/08/06	0,398	11/09/06	0,384	11/10/06	0,440	11/11/06	0,430	11/12/06	0,431
12/01/06	0,375	12/02/06	0,320	12/03/06	0,775	12/04/06	0,719	12/05/06	0,593	12/06/06	0,528	12/07/06	0,463	12/08/06	0,395	12/09/06	0,386	12/10/06	0,907	12/11/06	0,430	12/12/06	0,419
13/01/06	0,374	13/02/06	0,471	13/03/06	0,787	13/04/06	0,701	13/05/06	0,603	13/06/06	0,526	13/07/06	0,461	13/08/06	0,393	13/09/06	0,389	13/10/06	0,680	13/11/06	0,429	13/12/06	0,407
14/01/06	0,372	14/02/06	0,380	14/03/06	0,798	14/04/06	0,683	14/05/06	0,613	14/06/06	0,523	14/07/06	0,458	14/08/06	0,391	14/09/06	0,391	14/10/06	0,500	14/11/06	0,428	14/12/06	0,431
15/01/06	0,370	15/02/06	0,615	15/03/06	0,810	15/04/06	0,665	15/05/06	0,623	15/06/06	0,521	15/07/06	0,456	15/08/06	0,389	15/09/06	0,394	15/10/06	0,452	15/11/06	0,427	15/12/06	0,503
16/01/06	0,368	16/02/06	1,076	16/03/06	0,822	16/04/06	0,647	16/05/06	0,633	16/06/06	0,519	16/07/06	0,454	16/08/06	0,387	16/09/06	0,396	16/10/06	0,572	16/11/06	0,426	16/12/06	0,814
17/01/06	0,366	17/02/06	0,569	17/03/06	0,833	17/04/06	0,629	17/05/06	0,630	17/06/06	0,517	17/07/06	0,452	17/08/06	0,385	17/09/06	0,398	17/10/06	1,098	17/11/06	0,425	17/12/06	0,562
18/01/06	0,365	18/02/06	0,358	18/03/06	0,845	18/04/06	0,611	18/05/06	0,627	18/06/06	0,515	18/07/06	0,450	18/08/06	0,382	18/09/06	0,401	18/10/06	0,883	18/11/06	0,424	18/12/06	0,503
19/01/06	0,363	19/02/06	0,373	19/03/06	0,856	19/04/06	0,656	19/05/06	0,624	19/06/06	0,513	19/07/06	0,448	19/08/06	0,380	19/09/06	0,403	19/10/06	0,620	19/11/06	0,423	19/12/06	1,208
20/01/06	0,361	20/02/06	0,335	20/03/06	0,909	20/04/06	0,618	20/05/06	0,621	20/06/06	0,510	20/07/06	0,445	20/08/06	0,378	20/09/06	0,406	20/10/06	0,476	20/11/06	0,422	20/12/06	0,766
21/01/06	0,359	21/02/06	0,456	21/03/06	0,872	21/04/06	0,739	21/05/06	0,618	21/06/06	0,508	21/07/06	0,443	21/08/06	0,376	21/09/06	0,408	21/10/06	0,560	21/11/06	0,421	21/12/06	1,228
22/01/06	0,358	22/02/06	1,583	22/03/06	0,970	22/04/06	0,664	22/05/06	0,615	22/06/06	0,506	22/07/06	0,441	22/08/06	0,374	22/09/06	0,411	22/10/06	0,452	22/11/06	0,421	22/12/06	1,536
23/01/06	0,356	23/02/06	0,796	23/03/06	0,955	23/04/06	0,618	23/05/06	0,612	23/06/06	0,504	23/07/06	0,439	23/08/06	0,372	23/09/06	0,413	23/10/06	0,428	23/11/06	0,420	23/12/06	1,328
24/01/06	0,354	24/02/06	0,486	24/03/06	0,902	24/04/06	0,611	24/05/06	0,610	24/06/06	0,502	24/07/06	0,437	24/08/06	0,369	24/09/06	0,416	24/10/06	0,428	24/11/06	0,419	24/12/06	1,579
25/01/06	0,352	25/02/06	0,486	25/03/06	1,681	25/04/06	0,641	25/05/06	1,462	25/06/06	0,500	25/07/06	0,434	25/08/06	0,367	25/09/06	0,418	25/10/06	0,428	25/11/06	0,491	25/12/06	1,819
26/01/06	0,350	26/02/06	0,486	26/03/06	1,114	26/04/06	0,701	26/05/06	1,084	26/06/06	0,497	26/07/06	0,432	26/08/06	0,365	26/09/06	0,421	26/10/06	0,524	26/11/06	0,431	26/12/06	1,364
27/01/06	0,349	27/02/06	0,343	27/03/06	0,887	27/04/06	0,641	27/05/06	0,721	27/06/06	0,495	27/07/06	0,430	27/08/06	0,363	27/09/06	0,423	27/10/06	0,464	27/11/06	0,419	27/12/06	0,861
28/01/06	0,347	28/02/06	0,365	28/03/06	0,849	28/04/06	0,611	28/05/06	0,645	28/06/06	0,493	28/07/06	0,428	28/08/06	0,361	28/09/06	0,426	28/10/06	1,541	28/11/06	0,419	28/12/06	1,759
29/01/06	0,345	-	-	29/03/06	0,841	29/04/06	0,611	29/05/06	0,566	29/06/06	0,491	29/07/06	0,426	29/08/06	0,359	29/09/06	0,428	29/10/06	1,015	29/11/06	0,419	29/12/06	1,340
30/01/06	0,343	-	-	30/03/06	0,825	30/04/06	0,709	30/05/06	0,558	30/06/06	0,489	30/07/06	0,424	30/08/06	0,356	30/09/06	0,430	30/10/06	0,536	30/11/06	0,419	30/12/06	0,634
31/01/06	0,341	-	-	31/03/06	0,809	-	-	31/05/06	0,554	-	-	31/07/06	0,421	31/08/06	0,357	-	-	31/10/06	0,440	-	-	31/12/06	1,809

Tabela 44: Vazões diárias totais na seção de controle, calculadas com o software IPHS 1® para o ano de 2007

Data	Vazão (m³/s)										
01/01/07	0,848	01/02/07	1,147	01/03/07	0,839	01/04/07	0,839	01/05/07	0,774	01/06/07	0,774
02/01/07	0,856	02/02/07	1,099	02/03/07	0,839	02/04/07	0,839	02/05/07	0,774	02/06/07	1,049
03/01/07	0,865	03/02/07	1,159	03/03/07	0,839	03/04/07	0,839	03/05/07	0,774	03/06/07	1,755
04/01/07	0,873	04/02/07	1,099	04/03/07	0,839	04/04/07	0,839	04/05/07	0,774	04/06/07	1,133
05/01/07	0,882	05/02/07	1,075	05/03/07	0,839	05/04/07	0,839	05/05/07	0,774	05/06/07	0,834
06/01/07	0,890	06/02/07	1,571	06/03/07	0,839	06/04/07	0,851	06/05/07	0,774	06/06/07	0,774
07/01/07	0,899	07/02/07	1,685	07/03/07	0,882	07/04/07	0,839	07/05/07	0,774	07/06/07	0,762
08/01/07	0,908	08/02/07	1,195	08/03/07	0,879	08/04/07	0,911	08/05/07	0,774	08/06/07	0,762
09/01/07	0,916	09/02/07	2,095	09/03/07	0,876	09/04/07	1,090	09/05/07	0,774	09/06/07	0,762
10/01/07	0,925	10/02/07	1,471	10/03/07	0,873	10/04/07	0,935	10/05/07	0,774	10/06/07	0,762
11/01/07	0,933	11/02/07	1,422	11/03/07	0,870	11/04/07	0,887	11/05/07	0,774	11/06/07	1,002
12/01/07	0,942	12/02/07	1,398	12/03/07	0,867	12/04/07	0,839	12/05/07	0,774	12/06/07	0,810
13/01/07	0,950	13/02/07	1,147	13/03/07	0,864	13/04/07	0,827	13/05/07	0,774	13/06/07	0,822
14/01/07	0,959	14/02/07	1,111	14/03/07	0,861	14/04/07	0,827	14/05/07	0,774	14/06/07	0,774
15/01/07	0,968	15/02/07	1,075	15/03/07	0,857	15/04/07	0,827	15/05/07	0,774	15/06/07	0,762
16/01/07	0,976	16/02/07	1,075	16/03/07	0,854	16/04/07	1,653	16/05/07	0,774	16/06/07	0,942
17/01/07	0,985	17/02/07	1,123	17/03/07	0,851	17/04/07	1,138	17/05/07	0,774	17/06/07	0,798
18/01/07	0,993	18/02/07	1,267	18/03/07	0,848	18/04/07	0,887	18/05/07	0,774	18/06/07	0,762
19/01/07	1,002	19/02/07	1,930	19/03/07	0,845	19/04/07	1,054	19/05/07	0,774	-	-
20/01/07	1,010	20/02/07	1,841	20/03/07	0,842	20/04/07	0,875	20/05/07	0,774	-	-
21/01/07	1,019	21/02/07	1,398	21/03/07	0,839	21/04/07	0,875	21/05/07	0,774	-	-
22/01/07	1,028	22/02/07	1,207	22/03/07	0,923	22/04/07	1,916	22/05/07	0,774	-	-
23/01/07	1,036	23/02/07	1,817	23/03/07	0,851	23/04/07	1,198	23/05/07	0,774	-	-
24/01/07	1,045	24/02/07	1,219	24/03/07	0,839	24/04/07	0,887	24/05/07	1,684	-	-
25/01/07	1,053	25/02/07	1,075	25/03/07	0,839	25/04/07	0,851	25/05/07	1,085	-	-
26/01/07	1,062	26/02/07	1,363	26/03/07	0,839	26/04/07	0,827	26/05/07	0,810	-	-
27/01/07	1,070	27/02/07	1,765	27/03/07	0,839	27/04/07	1,279	27/05/07	0,774	-	-
28/01/07	1,079	28/02/07	1,916	28/03/07	0,839	28/04/07	1,593	28/05/07	0,990	-	-
29/01/07	1,087	-	-	29/03/07	0,839	29/04/07	0,995	29/05/07	0,882	-	-
30/01/07	1,279	-	-	30/03/07	0,839	30/04/07	0,851	30/05/07	0,798	-	-
31/01/07	1,159	-	-	31/03/07	0,839	-	-	-	-	-	-

Tabela 45: Vazões diárias básicas na seção de controle, calculadas com separação de hidrograma para o ano de 2004

Data	Vazão (m³/s)	Data	Vazão (m³/s)	Data	Vazão (m³/s)
01/10/04	-	01/11/04	0,590	01/12/04	0,648
02/10/04	-	02/11/04	0,592	02/12/04	0,649
03/10/04	-	03/11/04	0,594	03/12/04	0,651
04/10/04	-	04/11/04	0,595	04/12/04	0,653
05/10/04	-	05/11/04	0,597	05/12/04	0,655
06/10/04	-	06/11/04	0,599	06/12/04	0,657
07/10/04	-	07/11/04	0,601	07/12/04	0,659
08/10/04	-	08/11/04	0,603	08/12/04	0,661
09/10/04	-	09/11/04	0,605	09/12/04	0,663
10/10/04	-	10/11/04	0,607	10/12/04	0,665
11/10/04	-	11/11/04	0,609	11/12/04	0,667
12/10/04	-	12/11/04	0,611	12/12/04	0,669
13/10/04	-	13/11/04	0,613	13/12/04	0,671
14/10/04	-	14/11/04	0,615	14/12/04	0,675
15/10/04	-	15/11/04	0,617	15/12/04	0,679
16/10/04	-	16/11/04	0,619	16/12/04	0,679
17/10/04	-	17/11/04	0,621	17/12/04	0,679
18/10/04	-	18/11/04	0,622	18/12/04	0,675
19/10/04	-	19/11/04	0,624	19/12/04	0,671
20/10/04	-	20/11/04	0,626	20/12/04	0,679
21/10/04	-	21/11/04	0,628	21/12/04	0,687
22/10/04	-	22/11/04	0,630	22/12/04	0,695
23/10/04	-	23/11/04	0,632	23/12/04	0,703
24/10/04	-	24/11/04	0,634	24/12/04	0,740
25/10/04	-	25/11/04	0,636	25/12/04	0,777
26/10/04	-	26/11/04	0,638	26/12/04	0,759
27/10/04	-	27/11/04	0,640	27/12/04	0,741
28/10/04	0,582	28/11/04	0,642	28/12/04	0,724
29/10/04	0,584	29/11/04	0,644	29/12/04	0,706
30/10/04	0,586	30/11/04	0,646	30/12/04	0,688
31/10/04	0,588	-	-	31/12/04	0,671

Tabela 46 Vazões diárias básicas na seção de controle, calculadas com separação de hidrograma para o ano de 2005

Data	Vazão (m³/s)																						
01/01/05	0,674	01/02/05	0,756	01/03/05	0,779	01/04/05	0,854	01/05/05	0,653	01/06/05	0,607	01/07/05	0,570	01/08/05	0,531	01/09/05	0,480	01/10/05	0,423	01/11/05	0,495	01/12/05	0,406
02/01/05	0,677	02/02/05	0,755	02/03/05	0,788	02/04/05	0,837	02/05/05	0,653	02/06/05	0,606	02/07/05	0,568	02/08/05	0,530	02/09/05	0,470	02/10/05	0,422	02/11/05	0,492	02/12/05	0,403
03/01/05	0,680	03/02/05	0,753	03/03/05	0,797	03/04/05	0,819	03/05/05	0,653	03/06/05	0,604	03/07/05	0,567	03/08/05	0,529	03/09/05	0,460	03/10/05	0,421	03/11/05	0,489	03/12/05	0,400
04/01/05	0,683	04/02/05	0,752	04/03/05	0,806	04/04/05	0,802	04/05/05	0,654	04/06/05	0,603	04/07/05	0,566	04/08/05	0,527	04/09/05	0,450	04/10/05	0,419	04/11/05	0,486	04/12/05	0,398
05/01/05	0,686	05/02/05	0,750	05/03/05	0,815	05/04/05	0,784	05/05/05	0,654	05/06/05	0,602	05/07/05	0,565	05/08/05	0,526	05/09/05	0,450	05/10/05	0,418	05/11/05	0,483	05/12/05	0,395
06/01/05	0,689	06/02/05	0,748	06/03/05	0,824	06/04/05	0,767	06/05/05	0,654	06/06/05	0,601	06/07/05	0,563	06/08/05	0,525	06/09/05	0,452	06/10/05	0,419	06/11/05	0,480	06/12/05	0,392
07/01/05	0,693	07/02/05	0,747	07/03/05	0,833	07/04/05	0,768	07/05/05	0,654	07/06/05	0,599	07/07/05	0,562	07/08/05	0,524	07/09/05	0,450	07/10/05	0,420	07/11/05	0,477	07/12/05	0,389
08/01/05	0,696	08/02/05	0,745	08/03/05	0,842	08/04/05	0,769	08/05/05	0,654	08/06/05	0,598	08/07/05	0,561	08/08/05	0,523	08/09/05	0,449	08/10/05	0,418	08/11/05	0,474	08/12/05	0,386
09/01/05	0,699	09/02/05	0,745	09/03/05	0,851	09/04/05	0,771	09/05/05	0,654	09/06/05	0,597	09/07/05	0,560	09/08/05	0,521	09/09/05	0,448	09/10/05	0,418	09/11/05	0,471	09/12/05	0,383
10/01/05	0,702	10/02/05	0,745	10/03/05	0,861	10/04/05	0,772	10/05/05	0,655	10/06/05	0,596	10/07/05	0,558	10/08/05	0,520	10/09/05	0,447	10/10/05	0,418	10/11/05	0,468	10/12/05	0,380
11/01/05	0,705	11/02/05	0,743	11/03/05	0,870	11/04/05	0,773	11/05/05	0,655	11/06/05	0,594	11/07/05	0,557	11/08/05	0,519	11/09/05	0,446	11/10/05	0,416	11/11/05	0,465	11/12/05	0,377
12/01/05	0,708	12/02/05	0,742	12/03/05	0,879	12/04/05	0,775	12/05/05	0,655	12/06/05	0,593	12/07/05	0,556	12/08/05	0,518	12/09/05	0,445	12/10/05	0,413	12/11/05	0,462	12/12/05	0,374
13/01/05	0,711	13/02/05	0,740	13/03/05	0,888	13/04/05	0,755	13/05/05	0,655	13/06/05	0,592	13/07/05	0,555	13/08/05	0,516	13/09/05	0,444	13/10/05	0,411	13/11/05	0,459	13/12/05	0,371
14/01/05	0,714	14/02/05	0,738	14/03/05	0,897	14/04/05	0,736	14/05/05	0,655	14/06/05	0,591	14/07/05	0,554	14/08/05	0,515	14/09/05	0,442	14/10/05	0,416	14/11/05	0,456	14/12/05	0,368
15/01/05	0,718	15/02/05	0,737	15/03/05	0,906	15/04/05	0,716	15/05/05	0,655	15/06/05	0,589	15/07/05	0,552	15/08/05	0,514	15/09/05	0,441	15/10/05	0,422	15/11/05	0,453	15/12/05	0,365
16/01/05	0,721	16/02/05	0,740	16/03/05	0,915	16/04/05	0,697	16/05/05	0,656	16/06/05	0,588	16/07/05	0,551	16/08/05	0,513	16/09/05	0,440	16/10/05	0,428	16/11/05	0,451	16/12/05	0,362
17/01/05	0,724	17/02/05	0,742	17/03/05	0,918	17/04/05	0,678	17/05/05	0,656	17/06/05	0,587	17/07/05	0,550	17/08/05	0,511	17/09/05	0,439	17/10/05	0,433	17/11/05	0,448	17/12/05	0,359
18/01/05	0,727	18/02/05	0,745	18/03/05	0,920	18/04/05	0,658	18/05/05	0,656	18/06/05	0,586	18/07/05	0,549	18/08/05	0,510	18/09/05	0,438	18/10/05	0,441	18/11/05	0,445	18/12/05	0,365
19/01/05	0,730	19/02/05	0,743	19/03/05	0,923	19/04/05	0,662	19/05/05	0,656	19/06/05	0,584	19/07/05	0,547	19/08/05	0,509	19/09/05	0,437	19/10/05	0,448	19/11/05	0,442	19/12/05	0,353
20/01/05	0,733	20/02/05	0,741	20/03/05	0,933	20/04/05	0,666	20/05/05	0,656	20/06/05	0,583	20/07/05	0,546	20/08/05	0,508	20/09/05	0,435	20/10/05	0,464	20/11/05	0,439	20/12/05	0,341
21/01/05	0,736	21/02/05	0,739	21/03/05	0,943	21/04/05	0,664	21/05/05	0,656	21/06/05	0,582	21/07/05	0,545	21/08/05	0,506	21/09/05	0,434	21/10/05	0,479	21/11/05	0,436	21/12/05	0,330
22/01/05	0,739	22/02/05	0,737	22/03/05	0,952	22/04/05	0,662	22/05/05	0,657	22/06/05	0,581	22/07/05	0,544	22/08/05	0,505	22/09/05	0,433	22/10/05	0,467	22/11/05	0,433	22/12/05	0,352
23/01/05	0,743	23/02/05	0,737	23/03/05	0,962	23/04/05	0,660	23/05/05	0,657	23/06/05	0,580	23/07/05	0,542	23/08/05	0,504	23/09/05	0,432	23/10/05	0,455	23/11/05	0,430	23/12/05	0,359
24/01/05	0,746	24/02/05	0,737	24/03/05	0,972	24/04/05	0,658	24/05/05	0,657	24/06/05	0,578	24/07/05	0,541	24/08/05	0,503	24/09/05	0,431	24/10/05	0,442	24/11/05	0,427	24/12/05	0,367
25/01/05	0,749	25/02/05	0,745	25/03/05	0,959	25/04/05	0,658	25/05/05	0,648	25/06/05	0,577	25/07/05	0,540	25/08/05	0,501	25/09/05	0,430	25/10/05	0,430	25/11/05	0,424	25/12/05	0,387
26/01/05	0,752	26/02/05	0,753	26/03/05	0,946	26/04/05	0,658	26/05/05	0,638	26/06/05	0,576	26/07/05	0,539	26/08/05	0,500	26/09/05	0,429	26/10/05	0,418	26/11/05	0,421	26/12/05	0,387
27/01/05	0,755	27/02/05	0,761	27/03/05	0,933	27/04/05	0,658	27/05/05	0,629	27/06/05	0,575	27/07/05	0,537	27/08/05	0,499	27/09/05	0,427	27/10/05	0,543	27/11/05	0,418	27/12/05	0,389
28/01/05	0,758	28/02/05	0,769	28/03/05	0,920	28/04/05	0,658	28/05/05	0,620	28/06/05	0,573	28/07/05	0,536	28/08/05	0,498	28/09/05	0,426	28/10/05	0,668	28/11/05	0,415	28/12/05	0,388
29/01/05	0,761	-	-	29/03/05	0,907	29/04/05	0,655	29/05/05	0,610	29/06/05	0,572	29/07/05	0,535	29/08/05	0,497	29/09/05	0,425	29/10/05	0,611	29/11/05	0,412	29/12/05	0,387
30/01/05	0,760	-	-	30/03/05	0,889	30/04/05	0,653	30/05/05	0,609	30/06/05	0,571	30/07/05	0,534	30/08/05	0,495	30/09/05	0,424	30/10/05	0,554	30/11/05	0,409	30/12/05	0,397
31/01/05	0,758	-	-	31/03/05	0,872	-	-	31/05/05	0,608	-	-	31/07/05	0,532	31/08/05	0,490	-	-	31/10/05	0,498	-	-	31/12/05	0,388

Tabela 47: Vazões diárias básicas na seção de controle, calculadas com separação de hidrograma para o ano de 2006

Data	Vazão (m³/s)																						
01/01/06	0,388	01/02/06	0,340	01/03/06	0,678	01/04/06	0,793	01/05/06	0,638	01/06/06	0,552	01/07/06	0,487	01/08/06	0,419	01/09/06	0,359	01/10/06	0,433	01/11/06	0,439	01/12/06	0,419
02/01/06	0,388	02/02/06	0,338	02/03/06	0,668	02/04/06	0,776	02/05/06	0,617	02/06/06	0,549	02/07/06	0,484	02/08/06	0,417	02/09/06	0,362	02/10/06	0,435	02/11/06	0,439	02/12/06	0,419
03/01/06	0,388	03/02/06	0,336	03/03/06	0,658	03/04/06	0,760	03/05/06	0,596	03/06/06	0,547	03/07/06	0,482	03/08/06	0,415	03/09/06	0,364	03/10/06	0,438	03/11/06	0,438	03/12/06	0,419
04/01/06	0,388	04/02/06	0,334	04/03/06	0,681	04/04/06	0,744	04/05/06	0,575	04/06/06	0,545	04/07/06	0,480	04/08/06	0,413	04/09/06	0,367	04/10/06	0,440	04/11/06	0,437	04/12/06	0,419
05/01/06	0,388	05/02/06	0,332	05/03/06	0,693	05/04/06	0,728	05/05/06	0,555	05/06/06	0,543	05/07/06	0,478	05/08/06	0,411	05/09/06	0,369	05/10/06	0,443	05/11/06	0,436	05/12/06	0,419
06/01/06	0,386	06/02/06	0,331	06/03/06	0,705	06/04/06	0,711	06/05/06	0,534	06/06/06	0,541	06/07/06	0,476	06/08/06	0,408	06/09/06	0,371	06/10/06	0,440	06/11/06	0,435	06/12/06	0,419
07/01/06	0,384	07/02/06	0,329	07/03/06	0,716	07/04/06	0,713	07/05/06	0,544	07/06/06	0,539	07/07/06	0,474	07/08/06	0,406	07/09/06	0,374	07/10/06	0,440	07/11/06	0,434	07/12/06	0,419
08/01/06	0,383	08/02/06	0,327	08/03/06	0,728	08/04/06	0,714	08/05/06	0,554	08/06/06	0,536	08/07/06	0,471	08/08/06	0,404	08/09/06	0,376	08/10/06	0,440	08/11/06	0,433	08/12/06	0,419
09/01/06	0,381	09/02/06	0,325	09/03/06	0,740	09/04/06	0,715	09/05/06	0,564	09/06/06	0,534	09/07/06	0,469	09/08/06	0,402	09/09/06	0,379	09/10/06	0,440	09/11/06	0,432	09/12/06	0,419
10/01/06	0,379	10/02/06	0,323	10/03/06	0,752	10/04/06	0,716	10/05/06	0,574	10/06/06	0,532	10/07/06	0,467	10/08/06	0,400	10/09/06	0,381	10/10/06	0,440	10/11/06	0,431	10/12/06	0,415
11/01/06	0,377	11/02/06	0,322	11/03/06	0,763	11/04/06	0,718	11/05/06	0,583	11/06/06	0,530	11/07/06	0,465	11/08/06	0,398	11/09/06	0,384	11/10/06	0,440	11/11/06	0,430	11/12/06	0,411
12/01/06	0,375	12/02/06	0,320	12/03/06	0,775	12/04/06	0,719	12/05/06	0,593	12/06/06	0,528	12/07/06	0,463	12/08/06	0,395	12/09/06	0,386	12/10/06	0,443	12/11/06	0,430	12/12/06	0,407
13/01/06	0,374	13/02/06	0,350	13/03/06	0,787	13/04/06	0,701	13/05/06	0,603	13/06/06	0,526	13/07/06	0,461	13/08/06	0,393	13/09/06	0,389	13/10/06	0,446	13/11/06	0,429	13/12/06	0,407
14/01/06	0,372	14/02/06	0,380	14/03/06	0,798	14/04/06	0,683	14/05/06	0,613	14/06/06	0,523	14/07/06	0,458	14/08/06	0,391	14/09/06	0,391	14/10/06	0,449	14/11/06	0,428	14/12/06	0,439
15/01/06	0,370	15/02/06	0,375	15/03/06	0,810	15/04/06	0,665	15/05/06	0,623	15/06/06	0,521	15/07/06	0,456	15/08/06	0,389	15/09/06	0,394	15/10/06	0,452	15/11/06	0,427	15/12/06	0,471
16/01/06	0,368	16/02/06	0,369	16/03/06	0,822	16/04/06	0,647	16/05/06	0,633	16/06/06	0,519	16/07/06	0,454	16/08/06	0,387	16/09/06	0,396	16/10/06	0,457	16/11/06	0,426	16/12/06	0,503
17/01/06	0,366	17/02/06	0,363	17/03/06	0,833	17/04/06	0,629	17/05/06	0,630	17/06/06	0,517	17/07/06	0,452	17/08/06	0,385	17/09/06	0,398	17/10/06	0,462	17/11/06	0,425	17/12/06	0,534
18/01/06	0,365	18/02/06	0,358	18/03/06	0,845	18/04/06	0,611	18/05/06	0,627	18/06/06	0,515	18/07/06	0,450	18/08/06	0,382	18/09/06	0,401	18/10/06	0,467	18/11/06	0,424	18/12/06	0,503
19/01/06	0,363	19/02/06	0,346	19/03/06	0,857	19/04/06	0,614	19/05/06	0,624	19/06/06	0,513	19/07/06	0,448	19/08/06	0,380	19/09/06	0,403	19/10/06	0,471	19/11/06	0,423	19/12/06	0,634
20/01/06	0,361	20/02/06	0,335	20/03/06	0,866	20/04/06	0,618	20/05/06	0,621	20/06/06	0,510	20/07/06	0,445	20/08/06	0,378	20/09/06	0,406	20/10/06	0,476	20/11/06	0,422	20/12/06	0,766
21/01/06	0,359	21/02/06	0,373	21/03/06	0,875	21/04/06	0,616	21/05/06	0,618	21/06/06	0,508	21/07/06	0,443	21/08/06	0,376	21/09/06	0,408	21/10/06	0,460	21/11/06	0,421	21/12/06	0,953
22/01/06	0,358	22/02/06	0,411	22/03/06	0,884	22/04/06	0,614	22/05/06	0,615	22/06/06	0,506	22/07/06	0,441	22/08/06	0,374	22/09/06	0,411	22/10/06	0,444	22/11/06	0,421	22/12/06	1,141
23/01/06	0,356	23/02/06	0,448	23/03/06	0,893	23/04/06	0,613	23/05/06	0,612	23/06/06	0,504	23/07/06	0,439	23/08/06	0,372	23/09/06	0,413	23/10/06	0,428	23/11/06	0,420	23/12/06	1,328
24/01/06	0,354	24/02/06	0,486	24/03/06	0,902	24/04/06	0,611	24/05/06	0,610	24/06/06	0,502	24/07/06	0,437	24/08/06	0,369	24/09/06	0,416	24/10/06	0,428	24/11/06	0,419	24/12/06	1,211
25/01/06	0,352	25/02/06	0,438	25/03/06	0,890	25/04/06	0,611	25/05/06	0,601	25/06/06	0,500	25/07/06	0,434	25/08/06	0,367	25/09/06	0,418	25/10/06	0,428	25/11/06	0,419	25/12/06	1,095
26/01/06	0,350	26/02/06	0,390	26/03/06	0,878	26/04/06	0,611	26/05/06	0,592	26/06/06	0,497	26/07/06	0,432	26/08/06	0,365	26/09/06	0,421	26/10/06	0,446	26/11/06	0,419	26/12/06	0,978
27/01/06	0,349	27/02/06	0,343	27/03/06	0,866	27/04/06	0,611	27/05/06	0,584	27/06/06	0,495	27/07/06	0,430	27/08/06	0,363	27/09/06	0,423	27/10/06	0,464	27/11/06	0,419	27/12/06	0,861
28/01/06	0,347	28/02/06	0,333	28/03/06	0,853	28/04/06	0,611	28/05/06	0,575	28/06/06	0,493	28/07/06	0,428	28/08/06	0,361	28/09/06	0,426	28/10/06	0,458	28/11/06	0,419	28/12/06	0,786
29/01/06	0,345	-	-	29/03/06	0,841	29/04/06	0,608	29/05/06	0,566	29/06/06	0,491	29/07/06	0,426	29/08/06	0,359	29/09/06	0,428	29/10/06	0,452	29/11/06	0,419	29/12/06	0,710
30/01/06	0,343	-	-	30/03/06	0,841	30/04/06	0,606	30/05/06	0,558	30/06/06	0,489	30/07/06	0,424	30/08/06	0,356	30/09/06	0,430	30/10/06	0,446	30/11/06	0,419	30/12/06	0,634
31/01/06	0,341	-	-	31/03/06	0,809	-	-	31/05/06	0,554	-	-	31/07/06	0,421	31/08/06	0,357	-	-	31/10/06	0,440	-	-	31/12/06	0,690

Tabela 48: Vazões diárias básicas na seção de controle, calculadas com separação de hidrograma para o ano de 2007

Data	Vazão (m³/s)										
01/01/07	0,848	01/02/07	1,096	01/03/07	0,936	01/04/07	0,839	01/05/07	0,774	01/06/07	0,774
02/01/07	0,856	02/02/07	1,099	02/03/07	0,923	02/04/07	0,839	02/05/07	0,774	02/06/07	0,774
03/01/07	0,865	03/02/07	1,091	03/03/07	0,911	03/04/07	0,839	03/05/07	0,774	03/06/07	0,774
04/01/07	0,873	04/02/07	1,083	04/03/07	0,898	04/04/07	0,839	04/05/07	0,774	04/06/07	0,774
05/01/07	0,882	05/02/07	1,075	05/03/07	0,885	05/04/07	0,839	05/05/07	0,774	05/06/07	0,774
06/01/07	0,890	06/02/07	1,115	06/03/07	0,885	06/04/07	0,839	06/05/07	0,774	06/06/07	0,774
07/01/07	0,899	07/02/07	1,155	07/03/07	0,882	07/04/07	0,839	07/05/07	0,774	07/06/07	0,762
08/01/07	0,908	08/02/07	1,195	08/03/07	0,879	08/04/07	0,837	08/05/07	0,774	08/06/07	0,762
09/01/07	0,916	09/02/07	1,178	09/03/07	0,876	09/04/07	0,835	09/05/07	0,774	09/06/07	0,762
10/01/07	0,925	10/02/07	1,161	10/03/07	0,873	10/04/07	0,833	10/05/07	0,774	10/06/07	0,762
11/01/07	0,933	11/02/07	1,143	11/03/07	0,870	11/04/07	0,831	11/05/07	0,774	11/06/07	0,762
12/01/07	0,942	12/02/07	1,126	12/03/07	0,867	12/04/07	0,829	12/05/07	0,774	12/06/07	0,762
13/01/07	0,950	13/02/07	1,109	13/03/07	0,864	13/04/07	0,827	13/05/07	0,774	13/06/07	0,762
14/01/07	0,959	14/02/07	1,092	14/03/07	0,861	14/04/07	0,827	14/05/07	0,774	14/06/07	0,762
15/01/07	0,968	15/02/07	1,075	15/03/07	0,857	15/04/07	0,827	15/05/07	0,774	15/06/07	0,762
16/01/07	0,976	16/02/07	1,094	16/03/07	0,854	16/04/07	0,847	16/05/07	0,774	16/06/07	0,762
17/01/07	0,985	17/02/07	1,113	17/03/07	0,851	17/04/07	0,867	17/05/07	0,774	17/06/07	0,762
18/01/07	0,993	18/02/07	1,132	18/03/07	0,848	18/04/07	0,887	18/05/07	0,774	18/06/07	0,762
19/01/07	1,002	19/02/07	1,150	19/03/07	0,845	19/04/07	0,881	19/05/07	0,774	-	-
20/01/07	1,010	20/02/07	1,169	20/03/07	0,842	20/04/07	0,875	20/05/07	0,774	-	-
21/01/07	1,019	21/02/07	1,188	21/03/07	0,839	21/04/07	0,875	21/05/07	0,774	-	-
22/01/07	1,028	22/02/07	1,207	22/03/07	0,839	22/04/07	0,865	22/05/07	0,774	-	-
23/01/07	1,036	23/02/07	1,163	23/03/07	0,839	23/04/07	0,855	23/05/07	0,774	-	-
24/01/07	1,045	24/02/07	1,119	24/03/07	0,839	24/04/07	0,846	24/05/07	0,774	-	-
25/01/07	1,053	25/02/07	1,075	25/03/07	0,839	25/04/07	0,836	25/05/07	0,774	-	-
26/01/07	1,062	26/02/07	1,075	26/03/07	0,839	26/04/07	0,827	26/05/07	0,774	-	-
27/01/07	1,070	27/02/07	1,075	27/03/07	0,839	27/04/07	0,833	27/05/07	0,774	-	-
28/01/07	1,079	28/02/07	1,075	28/03/07	0,839	28/04/07	0,839	28/05/07	0,774	-	-
29/01/07	1,088	-	-	29/03/07	0,839	29/04/07	0,845	29/05/07	0,774	-	-
30/01/07	1,090	-	-	30/03/07	0,839	30/04/07	0,851	30/05/07	0,774	-	-
31/01/07	1,093	-	-	31/03/07	0,839	-	-	31/05/07	0,774	-	-

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)