

TEMÁRIO:

1. Bacias Hidrográficas Compartilhadas

- Gestão de recursos transfronteiriços

2. Gestão de Recursos Hídricos

- Aspectos sociais e gestão participativa
- Aspectos econômico-financeiros da gestão
- Aspectos legais e institucionais da gestão
- Comitês, agências e consórcios de bacias
- Outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos
- Planos diretores de recursos hídricos
- Gestão da oferta e demanda dos recursos hídricos
- Enquadramento dos cursos de água

3. Sistemas de Informações em Recursos Hídricos

- Sistemas de aquisição, armazenamento e processamento de informações
- Redes de monitoramento de qualidade e análise de dados
- Regionalização de dados
- Sistemas de informação geográfica (SIGs)
- Sensoriamento remoto
- Novas tecnologias LIDAR (laser)

4. Sistemas de Recursos Hídricos

- Modelos hidrológicos
- Modelos de qualidade de água
- Sistemas de auxílio à decisão
- Sistemas de planejamento e operação de reservatórios
- Técnicas de otimização e simulação
- Hidrologia estocástica

5. Hidrometeorologia

- Previsões hidrometeorológicas
- Modelos climáticos
- Mudanças climáticas globais

6. Desenvolvimento Sustentável

- Sistemas de gestão ambiental
- Aspectos ambientais da gestão de recursos hídricos
- Impactos da urbanização sobre os recursos hídricos
- Mitigação e avaliação de impactos ambientais
- Conflitos de usos múltiplos
- Desenvolvimento rural, agricultura e irrigação
- Energias alternativas

7. Drenagem

- Modelos de simulação
- Macro e micro-drenagem
- Controle de cheias

8. Hidráulica Aplicada

- Análise e risco de segurança de obras hidráulicas
- Morfologia fluvial
- Produção e transporte de sedimentos
- Operação e manutenção de obras hidráulicas
- Mecânica dos fluidos ambiental
- Modelos computacionais

9. Gestão de Áreas Costeiras

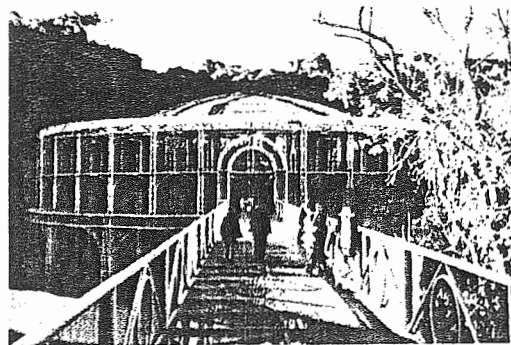
- Processos litorâneos
- Obras marítimas e fluviais
- Hidráulica marítima

10. Águas Subterrâneas

- Vulnerabilidade e proteção de aquíferos
- Escoamentos subterrâneos
- Hidrogeoquímica
- Gestão dos aquíferos



DESAFIOS À GESTÃO DA ÁGUA NO LIMAR DO SÉCULO XXI



ABRH
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

EMPREGO DE INFILTRÔMETROS NA CARACTERIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE RIO E AQÜÍFERO.

Eudes José Arantes¹ & Fazal Hussain Chaudhry²

Resumo – O presente trabalho visa quantificação do escoamento de água na interação entre rio e aquífero subterrâneo em uma bacia, através da utilização de infiltrômetros e de poços de observação de lençol freático na proximidade do rio. Ribeirão da Onça, um afluente do rio Jacaré-Guaçu localizado no município de Brotas no estado de São Paulo, foi escolhido para a realização deste estudo sendo a sua bacia hidrográfica pertencente a importante área de recarga do aquífero Guarani. O estudo da interação rio aquífero foi realizado através de infiltrômetros colocado em três seções deste rio. Analisando-se o comportamento da interação ao longo de um período de 7 meses, verificou a taxa média de surgimento foi de 300 mm/dia na área de afloramento do lençol freático. Ainda, observou-se a influência da chuva e da pressão atmosférica nos valores do surgimento sendo a ultima de forma inversa. Tendo em vista os resultados satisfatórios dos experimentos, a utilização de infiltrômetros para determinação da taxa de troca entre rio e aquífero representa um procedimento simples e adequado, mas requer cuidados contínuos para obterem-se resultados consistentes.

Abstract – It is the purpose of this paper to quantify the river-aquifer interaction in a river basin through the use of infiltrometers and observation wells located on the banks. Onça Creek, a tributary of the Jacaré-Guaçu River in the State of São Paulo, was chosen for this study being located in the recharge area of the regional Guarani Aquifer. Infiltrometers were placed in three sections at the bed of Onça Creek. Analyzing the behavior of the river-aquifer interaction during 7 months, it is found that the average exfiltration rate is of the order of 300mm/day in the seepage area. Further, the seepage rate is influenced by rainfall events, atmospheric pressure and rate of rise or fall of river stage. In view of the satisfactory experimental results obtained in this study, the use of infiltrometers for the determination of the river-aquifer interaction represents a simple and sound procedure if due care is taken in its installation in the river bed.

¹ Mestrando em Hidráulica e Saneamento – SHS/EESC/USP - São Carlos - SP CEP: 13.560-250, Fone: 0xx16-3376-6837, E-mail: arantes@sc.usp.br

² Professor Titular - SHS/EESC/USP - São Carlos - SP CEP: 13.560-250, Fone: 0xx16-2739548, E-mail: fazal@sc.usp.br

Palavras-chave - interação rio-aquífero, infiltrômetro, aquífero Guarani, escoamento básico, águas subterrânea.

INTRODUÇÃO

A interação entre rio e aquífero é um elo do ciclo hidrológico que é importante para o estudo, tanto de recargas em aquíferos, como na regularização de vazões do escoamento superficial. O entendimento da interação da água subterrânea e superficial é essencial ao estudo em recursos hídricos. O planejamento de uma componente do sistema hidrológico, como um rio ou um aquífero, normalmente, é só em parte efetiva, porque cada componente hidrológica está em contínua interação com outras componentes.

A quantificação da interação entre o rio e o aquífero pode ser realizada através de diversas maneiras, tais como, infiltrômetros, míni-piezômetros, traçadores, lisímetros de fundo de rio, diferença entre vazões um trecho do rio e também através do balanço hídrico.

O objetivo deste trabalho é a quantificação do escoamento de água na interação entre o rio e o aquífero subterrâneo em uma bacia, através da utilização de infiltrômetros e de poços de observação do lençol freático na proximidade do rio. Assim, ensaios em diversas seções do rio foram propostos, de modo a verificar o comportamento do escoamento em seu fundo e caracterizar a existência de infiltração ou surgimento e a taxa de troca.

A bacia do Ribeirão da Onça foi escolhida para a realização desse estudo. Esse pequeno rio é um afluente do rio Jacaré-Guaçu localizado no município de Brotas no estado de São Paulo e pertencente à importante área de recarga do aquífero Guarani.

REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA.

As medidas da infiltração são realizadas desde meados de 1940 e foram desenvolvidas devido à necessidade de calcular a quantidade de perdas de canais pela infiltração (ISRAELSON e REEVE, 1944; apud KALERIS, 1998). Essas medidas são usadas hoje no estudo da troca de água superficial e subterrânea (CEY et al., 1998, WROBLICKY et al., 1998; apud KALERIS, 1998). Um estudo extenso de referências relacionada à medida da infiltração foi apresentado por CARR e WINTER (1980).

O infiltrômetro desenvolvido por LEE (1977) teve grande utilização. Um outro dispositivo apropriado para pequenos rios foi apresentado por TRAUB (1982) e KALERIS (1986) (SAEP-infiltrômetro). CHEKAUER e MCBRIDE (1988) apresentaram um infiltrômetro para corpos de água com grandes superfícies.

A taxa de troca varia no espaço e no tempo. Variações temporais não são apenas devido a flutuações do nível de água no rio e no aquífero, mas também, devido às variações temporais da resistência hidráulica da camada semipermeável (GELDNER, 1980, KALERIS, 1986; apud KALERIS, 1998). Discute-se muito, a respeito da variação da taxa de troca no espaço, a qual varia tanto com a profundidade da água no rio ou do nível freático em sua proximidade, como, devido à variação da resistência hidráulica da camada semipermeável expressa pela condutividade hidráulica do aquífero, ambos no espaço no qual o rio é inserido.

KALERIS (1998) realizou ensaio com um Infiltrômetro produzido pelo SAEP (Agência Estatal de Proteção Ambiental de Baden – Württemberg na Alemanha) e comparou com ensaios com lisímetros no fundo do rio também desenvolvido pelo SAEP. Além disso, ele determinou a taxa de infiltração do rio através da diferença da vazão no início e no fim de um trecho do rio em que não haja outras contribuições externas. Concluiu que as medidas da taxa de troca obtidas por infiltrômetro e através da diferença de vazão em um trecho, quando se verifica a não contribuição externa, comparam favoravelmente. Entretanto, tal comparação é válida em condições especiais do trecho do rio.

Com relação à comparação entre o lisímetro e o infiltrômetro, a média da infiltração nos dois métodos foram similares, mas o infiltrômetro pode conter erros quando não se garante que, no fundo do equipamento, não haja entrada de água que não seja subterrânea.

KALERIS (1998), ainda, comenta sobre a utilização de traçadores para determinação da taxa de troca, que segundo CASTRO e HORNBERGER (1991) e HARVEY et al. (1996), tem uma eficácia boa dependendo da aplicação do método que requer investimentos elevados.

MATERIAIS E MÉTODOS.

O estudo da taxa de troca entre o aquífero e o rio foi realizado no Ribeirão da Onça, localizado no município de Brotas nas proximidades do CRHEA – USP (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) da Universidade de São Paulo. Este Centro possui profissionais experientes em trabalhos hidrológicos, além, de toda infra-estrutura necessária para pesquisas na área de Recursos Hídricos.

A Bacia do Ribeirão da Onça.

A bacia do Ribeirão da Onça localiza-se na região do Município de Brotas, ao centro-norte do Estado de São Paulo entre os paralelos 22°10' e 22°15' de latitude sul e entre os meridianos 47°55' e 48°00' de longitude oeste. O Ribeirão da Onça é um dos formadores do Rio Jacaré-Guaçu, afluente do Rio Tietê pela margem direita.

A Bacia do Ribeirão da Onça faz parte da região de afloramento do aquífero Guarani e situa-se próxima a uma área de Proteção Ambiental (APA) bem mais ampla que engloba o Ribeirão do Lobo, Represa do Broa e o Córrego do Feijão, este responsável por parte do abastecimento urbano da cidade de São Carlos.

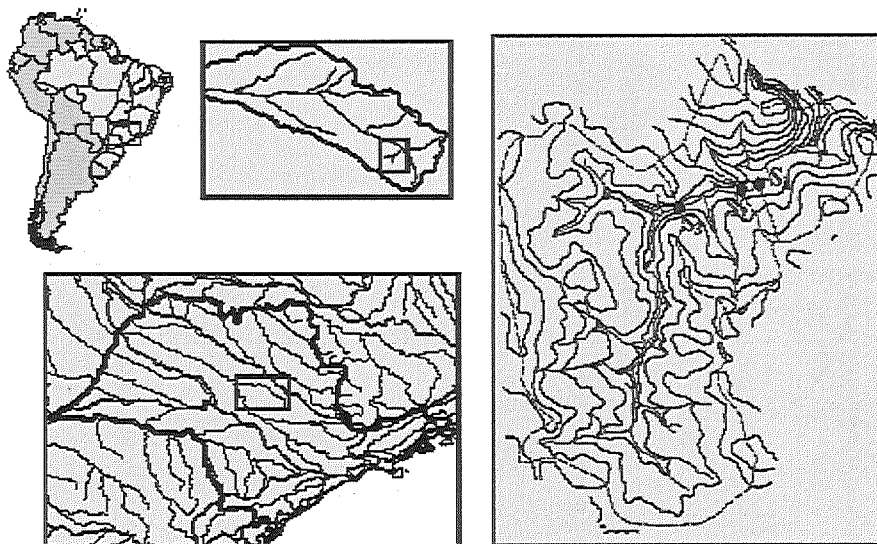


Figura 01: Localização da Bacia do Ribeirão da Onça e as Seções de Estudo.

CONTIN (1987) realizou trabalhos experimentais para determinação da recarga nesta área de afloramento. Para determinação da recarga, foi realizado o balanço hídrico na superfície da bacia, região não saturada e na parte saturada do aquífero freático. POMPEO (1990) também desenvolveu um trabalho para o estudo hidrológico do balanço hídrico da zona não saturada na Bacia do Ribeirão da Onça.

Dados Hidrometeorológicos.

As quantificações da taxa de troca entre o rio e o aquífero foram realizadas em três seções do Ribeirão da Onça. A localização destas seções é apresentada na FIGURA 01. A variação da vazão na seção 2 para o período de estudo também foi determinada com base na construção de uma curva-chave. Nas seções de estudo 1 e 2 determinaram-se os níveis freáticos próximo às margens do rio.

Os dados de pressão atmosférica e precipitação foram obtidos da Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da USP, que se localiza próxima à bacia em estudo.

Descrição dos Infiltrômetros.

Com base no estudo de alternativas para a quantificação de trocas no fundo do Ribeirão da Onça, decidiu-se construir um equipamento simples semelhante ao apresentado por LEE (1977). A

instalação deste infiltrômetro requer cuidados especiais para evitar perturbação excessiva do material de fundo do rio e, ainda, assegurar um contato perfeito entre o cilindro inferior e o fundo.

O tipo de interação (infiltração ou surgimento) entre o lençol freático e o Ribeirão da Onça foi caracterizado realizando-se medidas da interação ao longo do canal principal, para as quais, três locais foram escolhidos. Foram confeccionados e empregados três infiltrômetros para assegurar medidas simultâneas nas três seções escolhidas. Para melhor caracterizar o tipo de interação, medidas adicionais da superfície freática foram feitas com auxílio de poços de observação.

Os experimentos pilotos indicaram que a interação rio-aquífero sempre se deu na forma de surgimento. Os infiltrômetros utilizaram tambores comerciais com o volume de 200 litros recortados à altura desejada (FIGURA 02). Foi soldado um espigão de $\frac{3}{4}$ " com saída para mangueira $\frac{3}{4}$ " na lateral do tambor para coleta de água durante a interação entre o rio e o aquífero. Um outro espigão de $\frac{1}{2}$ " com saída $\frac{3}{8}$ " para mangueira foi soldado no centro superior do tambor com a função da retirada de gás de origem orgânica que, por ventura, se liberar das águas surgentes.

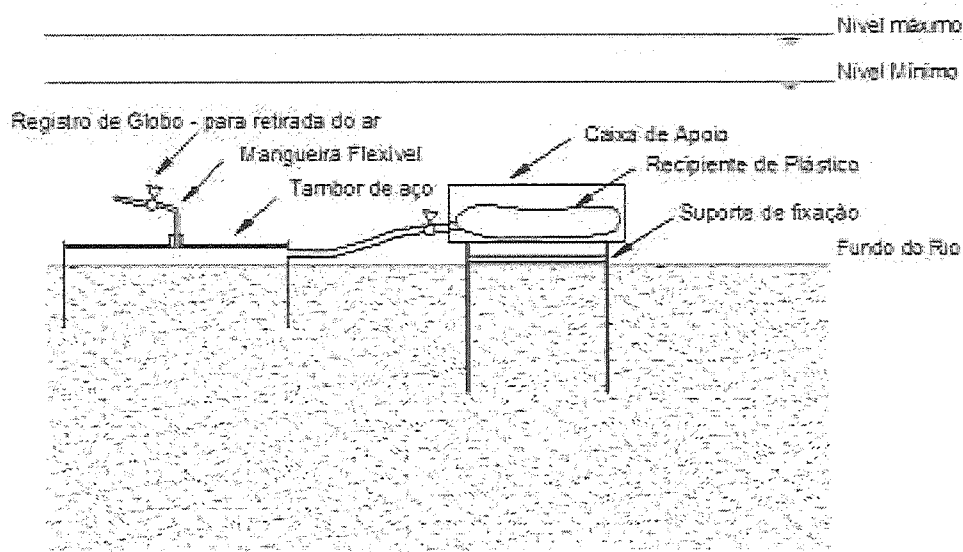


Figura 02: Representação dos Infiltrômetros Construídos.

Para a coleta do surgimento empregaram-se recipientes plásticos na forma de travessieiros de água quente em PVC de dimensões 60 x 40 cm adquiridos de estabelecimentos de materiais cirúrgicos. No bocal de enchimento desse recipiente plástico, acoplou-se uma mangueira de $\frac{1}{2}$ ", vedando-se com cola. Para uma melhor proteção do recipiente plástico, utilizou-se uma caixa de apoio tipo "engradado" tampado a qual foi fincada no fundo do rio conforme ilustrado na FIGURA 02.

O tambor do infiltrômetro era fincado no fundo do rio e permitido a permanecer ali a menos que surjam ocasiões para a sua refixação, após cheias extremas, quando o tambor era submetido a depósitos de sedimentos ou era deslocado devido à erosão. Inicialmente, o recipiente plástico era

conectado ao espigão lateral do tambor e deixado no local por 24 horas. Tal procedimento produziu dados incoerentes sobre a taxa de surgimento tendo em vista altos valores desta taxa para coleta no recipiente de volume limitado. Após algumas tentativas, verificou-se que a permanência dos recipientes ligados ao tambor durante 1 hora era suficiente para quantificação da taxa de surgimento nos dias de ensaio.

Em geral, realizaram-se entre 3 e 4 medidas por semana no período compreendido entre 16 julho de 2002 e 14 de fevereiro de 2003 que cobriu épocas secas e de cheias no Ribeirão da Onça. Em algumas seções, ficou muito difícil realizar as medidas devido à impossibilidade de fixação adequada do tambor e do recipiente plástica de coleta de águas de surgimento.

Poços de Observação.

Procurou-se caracterizar o padrão transversal da variação do lençol freático nos dias de ensaios taxa de surgimento através da observação dos níveis de água nos poços de observação colocados nas seções 1 e 2. O espaçamento destes poços nas margens dependeu do relevo existente para caracterizar o perfil do lençol freático. Os poços eram construídos de tubos de PVC em barras de 2 metros e 50 mm de diâmetro. O comprimento inferior de 1,5 metros do tubo foi perfurado em sua circunferência com furos de 5 mm e enrolado por uma manta de geotêxtil para impedir a entrada de solo no tubo.

Os poços foram colocados no solo perfurado com auxílio de um trado de 3" de diâmetro onde colocava-se um tubo de 75 mm. O tubo do poço já preparado com geotêxtil era colocado no tubo maior e o tubo maior retirado. O espaço ao redor do poço era preenchido com parte do solo resultante da perfuração inicial.

No total foram construídos seis poços de observação do nível freático, sendo dois na seção 1 mais a jusante e quatro na seção 2. Foi providenciada a topografia para localização dos poços e determinação de suas cotas em relação ao rio.

Mini Piezômetros.

A quantificação da taxa de surgimento no fundo do rio permite caracterização da propriedade hidrogeológica dos estratos que compõe o fundo do rio pela aplicação da Lei de Darcy nos moldes do trabalho de LEE e CHERRY (1978). Estes autores apresentaram um mini-piezômetro colocado no leito do rio para medida da carga hidráulica responsável pelo escoamento de água no fundo na parte do aquífero logo abaixo do leito do rio. As diversas etapas para instalação de mini-piezômetros estão ilustradas na FIGURA 03.

O mini-piezômetro é construído introduzindo-se um tubo de ferro com a extremidade inferior tampada inserido no fundo do rio. O tubo foi cravado a uma profundidade de aproximadamente de 1

metro do fundo. O tubo possuía furos laterais próximos de sua extremidade para a medida de diferencial de carga hidráulica. Um pedaço de manta geotêxtil foi colocada na altura dos furos, internamente ao tubo, para impedir a entrada de material granular. A espessura do meio poroso utilizada para o cálculo da condutividade hidráulica é a distância entre a linha dos furos e o fundo do rio. Uma mangueira acoplada ao tubo através de um espigão permitia observação do nível de água no mini-piezômetro. Utilizou-se uma régua para observar a carga hidráulica como a diferença entre o nível de água no mini-piezômetro e no rio.

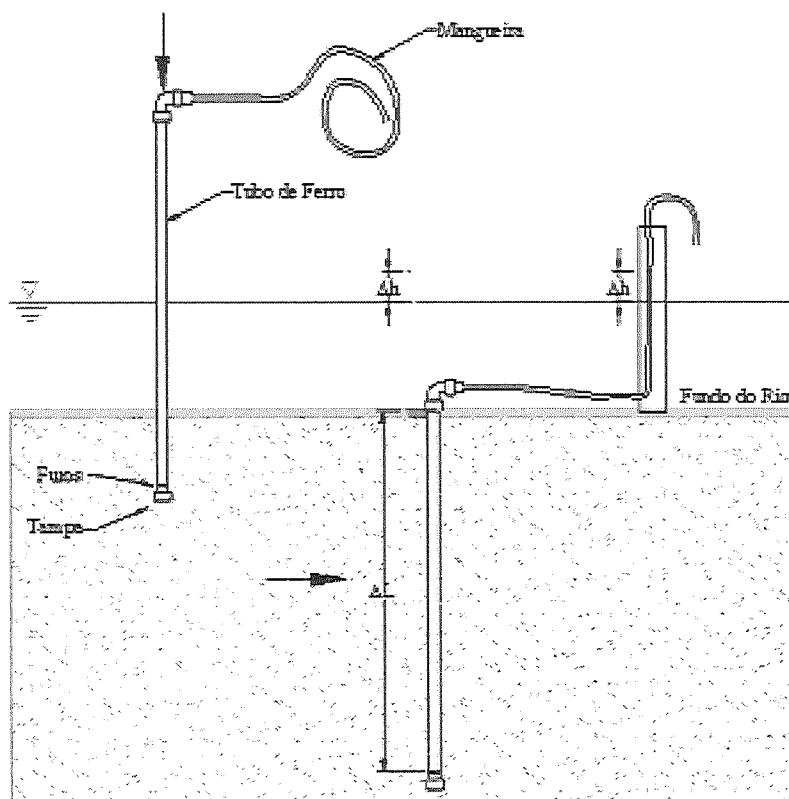


Figura 03: Mini-piezômetro.

ANÁLISE DOS RESULTADOS.

Medidas da Interação Rio – Aquífero.

Após construção e testes dos infiltrômetros, obtiveram-se dados a partir de ensaios de campo nas seções de estudo da bacia. Os valores observados das características da interação rio-aquífero, em termos da taxa de troca, são representados graficamente para o período em estudo (FIGURA 04). As lacunas de observação nas seções 1 e 3 devem-se às dificuldades da permanência adequada do tambor no fundo do rio. Nas três seções de estudo, verificou-se que o fluxo ocorre do aquífero para o rio, o que caracteriza o Ribeirão da Onça como um rio surgente e no trecho estudado. Dada a

topografia acidentada da bacia hidrográfica e o fato de que o rio se localiza sempre abaixo de sua superfície, acredita-se que o lençol freático aflora em toda a extensão do rio.

Verifica-se que existe uma oscilação nos valores da vazão de surgimento nos dias consecutivos mesmo no período seco. Buscou-se, então, uma justificativa para essa variação. Com base na bibliografia sobre as características das superfícies piezométricas dos aquíferos (JACOB, 1940; PECK, 1960; TURK, 1975; FREEZE e CHERRY, 1979 e HARE e MORSE, 1997). Tal bibliografia indicou que a variação da pressão atmosférica poderia influenciar na quantificação da interação. Procedeu-se à comparação dos valores encontrados de taxa de surgimento (mm/dia) com a pressão atmosférica nos horários dos ensaios. Observa-se uma relação inversa entre a pressão e vazão de surgimento da comparação da variação da pressão na FIGURA 05 com aquela da taxa de surgimento na FIGURA 04. Esta relação é mais nítida nos períodos de 15 de julho a 15 de agosto e 23 de agosto a 13 de setembro, nos quais não houve precipitação. O restante do período de observação é marcado por chuvas ocasionais, fato este que dificulta estudos da variabilidade da taxa de surgimento apenas em termos de variação de pressão.

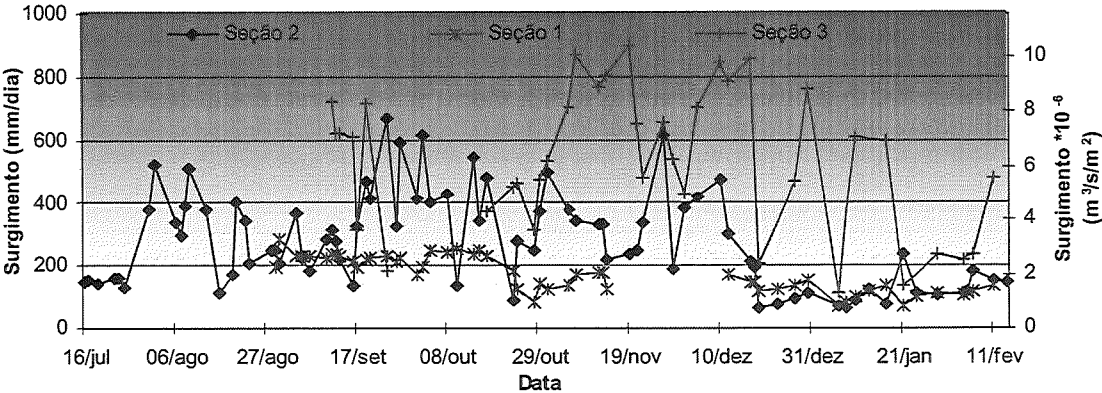


Figura 04: Interação rio-aquífero nas seções 1, 2 e 3.

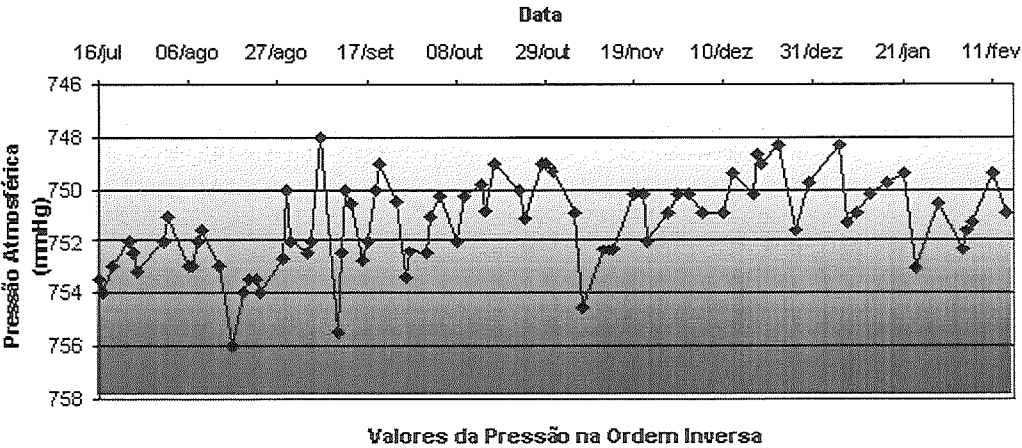


FIGURA 05: Variação da pressão atmosférica no horário da visita ao campo.

A influência de variação da pressão atmosférica na taxa de surgimento é analisada nos períodos de estiagem na seção 2 deste estudo na FIGURA 06, identificando os períodos secos como os sem chuva ou com precipitações diárias inferior a 5 mm. Apesar da dispersão excessiva nos dados observados em diversas épocas, depreende-se um decréscimo na taxa de surgimento com um aumento na pressão atmosférica estudo 2, durante a época de pouca chuva.

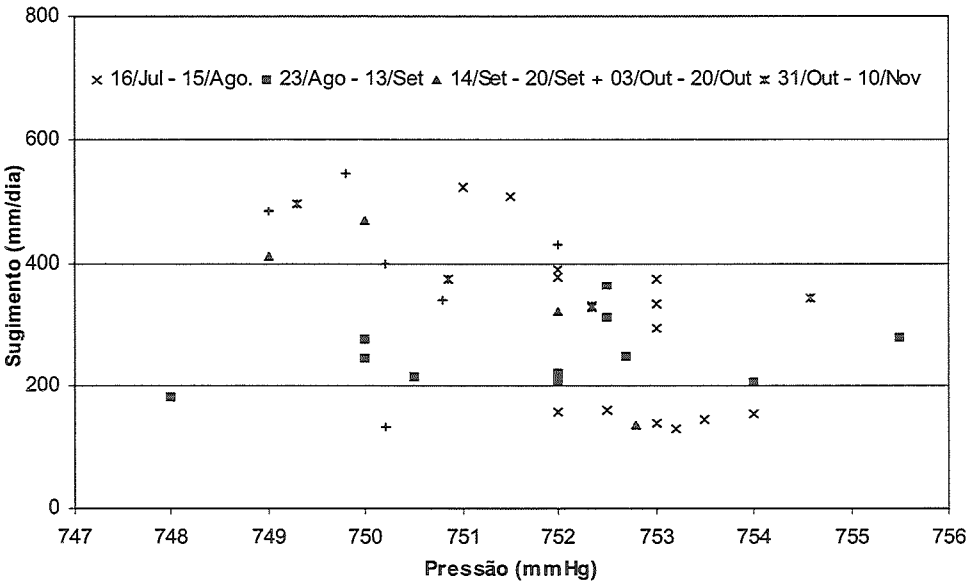


Figura 06: Comparação entre os valores do surgimento e a pressão atmosférica na hora do ensaio, em épocas de estiagem (seção 2).

FIGURA 07 mostra a taxa de surgimento em função do nível do rio onde se verifica que o aumento no nível na época chuvosa causou uma diminuição na taxa de surgimento. Esse fenômeno se deve às diferentes taxas de aumento nos níveis do rio e do aquífero. O aumento mais rápido do nível do rio provoca uma diminuição do diferencial de carga hidráulica entre o aquífero e o rio.

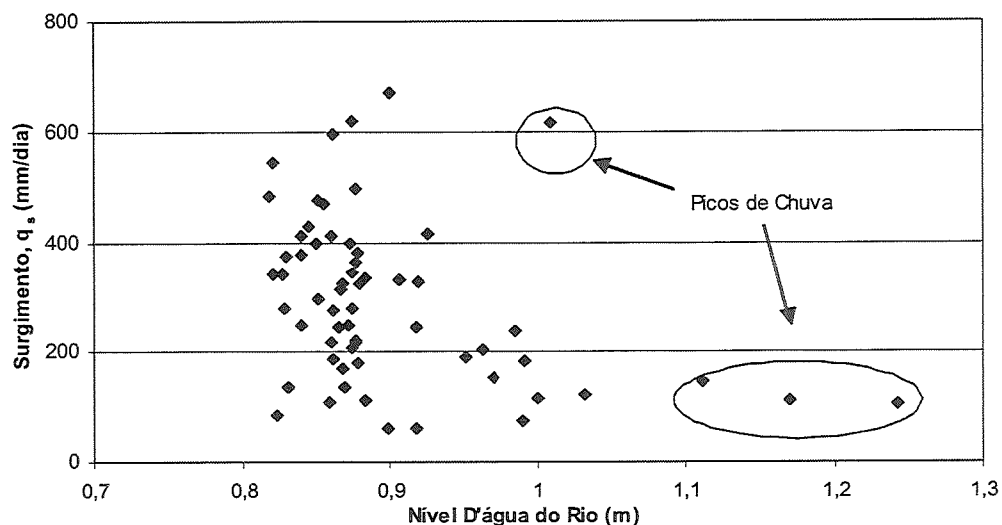


Figura 07: Variação do Surgimento com o Nível d'água no Ponto 2.

Para visualização da influência da precipitação na taxa de surgimento, apresentam-se na FIGURA 08 os valores de precipitação diária no período de estudo. A variação sazonal da interação é mostrada na FIGURA 09 onde os valores médios mensais do surgimento nas três seções de estudo são apresentados juntamente com as precipitações durante esses meses.

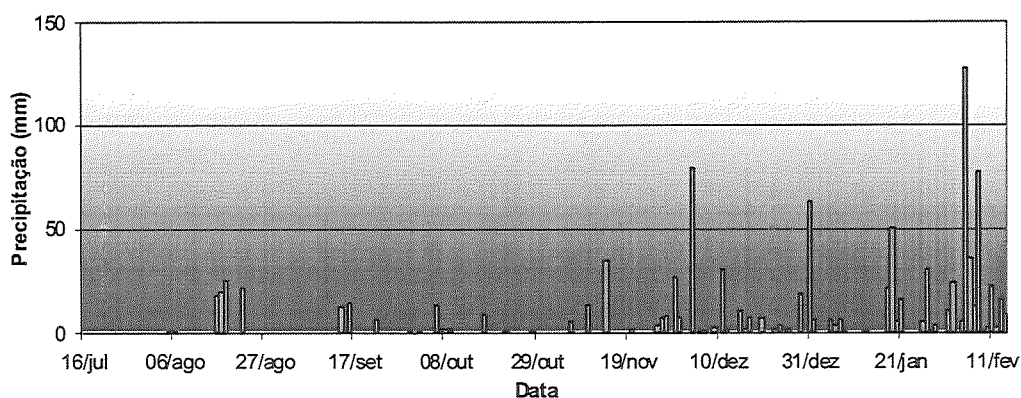


Figura 08: Precipitação diária durante o período dos ensaios.

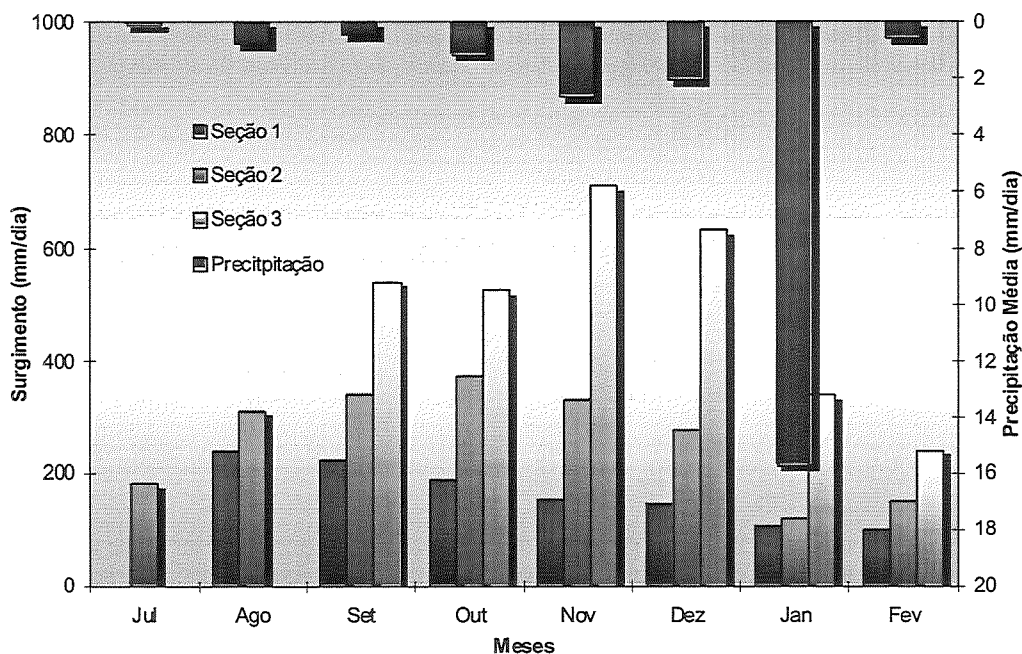


Figura 09: Comparação das médias mensais do surgimento nas seções 1, 2 e 3.

Os valores da taxa de surgimento no período estudado variaram de 62,0 a 901,0 mm/dia nas três seções. Na TABELA 01, apresentam-se os valores máximo, mínimo e médio para as três seções de estudo.

Tabela 01: Valores da taxa de surgimento (mm/dia) para as três Seções de Estudo.

	Seção 1	Seção 2	Seção 3
Máximo	285,21	670,60	901,03
Médio	175,01	290,15	556,45
Mínimo	67,91	62,07	112,86

Com relação à variabilidade temporal da taxa de surgimento, pode-se dividir o período de estudo em duas parte, sendo a parte inicial com pouca chuva, até aproximadamente o final de novembro e a parte final com maior intensidade de chuva, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro. Comparando-se a taxa de surgimento do período menos chuvoso com o chuvoso (FIGURAS 04, 08 e 09), verifica-se que houve uma diminuição do surgimento com a chuva. O aumento do nível d'água no rio mais rápido em relação ao aumento do nível do lençol freático com as chuvas, pode ser causa dessa diminuição da taxa.

Variação Temporal da Vazão do Ribeirão da Onça.

A vazão na Seção de estudo 2 foi estimada através dos níveis d'água do rio medidos nos dias de visita ao campo aplicando-se a curva-chave. O conhecimento do hidrograma do escoamento

superficial, bem como, a estimativa do escoamento básico, são importantes na análise comparativa entre o surgimento medido pontualmente e o escoamento básico que de fato ocorre nessa seção de estudo. Na FIGURA 10 apresenta-se o hidrograma para a seção 2.

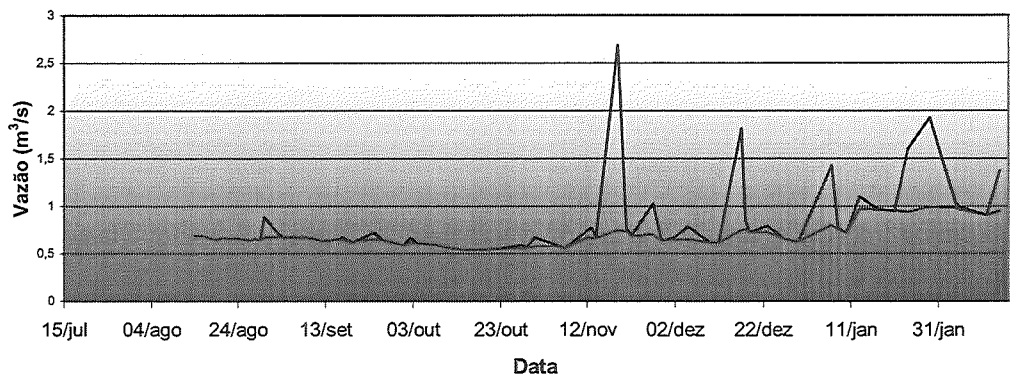


Figura 10: Hidrograma no período de estudo
(Com separação do escoamento superficial e básico).

No início do estudo de campo, o escoamento básico diminuiu até aproximadamente o final de outubro. De novembro até o final dos estudos houve um aumento no escoamento básico devido à chegada do tempo chuvoso, que se deu de forma mais acentuada no início de janeiro.

O surgimento de fundo e também o afloramento nas laterais do rio são responsáveis pela formação do escoamento básico. Considerando-se que as medidas do surgimento através dos infiltrômetros tiveram uma pequena diminuição no período mais chuvoso, acredita-se que o aumento do escoamento básico se deveu ao aumento da área de afloramento laterais ao rio.

Determinação da Condutividade Hidráulica Através de Mini piezômetros.

Para a caracterização do fundo do rio nas seções de estudo, procedeu-se determinar a condutividade hidráulica. Para tanto, empregaram-se mini-piezômetros nas seções 2 e 3, conforme descrito no item sobre metodologia. Na equação de Darcy:

$$q_s = \frac{dh}{dl} K ,$$

o gradiente hidráulico dh/dl pode ser aproximado por $\Delta h/\Delta l$. A profundidade do ponto de medida da carga hidráulica no fundo do rio (Δl) é igual a 0,9 m para a seção 3. Os valores da taxa de surgimento medidos, q_s e os valores dos desníveis, Δh , nos quatro dias de ensaios realizados com os mini-piezômetros, juntamente com a condutividade hidráulica calculada, são apresentados na TABELA 02.

Tabela 02: Determinação da Condutividade Hidráulica na Seção 3.

Data	Δh (m)	Gradiente hidráulico $\Delta h/\Delta l$	Taxa de surgimento q_s (m/s)	Condutividade Hidráulica K (m/s)
04/02/2003	0,017	0,019	$1,64 * 10^{-7}$	$1,33*10^{-4}$
06/02/2003	0,019	0,021	$1,79 * 10^{-7}$	$1,30*10^{-4}$
11/02/2003	0,018	0,020	$3,62 * 10^{-7}$	$2,78*10^{-4}$
14/02/2003	0,021	0,023	$3,39 * 10^{-6}$	$2,24*10^{-4}$

Variação dos Níveis Freáticos.

Nas FIGURAS 11 e 12 é apresentada a variação dos níveis respectivamente nos poços 5 e 6 na margem esquerda da seção 1 e nos poços 1, 2, 3 e 4 nas duas margens da seção 2, juntamente com a variação do nível d’água do rio para essas seções.

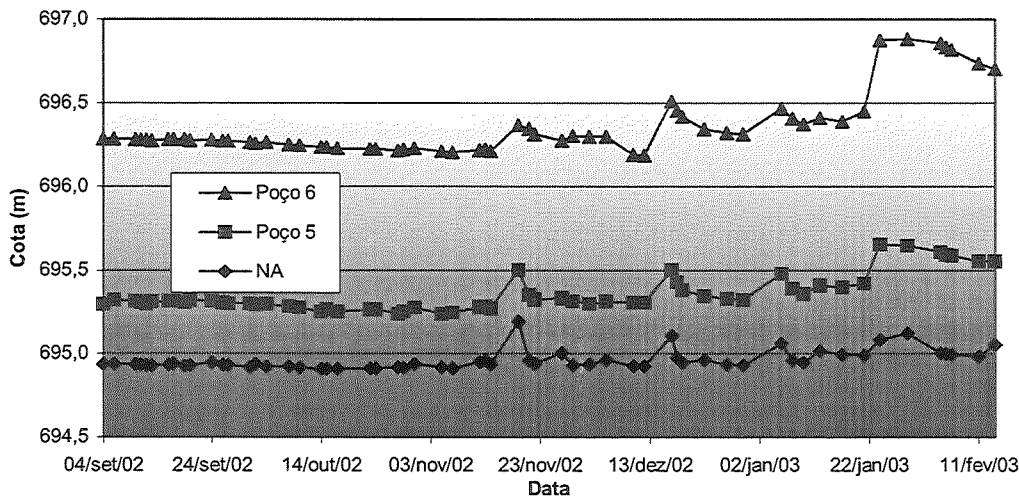


Figura 11: Variações dos níveis d’água nos poços acima do nível do mar nas proximidades da seção 1.

Analisando-se a variação dos níveis dos poços de observação, verifica-se que até meados de novembro o nível freático declinou-se devido à existência de pouco chuva, insuficiente para recarregar o aquífero e suprir as necessidades da capacidade de campo. Em seguida, até meados de janeiro houve um aumento do nível freático de forma praticamente constante, devido a uma precipitação relativamente distribuída. No fim de janeiro, houve grandes precipitações que causaram um aumento rápido nos níveis freáticos, aumentando o armazenamento de água subterrânea na bacia.

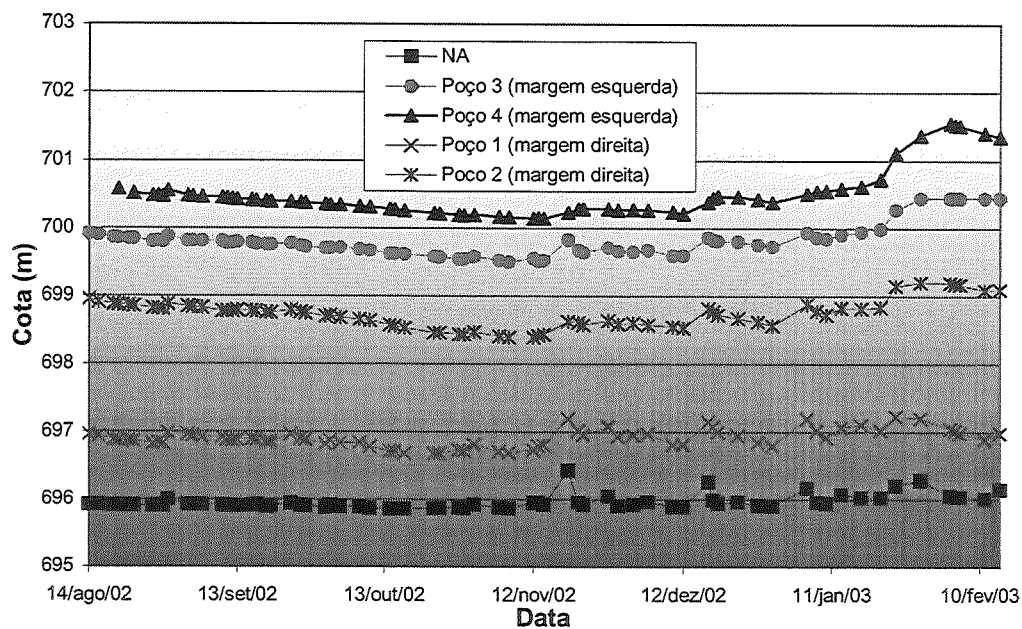


Figura 12: Variações dos níveis d'água nos poços acima do nível do mar nas proximidades da seção 2.

Para uma melhor visualização da variação dos níveis freáticos, os poços foram representados na seção transversal obtida da topografia. Os níveis máximos, médios e mínimos do lençol freático são desenhados junto à topografia do terreno nas FIGURAS 13 e 14.

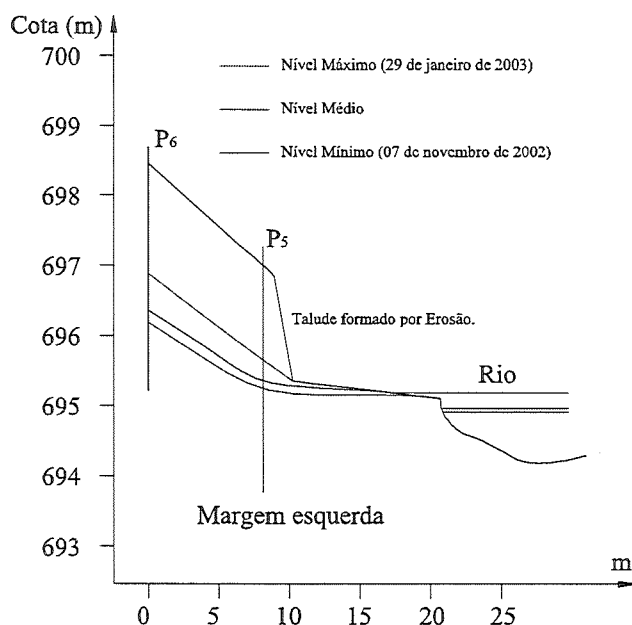


Figura 13: Seção transversal para representação do nível freático na seção 1.

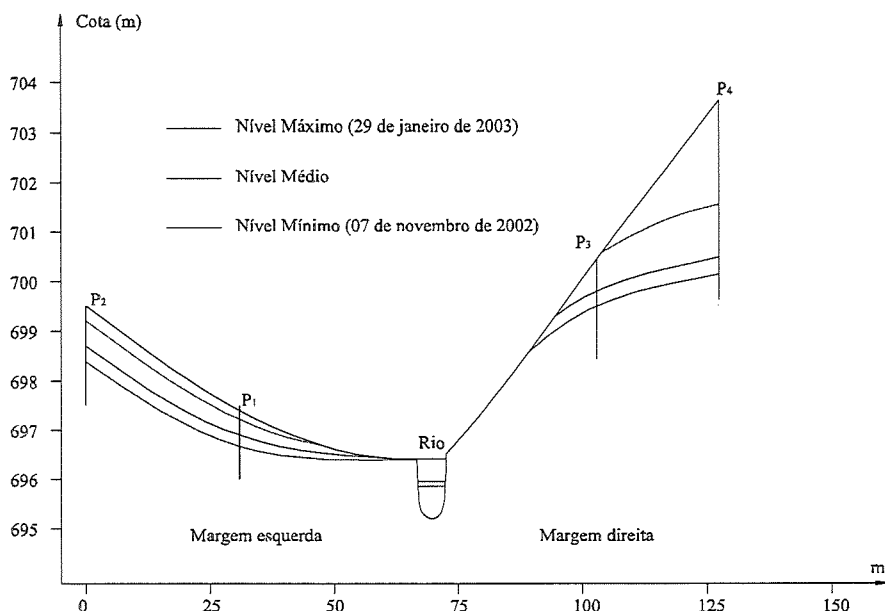


FIGURA 14: Seção transversal para representação do nível freático na seção 2.

Analisando as representações das seções transversais de estudo, verifica-se que os níveis do lençol freático na margem esquerda, tanto para a seção de estudo 1 como a 2, possuem uma forma côncava, diferentemente da forma convexa comumente observada sob encostas. Esse formato pode ser explicado pelo fato de haver a drenagem devido à existência um 'braço' de rio desembocando na margem esquerda nas proximidades da seção 2. Já na seção 1, a existência de erosão na margem esquerda, devido à falta de mata ciliar, é responsável pelo formato do nível freático, marcado por grande variação na vizinhança do talude acentuado.

Verifica-se que em ambas a seções transversais houve um aumento na extensão da margem com afloramento. Essa área de afloramento maior proporciona o aumento do escoamento básico.

CONCLUSÕES.

O presente estudo teve como objetivos a determinação da variação temporal da taxa de troca no fundo do Ribeirão da Onça por meio de infiltrômetros e a instalação de poços para observação da variação do lençol freático na vizinhança do rio.

O estudo da interação rio aquífero foi realizado através de infiltrômetros em três seções do Ribeirão da Onça. Analisando-se o comportamento da interação ao longo dos dias, verificou que existe influência da chuva e da pressão atmosférica nos valores dos surgimentos sendo esta ultima de forma inversa.

Os valores da interação nas seções de estudo 1, 2 e 3 possuem a mesma ordem de grandeza, apresentando um valor médio de 300 mm/dia. Tal estimativa pode ser útil nos estudos da avaliação

da recarga do aquífero Guarani. A variação dos níveis freáticos foi observado ser muito gradual no início dos experimentos devendo-se a baixa ocorrência de chuva nesse período.

Com a chegada das chuvas verificou-se que houve uma pequena diminuição na taxa de surgimento quantificada. Acredita-se que o aumento do nível do rio tenha sido causado esse pequeno decréscimo, em resultado do diferencial reduzido de carga hidráulica que é a força motriz responsável pelo fenômeno do surgimento. Apesar da diminuição na taxa de surgimento de água no fundo do rio durante a época chuvosa, há aumento no escoamento de base dos hidrogramas devido à ampliação da região de afloramento nas margens do rio e conseqüente surgimento de água.

Tendo em vista os experimentos realizados, resultados obtidos e as conclusões, a utilização de infiltrômetro para determinação da taxa de troca entre rio e aquífero é válida, principalmente por se tratar de um equipamento barato, mas requerem cuidados contínuos para que esse equipamento funcione adequadamente e forneça resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- CARR, M. R. e WINTER, T. C. (1980). "Na annotated bibliography of devices developed for direct measurement of seepage". Rep. n. 80-344 U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.
- CASTRO, N. M. e HORNBERGER, G. W. (1991). "Surface-subsurface water interaction in an alleviated mountain stream channel". *Water Resour. Res.*, 27(7), 1613 – 1621.
- CEY, E. E., RUDOLPH, D. L., PARKIN, G. W. e AREVERA, R. (1998). "Quantifying Ground water Discharge to a Small Perennial Stream in Southern Ontario, Canadá". *J. Hydrol.* (accepted for publication).
- CHEKAUER, D. A. e MCBRIDE, J. M. (1988). "A Remotely Operating Seepage Meter for Use in Large Lakes and Rivers". *Ground Water*, 26(2), 165 – 171.
- CONTIN, 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.
- FREEZE, R.A. e CHERRY, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs. NJ. 604 pp.
- GELDNER, P. (1980). "Deterministische und stochastische Methoden zur Bestimmung der Selbstdichtung von Gewässern". *Mitteilungen*, Heft 49, Instit für Wasserbau, Univ. Stuttgart.
- HARE, P. W. e MORSE, R. E. (1997). "Water level fluctuations due to barometric pressure changes in an isolated portion of an unconfined aquifer". *Ground Water*. vol 35, no. 4. p. 667–671.

- HARVEY, J. W., WAGNER, B. J. e BENCALA, K. E. (1996). "Evaluating the reliability of the stream tracer approach to characterize stream-subsurface water exchange". *Water Resour. Res.*, 32(8), 2441 – 2451.
- ISRAELSON, O. W. e REEVE, R. C. (1944). "Canal lining experiments in the Delta Area, Utah: Utah Agricultural Experimental Station". *Bulletin* 313, 15 – 35.
- JACOB, C. E.(1940). "On the flow of water in an elastic artesian aquifer". *Trans, Am. Geophys. Union*, 21: 574–586.
- KALERIS, V. (1986). "Erfassung des Austausches von Oberflächen – und Grundwasser in horizontalebenen Grundwassermodellen". *Mitteilungen*, Heft 62, Institut für Wasserbau, Univ. Stuttgart.
- KALERIS, V. (1998). "Quantifying the exchange rate between groundwater and small streams". *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 36, no. 6, 913 – 932.
- LEE, D. R. (1977). "A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries". *Limnol. Oceanogr.*, 22(1), 140 – 147.
- LEE, D. R. e CHERRY, J. A. (1978). "A field exercise on groundwater flow using seepage meters and mini-piezometers" *J. Geol. Ed.*, 27, 6-10.
- PECK, A. J. (1960). "The water table as affected by the atmospheric pressure". *J. Geophys. Res.*, 65:2383–2388.
- TURK, L. J. (1975). "Diurnal fluctuation of water table induced by atmospheric pressure changes". *Journal of Hydrolog*, 26: 1-16.
- WROBLICKY, G. J., CAMPANA, M. E., VALETT, H. M. e DAHM, C. N. (1998). "Seasonal variation in surface-subsurface water exchange and lateral hyporheic area of two stream-aquifer systems". *Water Resour. Res.*, 34(3), 317 – 328.