

INFLUÊNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA MANUTENÇÃO DA VAZÃO DO RIO EM ÁREA DE RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)

Ludmila Vianna Batista¹, Lucas Vituri Santarosa², Vinicius dos Santos³, Didier Gastmans⁴

^{1, 2, 3} Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, IGCE, campus Rio Claro (SP). ludvbatista@yahoo.com.br

⁴ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Centro de Estudos Ambientais, campus Rio Claro (SP). gastmans@rc.unesp.br

Palavras-Chave: interação rio-aquífero, isótopos estáveis, rio Jacaré-Pepira.

INTRODUÇÃO

No passado, as águas subterrâneas e superficiais eram consideradas corpos de águas distintos e, portanto, estudados separadamente. Atualmente, com os avanços das pesquisas, sabe-se que a interação entre a água superficial e subterrânea é extremamente dinâmica, e qualquer alteração sobre um recurso pode influenciar e afetar diretamente a qualidade e a quantidade de água do outro (KALBUS et al., 2006).

De acordo com Idowu (2007), a água subterrânea constitui a parcela da precipitação que infiltra nos terrenos da bacia hidrográfica e circula pelo seu subsolo. Desta forma, os fluxos subterrâneos são os que irão alimentar o fluxo de base dos rios nos períodos de estiagem. Esta definição remete o conceito de água subterrânea e superficial a um sistema dinâmico, permanente e renovável de troca de água entre a terra e a atmosfera, por meio da evaporação e da precipitação, denominado de ciclo hidrológico.

Isótopos ambientais são utilizados em estudos hidrogeológicos, por serem encontrados de forma generalizada no meio ambiente em quantidades que permitem seu uso como traçadores ou marcadores cronológicos, é muito difundido a nível mundial, constituindo nos dias de hoje uma ferramenta que se pode considerar como essencial no meio técnico hidrogeológico. O estudo integrado de uma bacia hidrográfica, envolvendo dados hidrológico, isotópicos e hidrogeoquímicos, pode fornecer subsídios para a compreensão dos processos responsáveis pela composição química final da água (CLARK E FRITZ, 1997).

Ao longo dos últimos anos, muitos trabalhos têm sido publicados sobre a temática relacionada a estudos da interação água superficial e subterrânea, e neste contexto torna-se premente o conhecimento dessa dinâmica na área da Bacia do Rio Jacaré-Pepira, componente da UGHRI-13, se tornam cada vez mais urgente, devido à importância dessas interações para a manutenção dos fluxos de base dos principais rios que cortam a área.

A seleção da área é justificada pela sua localização em Área de Preservação Permanente (APA), de grande complexidade geológica, situada em uma importante área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG), cujos recursos hídricos representam uma importante atração turística, especialmente para a cidade de Brotas (SP).

MÉTODOLOGIA DE ESTUDO

A área de estudos situa-se na Bacia Hidrográfica do Alto Jacaré-Pepira, componente da Unidade de Gerenciamento Hídrico-13 (UGRHI-13), situação na porção centro-oeste do Estado de São Paulo. A Sub-Bacia do Alto Jacaré-Pepira possui área total de 2462,7 km², com perímetro aproximado de 312,2 km (IPT, 2010) (Figura 1).

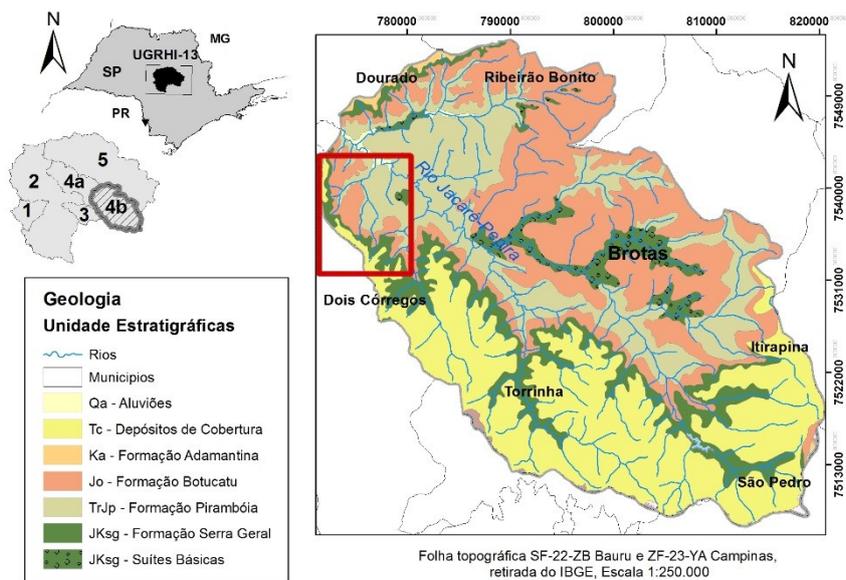


Figura 1. Mapa de localização e geológico da área de estudo

A sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira está inserida geologicamente sobre os sedimentos clásticos, predominantemente arenosos, das formações Botucatu e Pirambóia e sobre as rochas ígneas basálticas da Formação Serra Geral, da Bacia Sedimentar do Paraná.

Com base na série histórica das precipitações médias mensais observadas na estação localizada no Município de Ribeirão Bonito (Estação D5-003), entre os anos

de 1936 a 2016, observa-se que o regime pluviométrico na área é caracterizado por duas estações: uma chuvosa (meses de maior índice pluviométrico: dezembro (213,36 mm), janeiro (251,45 mm) e fevereiro (182,75 mm)) e outra mais seca (meses com menor índice pluviométrico: junho (39,22 mm), julho (24,54) e agosto (25,53 mm)) (Figura 2).

O estudo apresenta como principal característica o monitoramento contínuo da composição isotópica das águas superficiais em um afluente da margem esquerda do Rio Jacaré-Pepira e de uma surgência, que representa a descarga das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (SAG).

A coleta da água da chuva foi feita utilizando-se um coletor PALMEX (Grönigen et al., 2012), instalado na área de estudo. Para a coleta de amostras de água superficial e subterrâneas (surgência) foram instalados Amostradores Automáticos ISCO 6400. As amostras de água superficial foram coletadas a cada dois dias, enquanto as amostras na surgência coletadas a cada quatro dias.

As amostras para análise das razões isotópicas foram filtradas em filtros de seringa de acetato de celulose #0,45mm, e armazenadas em frascos de vidro âmbar com tampa e batoque de 30mL, evitando a presença de ar no interior do frasco para se prevenir processos de fracionamento isotópico, e enviadas ao laboratório para determinação da razão isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$. A determinação das razões isotópicas foi feita por meio do método de Espectrometria Laser (*Cavity Ring Laser Spectroscopy*), no Laboratório de Hidrogeoquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE-UNESP.

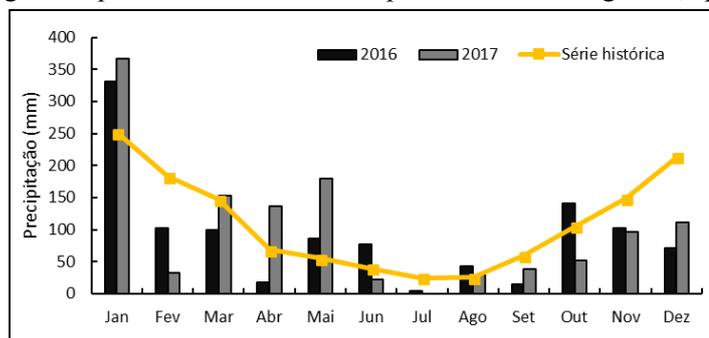


Figura 2. Dados da precipitação (2016-2017) e série histórica das precipitações médias mensais na Estação D5-003

RESULTADOS

A precipitação total no período analisado foi de 1088,50 mm em 2016 e 1217,00 mm em 2017, com maiores concentrações de volumes entre outubro/2016 a março/2017, quando choveu cerca de 75% de toda a precipitação do período analisado (866 mm). Os meses com maiores concentrações de chuva foram janeiro de 2016 e 2017 (331 e 366 mm, respectivamente), março/2017 (153 mm) e maio/2017 (179 mm). A estação seca

estendeu-se de abril a setembro em ambos os anos, sendo os meses com menores precipitações julho de 2016 e 2017 (5 e 0 mm, respectivamente).

A Figura 3 mostra os gráficos *Box Plot* as variações de $\delta^{18}\text{O}$ e d -excess das águas subterrâneas e superficiais nos períodos de verão e inverno.

Durante o período de monitoramento, composição isotópica da precipitação apresentou a seguinte variação: para $\delta^{18}\text{O}$ a variação foi de -10,30‰ a +1,85‰ VSMOW, com média e desvio padrão de $-3,53 \pm 2,89$ ‰ VSMOW. O d -excess variou de +1,60 a +24,818‰ VSMOW, com média e desvio padrão de $14,50 \pm 4,64$ ‰ VSMOW.

Apesar da grande variação das razões isotópicas da precipitação, com valores mais empobrecidos no verão e mais enriquecidos no inverno, os valores de d -excess apresentam menor variação, sendo mais de 90% dos valores superiores a 10, o que pode estar associado a ocorrência de processos de recirculação atmosférica que ocorrem ao longo da trajetória do deslocamento da massa de ar.

As razões isotópicas das águas subterrâneas durante o período seco apresentaram valores de $\delta^{18}\text{O}$ que variaram de -6,65‰ a -7,57‰ VSMOW, com média e desvio padrão de $-7,08 \pm 0,21$ ‰ VSMOW, a média e desvio padrão do d -excess foi de $+11,64 \pm 1,94$ ‰. Durante o período considerado chuvoso as variações para $\delta^{18}\text{O}$ foram de -6,39‰ a -7,93‰ VSMOW, com média e desvio padrão de $-7,19 \pm 0,34$ ‰ VSMOW, os valores médios e de desvio padrão para o d -excess foram de $12,12 \pm 2,69$ ‰ VSMOW.

Valores semelhantes foram encontrados na composição isotópica das águas superficiais, principalmente durante o período seco, quando a conexão rio-aquífero fica mais evidente. Para as amostras de água superficial durante o período seco, foram encontrados os valores de $\delta^{18}\text{O}$ que variaram de -5,57‰ a -7,59‰ VSMOW, com média e desvio padrão de $-6,78 \pm 0,37$ ‰ VSMOW, a média e desvio padrão do d -excess foi de $+12,17 \pm 2,26$ ‰ VSMOW. Durante o período considerado chuvoso as variações para $\delta^{18}\text{O}$ foram de -5,31‰ a -9,58‰ VSMOW, com média e desvio padrão de $-6,37 \pm 0,61$ ‰ VSMOW, os valores médios e de desvio padrão para o d -excess foram de $10,98 \pm 2,44$ ‰ VSMOW.

Durante o período chuvoso quando ocorre a infiltração da água da chuva e conseqüentemente a recarga do aquífero, as razões isotópicas da água subterrânea são mais empobrecidas e, durante os meses mais secos, os valores de d -excess na água subterrânea são superiores aos da precipitação.

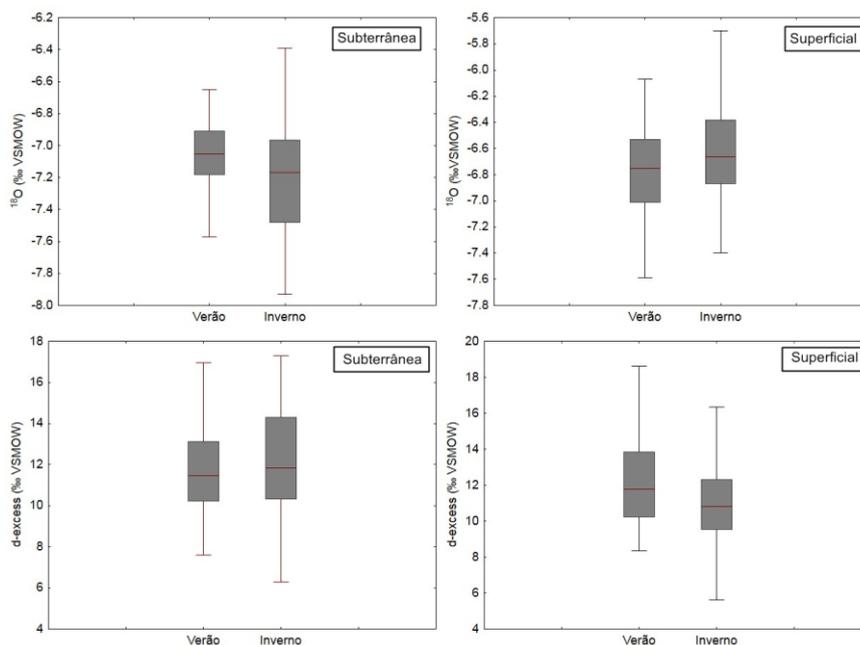


Figura 3. Box Plot das variações de $\delta^{18}\text{O}$ e d -excess nas águas subterrâneas e superficiais

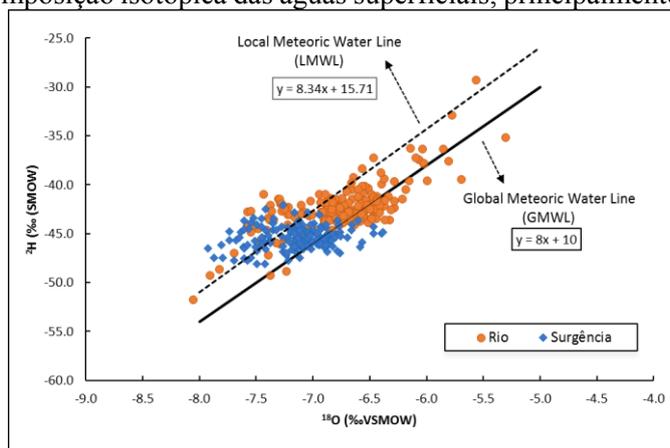


Figura 4. Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ nas águas superficiais e águas subterrâneas plotadas na Reta Meteorológica Local

A Figura 4 representa o coeficiente angular das amostras de água superficial e da surgência em relação a Reta Meteórica Local e a Reta Meteórica Global (GMWL). A Reta Meteórica Local foi construída com os dados das razões isotópicas da precipitação de Brotas, de janeiro/2014 a agosto/2016, baseado na equação da reta ($\delta^2\text{H}=8,22*\delta^{18}\text{O}+15,71$).

As amostras de água superficial, em quase totalidade, ficaram abaixo da Reta Meteórica Local, indicando maior ocorrência de processos de evaporação, enquanto uma parcela das amostras da surgência ficaram acima da Reta Meteórica Local, o que pode indicar processos de recirculação atmosférica.

Em relação ao *d*-excess, pode-se observar que as maiores variações ocorrem nos períodos de estiagem. Durante o período chuvoso observa-se uma diminuição nos valores de *d*-excess, sentido principalmente nas águas superficiais, e com menor intensidade nas águas da surgência quando comparados, indicando que mesmo com a influência da precipitação existe uma conexão entre as águas superficiais e subterrâneas.

Durante e após o período de estiagem que se inicia no mês de abril e se estende até o mês de setembro, os valores de *d*-excess são praticamente os mesmos para as águas superficiais e da surgência, essa variação pode ser explicada em função da evaporação da água na zona não saturada, indicando que durante os períodos de estiagem os valores de *d*-excess ficam semelhantes em decorrência da recarga dos rios pelo fluxo de base, ou seja, pelo Sistema Aquífero Guarani (SAG).

CONCLUSÕES

A composição isotópica das águas superficiais e subterrâneas apresentaram comportamentos diferentes, entretanto, durante os períodos mais secos (abril a setembro), o comportamento das águas superficiais se assemelha ao das águas subterrânea, afirmando hipótese de recarga do rio pelo fluxo de base, ou seja, pelo Sistema Aquífero Guarani (SAG). Os valores que se encontram abaixo da Reta Meteórica Global podem ser interpretados como tendo sido sujeitos a um maior fracionamento isotópico, indicando a existência de processos associados a origem de vapores distintos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a FAPESP Processo 2015/15746-2, CNPq (processo nº142052/2016-7), IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) – Research Contract 17984 – Co-Ordinated Research Project “Stable Isotopes in Precipitation and Paleoclimate Archives in Tropical Areas to Improve Regional Hydrological and Climate Models”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLARK, I.; FRITZ, P. (1997). **Environmental Isotopes in Hydrogeology**. New York, CRC Press, 328p.
- GRÖNING, M.; LUTZ, H.O.; ROLLER-LUTZ, Z.; KRÁLIK, M.; GOURCY, L.; PÖLTENSTEIN, L. (2012). A simple rain collector preventing water re-evaporation dedicated for $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ analysis of cumulative precipitation samples. **Journal of Hydrology**, 448:195–200.
- IDOWU, O. A. (2007). Hydrological Processes of Interaction Between Surface Water and Groundwater—A Review. **ASSET: An International Journal** (Series B), 6(2), 172-190.
- IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (2010). Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (CBH-TJ). **Relatório Zero UGRHI13**: Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos e Estabelecimento de Diretrizes Técnicas para a Elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré. Araraquara: CBH-TJ.
- KALBUS, E.; REINSTORF, F.; SCHIRMER, M. (2006). Measuring methods for groundwater-surface water interactions: a review. **Hydrology and Earth System Sciences**. 10:873-887. 2006.