

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CAMINHO E ORIGEM DAS MOLÉCULAS DE ÁGUA NO RESERVATÓRIO TAIAÇUPEBA (SUZANO, SP)

*Mariza Fernanda da Silva¹; Veridiana Teixeira de Souza Martins²; Christine Laure Marie
Bourotte³*

RESUMO – O reservatório Taiapuêba está localizado em Suzano, estado de São Paulo, e faz parte do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT), responsável por 15% do abastecimento de água da região metropolitana leste de São Paulo. Foram realizadas análises de O e H em pontos de monitoramento do reservatório e seus principais tributários por Espectroscopia de Absorção à Laser, no equipamento PICARRO (LIA CEPAS USP). As duas campanhas de amostragem foram no período chuvoso (março de 2018) e período seco (agosto de 2018). Os resultados de isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ foram semelhantes para cada ponto nos dois períodos amostrados e indicam a mistura de águas dos diferentes tributários no reservatório, que possui características de águas evaporadas e maior contribuição do canal de transferência do reservatório Jundiáí, integrante do SPAT. Os rios da bacia apresentam assinaturas mais empobrecidas, que sugere maiores influências de recarga de água subterrânea e menores taxas de evaporação.

ABSTRACT– The Taiapuêba reservoir is located in Suzano, State of São Paulo, and is part of the Alto Tietê Producer System (SPAT), responsible for 15% of the water supply in the east metropolitan area of São Paulo. O and H analyzys were performed at the monitoring point of the reservoir and its main tributaries by PICARRO laser absorption spectroscopy (LIA CEPAS USP). The sampling campaigns were realised in the rainy season (March 2018) and dry season (August 2018). The results obtained of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ were similiar in both seasons, and represent the mixture of tributaries waters in reservoir, with evaporated characteristics. The largest amount of water is obtained of Jundiáí reservoir, a member of SPAT. The basin rivers pesent poor signatures that suggest groundwater recharge and lower rates of evaporation.

Palavras-Chave – isótopos; mananciais.

INTRODUÇÃO

Os isótopos são variáveis de massa de um mesmo elemento químico e permitem o estudo geoquímico ambiental de acordo com o conhecimento da particularidade e origem de cada isótopo (Faure & Mensing, 2005).

1)Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, São Paulo (SP), (11) 98623-6637, mariza.silva@usp.br.

2)Departamento de Geologia Sedimentar do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, São Paulo (SP), (11)3091-4138, veridian@usp.br.

3)Departamento de Geologia Sedimentar do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, São Paulo (SP), (11)3091-4138, chrisbourotte@usp.br.

Chamam-se ambientais os isótopos de elementos químicos que ocorrem naturalmente em abundância no nosso planeta e são os principais elementos dos ciclos hidrológico e biológico, como H, C, N, O e S (Clark & Fritz, 1997). São mais comumente utilizados os isótopos estáveis desses elementos. Os isótopos de ^3H e ^{14}C , são cosmogênicos e utilizados para a datação de águas ou matérias orgânicas, no caso do carbono.

Os isótopos estáveis são utilizados em estudos ambientais em razão dos processos de fracionamento, que correspondem a pequenas diferenças em reações químicas e principalmente físicas, dos isótopos de um mesmo elemento químico (Hoefs, 2009), indicando a história química desses elementos. Os isótopos estáveis sofrem fracionamento em processos da superfície terrestre, o que significa que os isótopos leves e pesados se distribuem de forma diferente durante processos de precipitação, evaporação, condensação, oxidação e redução. Este fato permite que esses isótopos sejam utilizados para o entendimento dos caminhos e processos pelos quais passaram. Especialmente para isótopos de H e O, as variações de isótopos estáveis podem traçar a fonte e o caminho das moléculas de água (Banner, 2004).

O hidrogênio possui 3 isótopos, ^1H , ^2H (deutério - D) e ^3H (trítio), o terceiro radioativo, com uma meia vida de 12,5 anos. Os isótopos estáveis de hidrogênio possuem a maior diferença de massa entre todos os isótopos (99,8%).

O oxigênio possui 3 isótopos estáveis: ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O , e é o elemento mais abundante da crosta terrestre. A diferença de massa entre o ^{16}O e ^{18}O , que são os isótopos mais abundantes e utilizados em estudos isotópicos, é 12,5%. Desta forma, a diferença de massas das moléculas de água é significativa nos processos de fracionamento (Faure & Mensing, 2005).

Diferentes massas das moléculas de água ocasionam diferenças nos valores de pressão de vapor, ou seja, as moléculas de água mais leves (H_2^{16}O) terão pressões de vapor maiores que as mais pesadas (D_2^{18}O), sendo assim, evaporam preferencialmente em relação às mais pesadas (Faure & Mensing, 2005).

As pressões de vapor de H_2O e HDO , assim como H_2^{16}O e H_2^{18}O possuem diferenças constantes, sendo assim, os processos de evaporação e condensação dos isótopos de hidrogênio e oxigênio são fracionados proporcionalmente (Hoefs, 2009).

Quando ocorre a evaporação no oceano, os isótopos mais pesados se concentram na fase líquida, e os mais leves na fase vapor, quando ocorre a condensação deste vapor e a precipitação, os isótopos mais pesados são liberados primeiramente na fase líquida formada, e conforme a chuva cai, os valores de deltas da fase vapor se tornam cada vez mais negativos e a chuva se torna cada vez mais empobrecida em pesados e enriquecida em leves, este processo é uma destilação Rayleigh. Em

síntese, pode-se dizer que do equador para os pólos, e da costa para o interior, a chuva se torna isotopicamente mais leve (Drever, 1982).

Em relação à água subterrânea, podem ocorrer processos secundários de fracionamento isotópico no interior do aquífero como a interação com carbonatos e silicatos, ou as águas contidas no mesmo podem ser provenientes de uma recarga antiga, e assim terão assinaturas isotópicas distintas da precipitação atual (Drever, 1982).

Com o estudo dos isótopos de H e O, é possível identificar fontes de águas superficiais, a sua relação com o aquífero e a precipitação, além de estimar o tempo de residência de águas de rios (Ogrinc et al., 2018). A composição isotópica da água é sensivelmente alterada quando há mudanças em sua origem e percurso.

A compreensão da dinâmica hídrica e química do reservatório é importante para a utilização sustentável deste recurso, bem como para o devido manejo e gerenciamento dos materiais derivados da represa e do seu entorno. Assim, esse estudo tem o objetivo de ampliar o conhecimento da dinâmica do reservatório, para fornecer informações que possam auxiliar seu gerenciamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da Área de Estudo

O reservatório Taiacupeba está inserido no Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT), responsável por 15% do abastecimento de água da Região Metropolitana Leste de São Paulo. Além do reservatório Taiacupeba, o SPAT também é composto pelos reservatórios Paraitinga e Ponte Nova no município de Salesópolis, reservatório Biritiba, em Biritiba Mirim, e reservatório Jundiaí, em Mogi das Cruzes (Macedo & Silva, 2008).

O SPAT armazena águas da cabeceira do Rio Tietê, represado nos reservatórios Ponte Nova e Paraitinga, que depois voltam o curso no Rio Tietê. A estação elevatória de Biritiba leva as águas do Tietê para o reservatório Biritiba, que são transportadas por gravidade para o Reservatório Jundiaí e, ao fim, Taiacupeba. A vazão excedente do reservatório Taiacupeba deságua novamente no Rio Tietê (Macedo & Silva, 2009). O SPAT com seus reservatórios está mapeado na figura 1.



Figura 1 – Localização do SPAT (Fonte: Google Earth)

A Estação de Tratamento de Água (ETA) do reservatório Taiacupeba produz água para o abastecimento das cidades à leste de São Paulo e parte da zona leste da capital paulista (Macedo & Silva, 2008). A vazão de tratamento da ETA Taiacupeba é de até 15m³/s, e atende 4,2 milhões de habitantes da zona leste de São Paulo e dos municípios de Arujá, Itaquaquecetuba, Poá, Ferraz de Vasconcelos e Suzano, além de parte de Mogi das Cruzes e de Guarulhos (SABESP, 2018).

O sistema produtor Alto Tietê possui uma capacidade de armazenamento de cerca de 575 bilhões de litros, formando, com seus cinco reservatórios, o segundo maior sistema produtor da região metropolitana de São Paulo (SABESP, 2018).

Inicialmente o Sistema Alto Tietê era composto pelas represas de Taiacupeba e Jundiá, e teve seu início de operação em 1992. O sistema foi ampliado com a incorporação às represas de Paraitinga, Ponte Nova e Biritiba, de acordo com a crescente demanda por abastecimento hídrico da região metropolitana de São Paulo (SABESP, 2018).

A interligação entre as barragens é realizada através de túneis, canais e estações elevatórias. Além do abastecimento público, o Sistema Alto Tietê atende também ao controle de cheias da região, pois armazena grande quantidade das águas provenientes das chuvas ocorridas em suas cabeceiras.

O Relatório de Sustentabilidade SABESP (2015) apresenta as importantes obras de ampliação do sistema:

“O grande destaque de 2015 no sentido de ampliar as vazões transferidas entre sistemas foi a instalação de 10,5 km de tubulação para a transferência de 4 m³/s do braço Rio Grande da represa Billings até a represa Taiacupeba, pertencente ao Sistema Alto Tietê,

o segundo sistema mais impactado pela estiagem. Com investimentos de R\$ 130 milhões, a obra foi executada em apenas cinco meses. Também realizada por equipe da Sabesp, a instalação de nove quilômetros de adutoras e uma estação de bombeamento para transferência de 1 m³/s do rio Guaió, em Suzano, para a Taiaçupeba, represa do Sistema Alto Tietê, levou apenas quatro meses e acrescentou nova fonte de água bruta ao sistema integrado de abastecimento da RMSP.”

O processo de transposição das águas do braço Rio Grande da represa Billings e do rio Guaió até a represa Taiaçupeba está em curso desde novembro de 2015. O procedimento é acompanhado por meio de análises químicas e biológicas, em monitoramento contínuo.

Coletas e Ensaios

Os pontos de coleta escolhidos para análise isotópica da bacia foram os mesmos do monitoramento de qualidade da água realizado pela Sabesp, e abrangem 4 pontos no reservatório (1-captação; 2-próximo ao rio Taiaçupeba Mirim; 3-meio da represa e 4-próximo ao rio Taiaçupeba Mirim), e 5 pontos nos principais afluentes (canal de transferência do reservatório Jundiaí; Rio Taiaçupeba Mirim e transferência do reservatório Rio Grande; Rio Balainho; Rio Taiaçupeba-Guaçú e Canal de transferência do Rio Guaió). Os pontos estão relacionados com os resultados na figura 2.

As amostras foram coletadas em frascos de vidro âmbar, totalmente preenchido de maneira a não deixar bolhas de ar, e fechados com batoque e tampa plástica.

As análises de isótopos de H e O foram realizadas por espectroscopia de absorção à laser em equipamento da marca Picarro modelo Cavity Ringdown Spectrometer L2130i Isotopic H₂O, no Laboratório de Isótopos Estáveis (LIA), no Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS), IGc-USP.

A técnica utilizada no equipamento Picarro é a espectroscopia por cavidade ressonante do tipo *ring-down* – CRDS (*Cavity Ring Down Spectroscopy*), na qual um pulso de laser é injetado em uma cavidade com dois espelhos de alta refletividade. A cada reflexão do pulso uma pequena fração de luz é transmitida através dos espelhos e um detector mede a magnitude da luz transmitida, em função do tempo. Um pequeno volume de amostra é inserido na cavidade, e com a absorção de luz pela amostra o tempo de decaimento exponencial é mais curto e então quantificado (Nakaema, 2010).

As amostras ficaram em geladeira até a análise e foram pipetados 1,5 mL em um *vial* de 2 mL de vidro, deixando um *headspace* de 0,5 mL. As amostras correram duas vezes em *vials* e dias diferentes, e caso necessário, uma terceira amostra pode ser avaliada caso as duplicatas não atinjam os valores especificados.

O equipamento utiliza três padrões internos de referência para correção das amostras, que são armazenados sob pressão de gás inerte em barris de aço inox, e previamente calibrados com os padrões VSMOW (*Viena Standard Mean Ocean Water*)- SLAP (*Standard Light Antarctic Precipitation*). Os valores dos padrões de referência internos estão apresentados a seguir, em referência ao VSMOW.

$$SP1 - \delta^2H -2,20 \text{ e } \delta^{18}O -1,43$$

$$SP2 \delta^2H -26,70 \text{ e } \delta^{18}O -4,39$$

$$SP3 - \delta^2H -70,40 \text{ e } \delta^{18}O -9,88$$

Os dados foram tratados no software *LIMS for Laser*, desenvolvido por *Isotope Hydrology Laboratory* (IHL) da IAEA e *United States Geological Survey* (USGS). O desvio padrão dos resultados é de ± 0.09 para $\delta^{18}O$ e ± 0.9 para δ^2H .

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das amostras coletadas em março de 2018 (período chuvoso) e agosto de 2018 (período seco) estão plotados no gráfico da figura 2.

A razão entre os isótopos $^{18}O/^{16}O$ é de 0,00204, o fracionamento representa diferenças nestas razões (Clark & Fritz, 1997). Os resultados isotópicos para O e H são representados como parâmetro delta (δ), que expressa os desvios das razões entre os isótopos das amostras em relações aos padrões internacionais estabelecidos, conforme apresentado na equação (1).

$$\delta^{18}O_{amostra} = \left[\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{amostra}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{padrão}} - 1 \right] \times 1000\text{‰} \quad (1)$$

Se o resultado for positivo, significa que a amostra é enriquecida em ^{18}O em relação ao padrão, se for negativo, a amostra é empobrecida no isótopo mais pesado em relação ao padrão.

O padrão utilizado nessa equação é o padrão internacional VSMOW, que vale zero.

O fracionamento isotópico é regulado por fatores locais como altitude, latitude, localização da área em relação à zona costeira e volume de precipitação, portanto, são definidas as retas meteóricas locais (LMWL) paralelas à reta meteórica global (GMWL), mas com diferentes excessos de deutério. As retas também podem apresentar diferentes inclinações que estão relacionadas a evaporação secundária e variáveis de sazonalidade (Clark & Fritz, 1997).

Os pontos de coleta foram agrupados em 4 categorias: Reservatório Taiapuêba, Rios da Bacia Taiapuêba, Canal de Transferência do Reservatório Jundiá e Rio Guaió. As retas apresentadas no gráfico representam a reta meteórica global definida por Rozanski et al. (1993) a

reta meteórica local do CEPAS-USP, uma reta meteórica inédita para São Paulo, produzida a partir de coletas realizadas no período de agosto de 2016 a outubro de 2017.

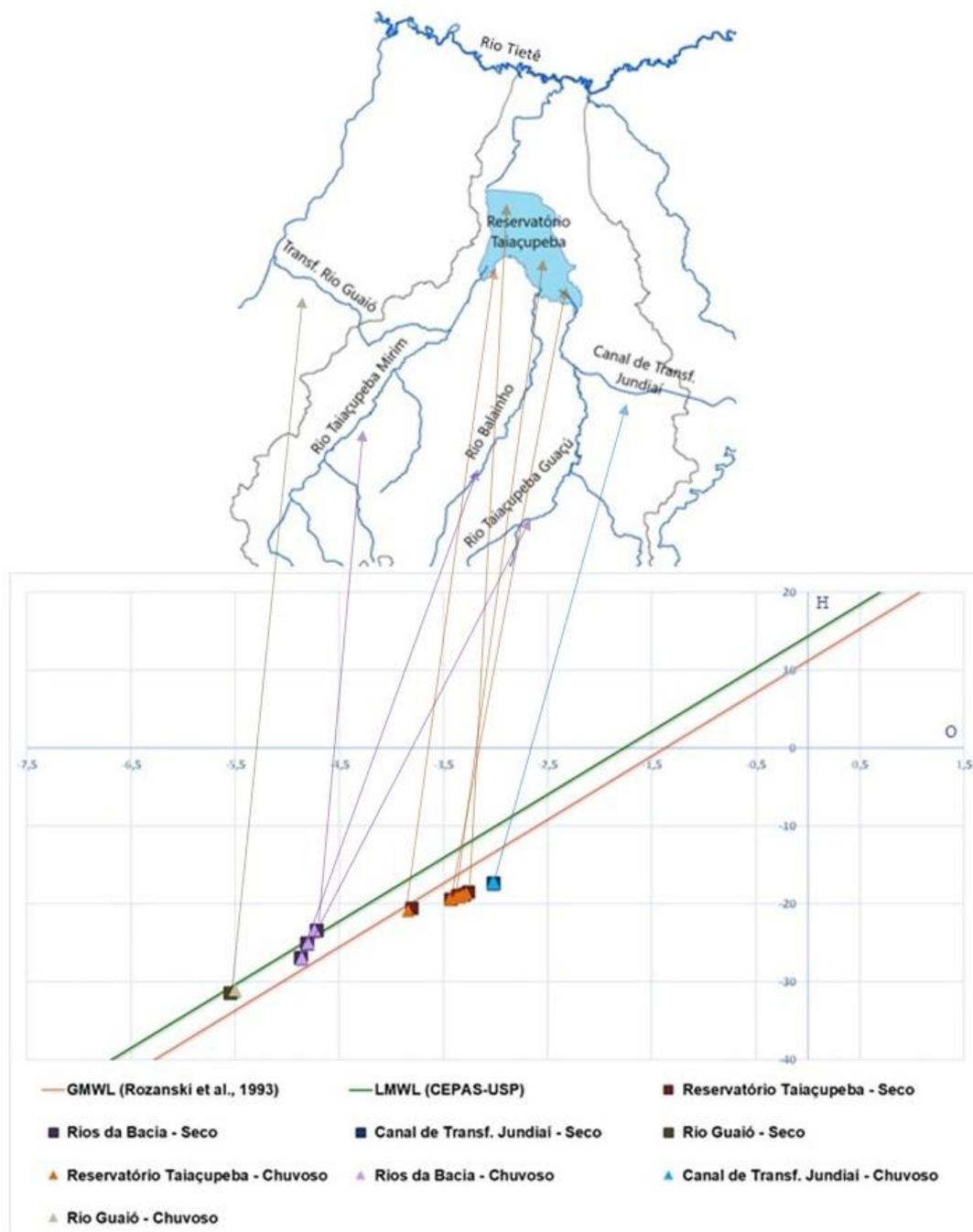


Figura 2 - Gráfico dos resultados de isótopos de O e H para os períodos seco e chuvoso relacionados com as retas meteóricas global e local.

Para ambos os períodos coletados (chuvoso e seco), as assinaturas isotópicas de H e O estão dentro do mesmo resultado considerando o desvio padrão da análise (± 0.09 para $\delta^{18}\text{O}$ e ± 0.9 para $\delta^2\text{H}$) e apresentam poucas diferenças graficamente.

O gráfico da figura 3 apresenta os dados pluviométricos médios medidos em radar para a bacia Taiaçupeba no ano de amostragem isotópica (2018) e no ano anterior (2017). A diferença de

volume pluviométrico para os meses amostrados (março e agosto), circulado em vermelho, é bem evidente, porém, o fator pluviométrico sazonal não influenciou os resultados isotópicos para o período amostrado. Tanto o reservatório quanto os rios mantêm as características isotópicas de H e O em ambos períodos sazonais (seco e chuvoso).

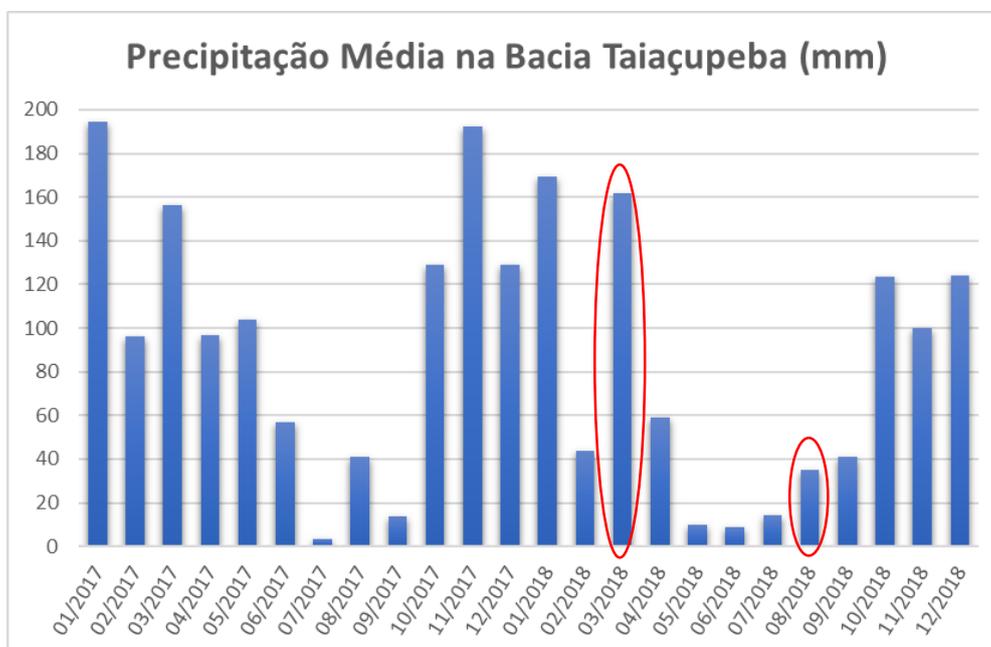


Figura 3 – Gráfico de precipitação média medida em radar na Bacia Taiaçupeba. Fonte: Sabesp, 2019.

CONCLUSÕES

Os pontos do Reservatório Taiaçupeba (superfície e fundo) estão próximos e um pouco abaixo das retas meteóricas globais, assim como o ponto do Canal de Transferência do Reservatório Jundiá, indicando características próximas entre estas águas. O distanciamento dos pontos das retas meteóricas indica que são amostras evaporadas.

Já nas amostras dos rios presentes na bacia do Taiaçupeba há uma diminuição nos valores de delta (empobrecimento em isótopos pesados) e um agrupamento entre estas assinaturas, que podem indicar uma correlação com a água subterrânea e menores taxas de evaporação.

O Rio Guaió é um canal de transferência vindo da sub-bacia hidrográfica vizinha, e apresenta uma assinatura ainda mais empobrecida em isótopos pesados, indicando pouca evaporação para este rio.

As amostras coletadas na represa possuem assinaturas isotópicas que indicam mistura entre as águas dos rios que chegam na represa com a água do canal de transferência, com maior participação desta última.

No caso do reservatório Taiaçupeba, é possível traçar as características e contribuições das diferentes fontes de água (afluentes, transposições e precipitação), e o acompanhamento dos dados isotópicos possibilitaria a avaliação de mudanças na recarga e composição das águas.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos (MAR) da Sabesp pelo apoio à realização e divulgação do trabalho, e ao Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos Leste (MARL) da Sabesp pelo apoio logístico e técnico.

Ao Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Pesquisas em Águas Subterrâneas (LIA- CEPAS-USP) pela realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

BANNER, J.L. (2004). *“Radiogenic isotopes: systematics and applications to earth surface processes and chemical stratigraph”*. Earth-Science Reviews 65 (3-4), pp. 141-194.

CLARK, I.; FRITZ, P. (1997) *“Environmental Isotopes in Hydrogeology”*. New York, CRC Press, 328 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. (2009) *“Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê”*. São Paulo, FUSP - Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo e FEHIDRO - Fundo Estadual de Recursos Hídricos.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). (2015) *“Relatório de Sustentabilidade 2015”*. São Paulo, Sabesp.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP): <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=31> (acessado Dezembro 2018).

DREVER, J.I. (1982). *“The geochemistry of natural waters”*. New Jersey, Prentice- Hall, Inc., Englewood Cliffs, 437 p.

FAURE, G., MENSING, T.M. (2005) *“Isotopes: Principles and Applications”*. 3rd: New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 897 p.

HOEFS, J. (2009). *“Stable Isotope Geochemistry”*. 6th Edition: Berlin, Springer-Verlag, 285 p.

MACEDO, A., SILVA, L.R. (2008) *“A várzea do Rio Taiaçupeba Guaçu e a eficiência na redução de cianobactérias que afluem à represa Taiaçupeba”* XIX Encontro técnico AESABESP - FENASAN, São Paulo.

MACEDO, A; SILVA, L. R. (2009) *“O Monitoramento da qualidade das águas realizado pela SABESP nos Mananciais do Alto Tietê – Cabeceiras – Sistemas Produtores Alto Tietê e Rio Claro”*. XX Encontro técnico AESABESP - FENASAN, São Paulo.

- NAKAEMA, W.M. (2010) “*Espectroscopia de cavidade ressonante tipo Ring-DOWN supercontinuum resolvida no tempo para detecção de multicomponentes gasosos*”. [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- OGRINC, N., KOČMAN, D., MILJEVIĆ, N., VREČA, P., VRZEL, J., & POVINEC, P. (2018) “*Distribution of H and O stable isotopes in the surface waters of the Sava River, the major tributary of the Danube River*”. Journal of Hydrology, v. 565, p. 365-373.
- ROZANSKI, K., ARAGUÁS-ARAGUÁS, L., GONFIANTI, R. (1993) “*Isotopic patterns in modern global precipitation*”. In: Swart, P. (Ed) Climate Change in Continental Isotopic Records: Washington DC, Geophysical Monograph Series, v. 78, p. 1-36.