

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DA CARGA DISSOLVIDA NAS BACIAS DOS RIOS JUNDIAÍ E CAPIVARI, SÃO PAULO

Helder de OLIVEIRA¹, Jefferson MORTATTI¹, Graziela Meneghel de MORAES¹, Diego VENDRAMINI¹, Karine Baldo de Genova CAMPOS¹

(1) Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)/Núcleo de Pesquisa em Tecnologia e Inovação para Sustentabilidade da Agricultura (NAPTISA), Universidade de São Paulo. Avenida Centenário, 303. CEP 13 416-000. Piracicaba, SP. Endereços eletrônicos: helder@cena.usp.br; j.mortatt@cena.usp.br; gmmoraes@cena.usp.br; dvendram@cena.usp.br; kbcampos@cena.usp.br

Introdução
Áreas de estudo
Desenvolvimento metodológico
Resultados e discussões
 Concentrações das principais espécies químicas dissolvidas nos rios Jundiá e Capivari
 Equilíbrio Iônico das amostras fluviais
 Variabilidade temporal das concentrações das principais espécies químicas dissolvidas
 Relacionamento concentração - vazão
 Transporte fluvial dos solutos
Conclusões
Agradecimentos
Referências bibliográficas

RESUMO - As caracterizações hidrogeoquímicas das cargas dissolvidas das bacias dos rios Jundiá e Capivari, nascente e foz, foram realizadas procurando investigar possíveis influências antrópicas que vêm ocorrendo nessas bacias de drenagem, principalmente associados aos aportes de efluentes domésticos, industriais e agrícolas. Foram realizadas 15 excursões de amostragem de águas fluviais, durante o período de abril de 2011 a dezembro de 2012, sendo analisados quimicamente os cátions e ânions principais, sílica dissolvida e total de sólidos dissolvidos. A aplicação do modelo bilogarítmico concentração-vazão permitiu verificar o relacionamento de HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} aos aportes difusos e Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} e PO_4^{3-} com aportes pontuais, considerados antrópicos, ao longo das bacias de drenagem. No entanto, nas áreas próximas às nascentes do rio Jundiá, um processo inicial de degradação dessas águas foi observado, principalmente do aporte de esgotos domésticos sem tratamento prévio. As elevadas concentrações das principais espécies químicas e seus respectivos transportes fluviais específicos confirmaram a influência antrópica que ocorre nessas bacias de drenagem.

Palavras-chave: rio Jundiá, rio Capivari, espécies químicas dissolvidas, transporte específico.

ABSTRACT - H. Oliveira, J.Mortatti, G.M. Moraes, D.Vendramini, K.B.G.Campos - The hydrogeochemical characterizations of dissolved loads in headwaters and at the mouth of Jundiá and Capivari basins were performed trying to investigate possible anthropogenic influences, mainly associated with urban sewage, industrial effluents and agricultural activities. Fluvial waters samples were analyzed chemically in terms of major cations and anions, dissolved silica and total dissolved solids during April 2011 to December 2012 (fifteen samplings). The bilogarithmic model application between concentrations and discharge allowed verifying that HCO_3^- , Ca^{2+} and Mg^{2+} were related with diffuse sources, while Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and PO_4^{3-} with punctual pollution sources, along the drainage basins. However, in areas near to Jundiá river headwaters, an initial degradation process of water quality was observed, probably associated to the urban sewage releases without treatment. High chemical species concentrations and their specific fluvial transports confirmed the anthropogenic influence occurring in these basins

Keywords: river Jundiá, river Capivari, chemical species, specific transport.

INTRODUÇÃO

A intensa ocupação urbana e industrial vêm se tornando uma constante preocupação de políticas públicas para mitigar questões de preservação de nascentes e cursos de água e o uso indevido do solo, tem originado processos erosivos influentes no assoreamento de rios, represas, lagos, ocasionando dificuldades na depuração das águas, com conseqüências negativas ao ambiente natural e seres vivos.

A disponibilidade das águas fluviais, próximas aos centros urbanos, se torna restrita para consumo humano devido à degradação desses corpos d' água ocasionada por diversas fontes como o descarte de efluentes urbanos

brutos sem tratamento prévio, rejeitos domésticos, industriais e agrícolas (Mortatti et al., 2012).

A composição química da água de um rio depende das entradas naturais ou antropogênicas que ocorrem durante o seu percurso, desde as nascentes até a foz, fazendo parte de sua carga total dissolvida. Em estudos hidrogeoquímicos, as principais entradas no curso de água podem ocorrer via precipitação, lixiviação, alteração de rochas e poluição, sendo a qualidade química da água um reflexo combinado de muitos processos que ocorrem e fazem parte de um complexo equilíbrio em suas

águas. No estado de São Paulo, alterações significativas têm ocorrido no uso e ocupação do solo, da maioria das bacias de drenagem, principalmente as densamente povoadas e industrializadas, ocasionando alterações nas características hidroquímicas nas águas de seus rios.

As bacias dos rios Jundiaí e Capivari, situadas em áreas de influência da grande São Paulo e de Campinas, possuem importância tanto nos aspectos sócioeconômicos quanto nos aspectos ecológicos da região. Devido ao crescimento desordenado que vem ocorrendo nessas regiões, os rios Jundiaí e Capivari têm recebido forte pressão antrópica e despejam suas águas no rio Tietê, de importância histórica e econômica para São Paulo, o qual atravessa o estado em seus 1050 km.

Estudo pioneiro envolvendo a caracterização hidroquímica fluvial em bacia de grande porte foi realizado por Stallard & Edmond (1981) na bacia Amazônica. Neste estudo, os autores verificaram as contribuições de Na, K, Mg, Ca e Cl via aporte atmosférico (chuva marinha) e K, Ca, S, P e N relacionadas à contribuições terrestres geradas por queimadas, poeiras e emissões biológicas, nas cargas dissolvidas na bacia de drenagem. Em relação à bacia amazônica, destaca-se também o trabalho realizado por Mortatti (1995) na caracterização dos processos erosivos predominantes, mecânicos e químicos em função do transporte de material dissolvido e particulado no canal principal do rio Solimões/Amazonas e principais tributários.

Em bacias de médio porte foi realizado

por Bortoletto et al. (2002) um estudo hidrogeoquímico no rio Corumbataí, SP, cujas águas em estágio avançado de degradação hídrica em determinados trechos, estava recebendo aportes relacionados a dejetos químicos, esgotos domésticos, mineração e desmatamento. Foi verificado que os íons HCO_3^- , Na^+ e SiO_2 foram os mais representativos da carga dissolvida transportada fluvialmente, sendo a presença desses íons associadas a aportes geológicos e antropogênicos. Segundo os autores, apesar da baixa qualidade de suas águas, o rio Corumbataí contribuía para o abastecimento das cidades de Piracicaba e Rio Claro, SP.

A busca por corpos de água próprios para o consumo humano tem se tornado cada vez mais difícil na região sudeste do Brasil, pois comportam uma área de intensa exploração de seus recursos naturais (CETEC, 2000). Estudos hidroquímicos nessas bacias de drenagem (Mortatti et al., 2003, 2006 e 2012; Mortatti & Probst, 2010; Conceição et al., 2011 e 2012; Sardinha et al., 2008 e Fernandes, 2012) têm proporcionado importantes resultados relacionados aos aspectos de transporte de material dissolvido e particulado em seus corpos d'água, que associados a cada espécie química dominante, têm trazido informações à respeito da influência antrópica na região.

O objetivo do presente trabalho foi efetuar a caracterização hidroquímica da carga dissolvida ao longo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari principalmente em função da pressão antrópica que ocorre nessas áreas de drenagem.

ÁREAS DE ESTUDO

A bacia do rio Jundiaí, com cerca de 940.000 habitantes (IBGE, 2013), considerada um região altamente industrializada do estado de São Paulo, se localiza em uma área de 1114 km^2 entre as coordenadas 23°12' e 23°09' de latitude sul, 47°18' e 46°33' de longitude oeste, à uma altitude de 1000 metros referente às suas nascentes na Serra da Pedra Vermelha em Mairiporã, São Paulo. Em seus 123 km de extensão, o rio Jundiaí recebe os efluentes de várias cidades e apresenta problemas de disponibilidade hídrica e tratamento de esgotos. O tipo climático predominante na bacia de

drenagem é de acordo com Köppen Cwa, com inverno seco e verão quente. A precipitação média anual para a última década foi de 1449 mm (Brunini, 2013).

Tendo sua base econômica predominantemente agrícola e baseada nas indústrias sucro-alcooleiras, químicas, curtumes, têxteis e alimentícias de pequeno porte, a bacia do rio Capivari, localizada entre as coordenadas 23°48' e 23°06' de latitude sul, 47°51' e 46°48' de longitude oeste, tem as suas nascentes na Serra do Jardim e ocupa uma área de 1621 km^2 que abrange sete municípios com

cerca de 627.000 habitantes (IBGE, 2013), onde efluentes domésticos são despejados diretamente no rio sem tratamento prévio. O tipo climático predominante é Cwa, de acordo com a classificação de Köppen e a precipitação média anual foi de 1239 mm nos últimos dez anos (Brunini, 2013).

Pode ser observado na Figura 1, a localização das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari, incluindo informações geológicas e as estações de amostragem próximas às áreas das nascentes e foz respectivamente.

Em termos geológicos na bacia do rio Jundiá ocorre o Complexo Amparo (biotita-gnaiss e quartzo) e o Grupo Itararé (arenito,

diactito, ritmito, silito e folhelho), em menor representatividade na área total da bacia de drenagem.

Na bacia do rio Capivari, predomina o Grupo Itararé e em menores proporções: Intrusivas Básicas Tubulares (soleiras diabásicas, dioritos pórfiros, lamprófiros, andesitos, monzonitos pórfiros e traquiandesitos); Formação Irati (silito, argilito e folhelho); Formação Corumbataí (argilito, folhelho, silito e silexisto); Formação Tatuí (depósitos marinhos, silito, arenito e calcários) e Depósitos aluvionares (aluviões em geral, argilas e cascalheiras fluviais em depósitos de calha e/ou terraços).

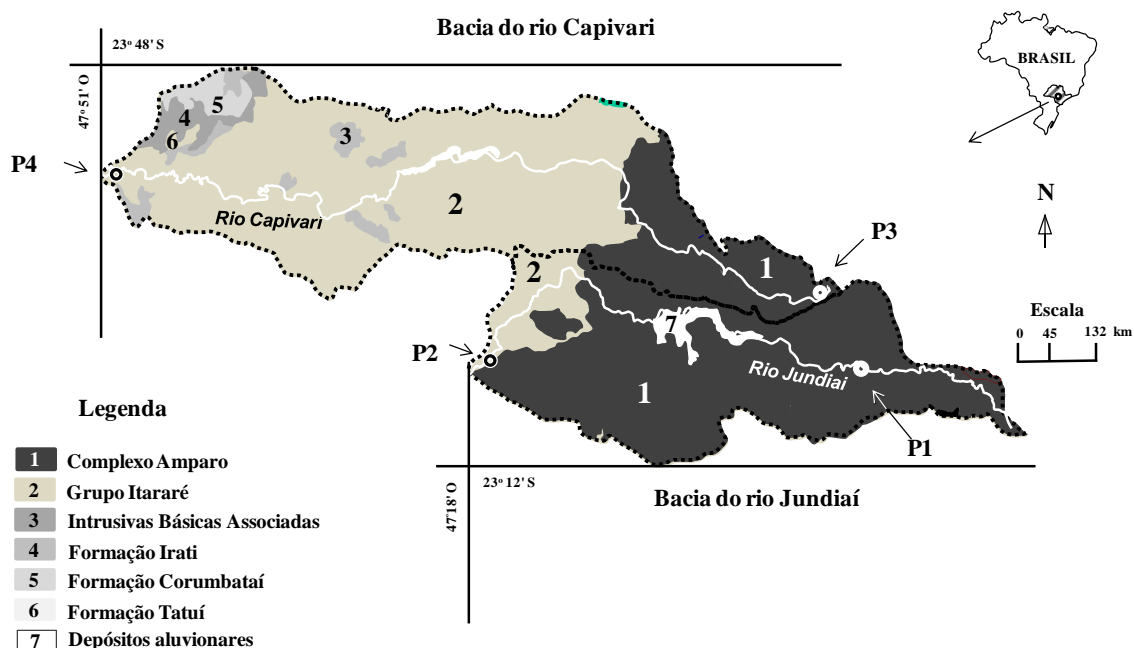


Figura 1. Localização das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari, principais estruturas geológicas e estações de amostragem próximas às respectivas áreas das nascentes (P1 e P3) e foz (P2 e P4). Fonte: adaptado de IPT, 1981.

DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

As amostragens de águas fluviais foram realizadas durante o período de 19/04/2011 a 16/12/2012, em 15 excursões às quatro estações de coleta (P1 a P4). As amostras foram coletadas na margem esquerda, direita e eixo principal da corrente dos rios, a 1,5 m de profundidade, utilizando um amostrador pontual de estágio simples adaptado por Mortatti (1995) para rios de médio porte, sendo compostas posteriormente para maior representatividade de cada estação de

amostragem. Os volumes amostrados foram de 1 L e armazenadas em frascos de polietileno devidamente identificados e mantidos sob refrigeração a 4 °C. Posteriormente alíquotas de 100 mL foram filtradas a vácuo, utilizando-se de filtros de membrana celulose “Millipore acetato” de 0,45 µm e 47 mm de diâmetro, sendo analisadas quimicamente em termos dos cátions Na⁺, K⁺, Mg⁺², Ca⁺² e NH₄⁺, e dos ânions SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻ e PO₄⁻³ por Cromatografia Iônica usando um DIONEX

ICS-90. A alcalinidade representada pelo HCO_3^- , foi determinada pela micro titulação de Gran (Edmond, 1970).

Outra alíquota de 100 mL foi filtrada em filtro de fibra de vidro de 0,3 – 0,6 μm e preservada com 0,1 mL de H_2SO_4 concentrado, para determinação de SiO_2 e outros elementos de interesse ambiental, por espectrometria de emissão ótica com plasma induzido de argônio acoplado indutivamente (ICP-OES). As medidas de vazão instantânea ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) foram realizadas nas respectivas estações de

amostragem, determinando-se a velocidade média (m s^{-1}) do curso d' água com a utilização de um micromolinetete digital e por determinação da área da seção transversal (m^2) do canal.

As concentrações médias das principais espécies químicas dissolvidas presentes dos rios Jundiá e Capivari, próximo às áreas das nascentes e foz foram calculadas por meio da equação 1, que levou em consideração a normalização pelas vazões instantâneas (Probst et al., 1992).

$$C_{\text{MNQ}} = \frac{\sum_{i=1}^{v=15} (Q_i \cdot C_i)}{\sum_{i=1}^{v=15} Q_i} \quad (1)$$

sendo: C_{MNQ} = concentração média normalizada pelas vazões instantâneas (mg L^{-1}); Q_i = vazão instantânea medida em cada

amostragem ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e C_i = concentração das principais espécies químicas dissolvidas (mg L^{-1}).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Concentrações das principais espécies químicas dissolvidas nos rios Jundiá e Capivari

As Tabelas de 1 a 4 apresentam os resultados das concentrações das principais espécies químicas dissolvidas, total de sólidos dissolvidos (TDS) e vazões instantâneas obtidas durante o período de 19/04/2011 a 16/12/2012,

para as águas próximas às nascentes e foz dos rios Jundiá e Capivari, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}) e abundâncias relativas das espécies químicas em relação ao TDS (% X_i). O limite de determinação para a maioria das espécies químicas estudadas foi de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$, exceto para o PO_4^{3-} que foi de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$.

Tabela 1. Concentrações das principais espécies químicas dissolvidas, sílica dissolvida e TDS em mg L^{-1} nas águas próximas às áreas das nascentes do rio Jundiá (P1), períodos de amostragem e vazões instantâneas.

Amostra	Data	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	SiO_2	HCO_3^-	Cl ⁻	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}	TDS	
		(mg L ⁻¹)													
P1-1	19/04/11	2,09	11,92	1,60	5,79	2,98	<LD	14,57	31,89	3,37	4,04	2,45	0,12	78,73	
P1-2	17/05/11	3,50	11,45	1,50	5,85	3,24	<LD	14,97	29,75	3,70	2,09	2,42	0,21	75,18	
P1-3	14/06/11	2,30	11,29	1,54	5,86	2,90	<LD	15,01	27,91	4,13	2,43	2,79	0,05	73,92	
P1-4	19/07/11	1,90	10,74	1,52	6,49	2,88	0,01	15,70	29,00	4,10	2,88	3,46	0,16	76,94	
P1-5	30/08/11	1,30	12,40	1,65	6,02	2,94	<LD	15,81	31,21	3,59	2,50	2,91	<LD	79,03	
P1-6	20/09/11	1,10	13,50	1,69	7,35	2,85	<LD	15,65	31,58	4,47	1,97	3,62	0,34	83,02	
P1-7	01/11/11	1,47	13,65	1,64	5,98	3,00	<LD	14,76	32,03	4,00	2,51	2,91	0,78	81,26	
P1-8	11/12/11	2,58	12,08	1,59	5,19	2,94	<LD	13,52	31,81	3,28	1,96	2,19	0,13	74,70	
P1-9	17/01/12	4,30	10,80	1,44	4,70	3,08	<LD	12,18	28,99	3,12	2,49	1,88	0,36	69,05	
P1-10	18/01/12	13,50	9,99	1,38	2,79	4,42	<LD	9,31	23,80	2,28	1,30	1,32	0,07	56,65	
P1-11	16/02/12	1,60	13,45	1,96	6,97	2,94	0,02	14,62	33,57	4,54	1,70	2,47	<LD	82,24	
P1-12	20/06/12	6,60	9,28	1,41	4,10	3,48	<LD	13,65	26,35	2,97	1,31	1,95	<LD	64,51	
P1-13	28/08/12	1,30	11,30	1,73	6,83	2,79	<LD	16,03	30,06	3,82	1,80	3,96	<LD	78,32	
P1-14	26/11/12	1,45	15,50	1,55	6,43	3,19	<LD	14,96	35,58	3,94	3,07	2,23	0,15	86,60	
P1-15	16/12/12	9,47	9,68	1,39	4,11	3,99	<LD	10,67	26,81	2,55	1,50	1,76	0,05	62,51	
		C_{MNQ} (mg L ⁻¹)	10,77	1,48	4,58	3,59	<LD	12,42	27,78	3,07	1,87	2,06	0,12	67,73	
		% X_i	15,90	2,18	6,77	5,30	-	18,35	41,01	4,53	2,75	3,04	0,17		

C_{MNQ} : concentração média normalizada pela vazão; % X_i = ($C_{\text{MNQ}}/\text{TDS}$) . 100; LQ: limite de determinação.

Tabela 2. Concentrações das principais espécies químicas dissolvidas, sílica dissolvida e TDS em mg L⁻¹ nas águas próximas à área da foz do rio Jundiá (P2), períodos de amostragem e vazões instantâneas.

Amostra	Data	Q (m ³ s ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	TDS
								(mg L ⁻¹)						
P2-1	19/04/11	21,00	19,05	3,35	27,60	6,46	0,42	15,92	80,45	23,95	17,00	8,35	0,12	202,67
P2-2	17/05/11	29,30	19,17	3,10	26,01	6,17	1,17	19,43	66,11	26,08	15,91	5,59	< LD	188,74
P2-3	14/06/11	26,91	18,94	3,16	30,04	6,70	1,21	15,51	66,11	28,28	13,30	8,21	0,10	191,56
P2-4	19/07/11	21,00	19,38	3,44	49,38	7,84	2,87	17,24	98,32	46,54	25,83	6,21	< LD	277,05
P2-5	30/08/11	18,00	20,44	3,52	53,35	9,49	3,66	17,59	95,95	45,54	20,94	5,89	0,90	277,28
P2-6	20/09/11	14,10	22,23	3,99	66,61	10,38	4,66	17,46	124,29	55,34	29,89	7,00	0,94	342,79
P2-7	01/11/11	23,80	19,57	2,85	26,48	7,44	2,07	13,06	68,29	24,68	17,00	5,03	0,07	186,54
P2-8	11/12/11	64,38	15,89	2,40	13,34	5,32	0,13	11,02	37,66	10,43	12,73	4,11	0,07	113,10
P2-9	17/01/12	76,40	16,90	2,65	14,64	4,70	< LD	12,52	36,83	9,38	13,44	4,30	0,16	115,52
P2-10	18/01/12	71,30	18,10	2,66	15,06	4,92	0,02	12,30	38,55	11,15	10,30	5,49	0,24	118,79
P2-11	16/02/12	41,20	21,52	3,58	32,13	7,06	0,43	15,05	62,61	29,69	18,67	9,45	0,09	200,28
P2-12	20/06/12	75,70	17,05	2,65	18,13	5,66	0,89	12,34	46,14	14,63	14,91	5,56	< LD	137,96
P2-13	28/08/12	26,80	20,55	3,83	51,30	9,89	3,41	12,81	100,81	38,04	18,37	7,74	0,46	267,21
P2-14	26/11/12	27,80	21,84	3,82	43,89	8,72	1,54	15,90	85,43	37,58	23,92	6,95	0,25	249,84
P2-15	16/12/12	150,00	11,87	1,71	8,25	4,26	0,22	7,11	27,56	7,34	10,79	2,38	0,10	81,59
C _{MNQ}	(mg L ⁻¹)		17,08	2,71	22,24	5,92	0,84	12,37	52,12	18,72	14,80	5,19	0,16	152,16
% Xi			11,23	1,78	14,62	3,89	0,55	8,13	34,26	12,30	9,73	3,41	0,10	

C_{MNQ}: concentração média normalizada pela vazão; % X_i = (C_{MNQ}/TDS) . 100; LQ: limite de determinação.

Tabela 3. Concentrações das principais espécies químicas dissolvidas, sílica dissolvida e TDS em mg L⁻¹ nas águas próximas às áreas das nascentes do rio Capivari (P3), períodos de amostragem e vazões instantâneas.

Amostra	Data	Q (m ³ s ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	TDS
								(mg L ⁻¹)						
P3-1	19/04/11	0,07	7,12	2,85	3,96	3,33	< LD	12,56	30,38	3,02	0,78	1,62	0,17	65,79
P3-2	17/05/11	0,06	5,06	2,45	3,01	2,16	0,13	12,37	29,00	2,54	0,74	1,29	< LD	58,75
P3-3	14/06/11	0,08	6,18	2,60	3,12	2,66	< LD	11,13	24,63	3,63	0,69	1,39	0,18	56,22
P3-4	19/07/11	0,05	6,27	2,60	3,55	2,36	< LD	12,16	33,00	3,33	0,68	1,50	< LD	65,45
P3-5	30/08/11	0,04	5,78	2,30	4,08	2,97	0,04	12,34	33,90	3,77	0,66	1,64	0,07	67,55
P3-6	20/09/11	0,04	7,17	2,65	3,75	3,16	< LD	11,27	32,45	3,43	0,33	1,34	0,20	65,76
P3-7	01/11/11	0,04	7,82	2,77	4,11	3,69	0,01	12,31	34,83	3,69	0,56	1,81	< LD	71,61
P3-8	11/12/11	0,15	5,10	2,16	2,07	2,10	0,02	8,24	27,79	1,96	1,35	0,62	0,55	51,96
P3-9	17/01/12	0,08	4,89	2,20	2,55	2,06	0,01	10,40	25,48	2,33	0,68	0,74	1,26	52,59
P3-10	18/01/12	0,08	5,83	2,37	2,41	3,02	0,02	10,49	27,69	2,04	0,70	1,01	0,10	55,68
P3-11	16/02/12	0,06	7,72	2,90	3,78	2,35	< LD	9,77	29,30	2,77	0,52	1,05	< LD	60,16
P3-12	20/06/12	0,32	4,16	1,90	2,00	1,80	< LD	7,68	22,48	2,01	1,42	0,61	< LD	44,06
P3-13	28/08/12	0,10	5,24	2,52	3,00	2,13	< LD	11,27	28,12	2,37	0,45	1,39	0,09	56,58
P3-14	26/11/12	0,05	9,22	3,15	3,16	3,16	< LD	12,32	33,00	2,87	0,11	1,17	0,59	68,75
P3-15	16/12/12	0,18	4,53	2,39	2,50	1,72	< LD	9,76	25,00	2,10	0,98	0,56	0,16	49,70
C _{MNQ}	(mg L ⁻¹)		5,47	2,36	2,75	2,29	0,01	10,01	27,03	2,48	0,91	0,97	0,21	54,49
% Xi			10,04	4,33	5,04	4,20	0,02	18,37	49,60	4,55	1,67	1,78	0,39	

C_{MNQ}: concentração média normalizada pela vazão; % X_i = (C_{MNQ}/TDS) . 100; LQ: limite de determinação.

Tabela 4. Concentrações das principais espécies químicas dissolvidas, sílica dissolvida e TDS em mg L⁻¹ nas águas próximas à área da foz do rio Capivari (P4), períodos de amostragem e vazões instantâneas.

Amostra	Data	Q (m ³ s ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	TDS
(mg L ⁻¹)														
P4-1	19/04/11	23,30	25,51	4,74	23,17	6,54	1,06	15,63	79,18	21,11	15,56	5,56	0,08	198,15
P4-2	17/05/11	20,90	21,02	6,14	23,45	6,86	0,04	15,35	58,49	19,38	20,34	8,29	0,25	179,60
P4-3	14/06/11	32,40	21,25	4,99	16,51	6,39	0,01	12,58	43,00	15,27	20,81	6,71	0,09	147,61
P4-4	19/07/11	14,04	25,76	5,84	36,42	8,74	2,62	17,74	79,71	28,78	26,89	9,15	0,08	241,72
P4-5	30/08/11	15,99	31,91	5,55	34,07	8,90	2,19	16,64	89,41	31,45	25,15	7,20	0,14	252,61
P4-6	20/09/11	10,36	37,43	6,21	51,54	10,23	2,13	17,09	111,92	50,35	26,38	10,76	<LD	324,04
P4-7	01/11/11	45,30	24,66	5,03	22,52	8,00	1,51	12,67	65,43	24,31	14,29	4,79	0,24	183,45
P4-8	11/12/11	117,83	14,12	4,03	9,78	6,22	0,03	10,35	30,76	8,69	11,75	3,33	<LD	99,06
P4-9	17/01/12	105,10	15,53	4,17	10,79	5,24	<LD	12,63	38,78	10,30	13,48	4,77	0,21	115,90
P4-10	18/01/12	167,20	11,55	2,60	6,21	5,27	<LD	10,37	29,10	5,82	11,42	3,30	0,31	85,95
P4-11	16/02/12	131,48	12,37	3,42	7,39	4,99	<LD	7,81	29,07	7,29	12,88	2,53	0,08	87,83
P4-12	20/06/12	141,50	12,42	3,80	10,00	4,87	<LD	13,71	43,77	10,99	12,21	3,67	<LD	115,45
P4-13	28/08/12	16,10	23,92	5,63	29,69	6,30	2,11	17,19	85,77	26,21	19,90	11,08	<LD	227,81
P4-14	26/11/12	18,80	26,93	4,51	20,11	6,02	0,38	13,37	72,36	21,15	21,29	9,84	<LD	195,96
P4-15	16/12/12	280,00	7,54	2,35	5,33	5,64	0,05	9,17	22,49	8,62	10,38	3,33	<LD	74,90
C _{MNQ}		(mg L ⁻¹)	13,78	3,54	10,73	5,74	0,22	11,14	37,49	11,18	13,09	4,11	0,10	111,10
% Xi			12,40	3,18	9,66	5,16	0,19	10,03	33,75	10,06	11,78	3,70	0,09	

C_{MNQ}: concentração média normalizada pela vazão; % X_i = (C_{MNQ}/TDS) · 100; LQ: limite de determinação.

As concentrações das principais espécies químicas dissolvidas, nas águas próximas às áreas das nascentes do rio Jundiá (estação de amostragem P1), durante o período estudado, podem ser observados na Tabela 1.

Foi possível verificar que HCO₃⁻, SiO₂ e Ca²⁺ foram as espécies químicas dominantes, sendo as concentrações médias normalizadas pelas vazões de 27,78, 12,42 e 10,77 mg L⁻¹, respectivamente. As três espécies químicas juntas representaram cerca de 75 % do TDS, o qual apresentou um valor médio de 67,73 mg L⁻¹, enquanto as demais espécies químicas Na⁺, K⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Mg²⁺ e PO₄³⁻ se mostraram com menores concentrações, respectivamente de 4,58; 3,07; 2,06; 3,59; 1,87; 1,48 e 0,12 em mg L⁻¹.

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises das principais espécies químicas

dissolvidas nas águas próximas à foz do rio Jundiá (P2), durante o período estudado, onde podem ser observadas as espécies químicas predominantes HCO₃⁻, Na⁺ e Cl⁻ com concentrações de 52,12; 22,24 e 18,72 mg L⁻¹ respectivamente, que representaram cerca de 61 % em relação ao TDS, cujo valor médio foi de 152,16 mg L⁻¹. As demais espécies químicas dissolvidas Ca²⁺ (17,08 mg L⁻¹), SO₄²⁻ (14,80 mg L⁻¹), SiO₂ (12,37 mg L⁻¹), K⁺ (5,92 mg L⁻¹), NO₃⁻ (5,19 mg L⁻¹), Mg²⁺ (2,71 mg L⁻¹), NH₄⁺ (0,84 mg L⁻¹) e PO₄³⁻ (0,16 mg L⁻¹) completam a análise química.

As distribuições percentuais das principais espécies químicas fluviais dissolvidas, em relação ao TDS, para as áreas próximas às nascentes e foz do rio Jundiá, calculada de acordo com a Equação 2 (Peray, 1998), podem ser observadas na Figura 2.

$$X_i(\%) = \frac{C_{MNQ}}{TDS} \cdot 100 \quad (2)$$

sendo: X_i (%) = abundância relativa da espécie química de interesse; C_{MNQ} = concentração média normalizada pela respectiva vazão

instantânea (mg L⁻¹) e TDS = total de sólidos dissolvidos (mg L⁻¹).

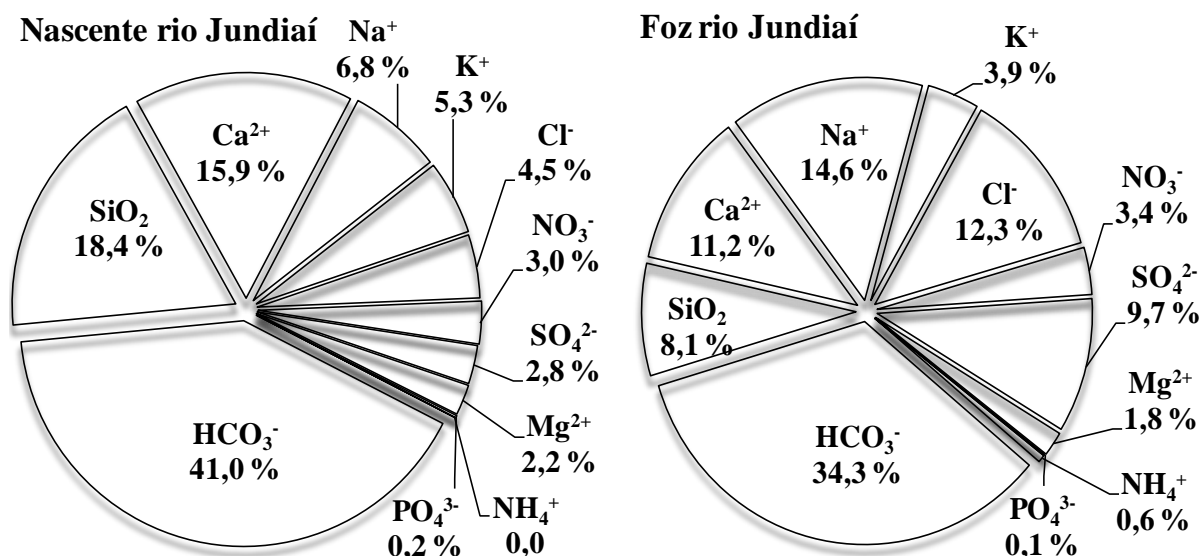


Figura 2. Abundância das principais espécies químicas dissolvidas em relação ao TDS, nas águas próximas às áreas das nascentes e foz do rio Jundiá, durante o período estudado.

Pode ser observado uma maior participação de HCO₃⁻ em relação ao TDS tanto nas áreas próximas às nascentes quanto à foz do rio Jundiá com 41,0 e 34,3 %, respectivamente. Também foi possível verificar a ocorrência de uma contribuição menor para as demais espécies químicas, nas áreas das nascentes SiO₂ > Ca²⁺ > Na⁺ > K⁺ > Cl⁻ > NO₃⁻ > SO₄²⁻ > Mg²⁺ > PO₄³⁻ > NH₄⁺, e próximas à foz Na⁺ > Cl⁻ > Ca²⁺ > SO₄²⁻ > SiO₂ > K⁺ > NO₃⁻ > Mg²⁺ > NH₄⁺ > PO₄³⁻.

Na Tabela 3 pode se observado os resultados das concentrações das principais espécies químicas dissolvidas nas águas próximas às nascentes do rio Capivari (P3), durante o período estudado.

Pode ser notado que similarmente ao ocorrido para as nascentes do rio Jundiá, que o HCO₃⁻, SiO₂ e Ca²⁺ foram também as principais espécies químicas dominantes, com concentrações médias normalizadas pelas vazões de 27,03; 10,01 e 5,47 mg L⁻¹, respectivamente, representando 78,0 % das concentrações em relação ao TDS, o qual teve uma concentração média de 54,49 mg L⁻¹. As outras espécies químicas dissolvidas Na⁺, K⁺, Cl⁻, Mg²⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻ e NH₄⁺ se

mostraram menos representativas, sendo as concentrações médias normalizadas pelas vazões de 2,75; 2,29; 2,48; 2,36; 0,97; 0,91; 0,21 e 0,01 mg L⁻¹, respectivamente.

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises químicas das principais espécies químicas dissolvidas, durante o período estudado, determinados nas águas próximas à foz do rio Capivari (P4).

HCO₃⁻, Ca²⁺ e SO₄²⁻ foram as espécies químicas que apresentaram maiores concentrações médias normalizadas pelas vazões com 37,49; 13,78 e 13,09 mg L⁻¹ respectivamente, e representaram cerca de 58 % do percentual de concentração em relação ao TDS, seguidas das espécies químicas Cl⁻, SiO₂, Na⁺, K⁺, NO₃⁻, Mg²⁺, NH₄⁺ e PO₄³⁻ com as respectivas concentrações de 11,18; 11,14; 10,73; 5,74; 4,11; 3,54; 0,22 e 0,10 mg L⁻¹, sendo observada a concentração média do TDS de 111,10 mg L⁻¹.

A Figura 3 ilustra os resultados da abundância percentual das principais espécies químicas da carga fluvial dissolvida em relação ao TDS (Equação 2), nas áreas próximas às nascentes e foz do rio Capivari.

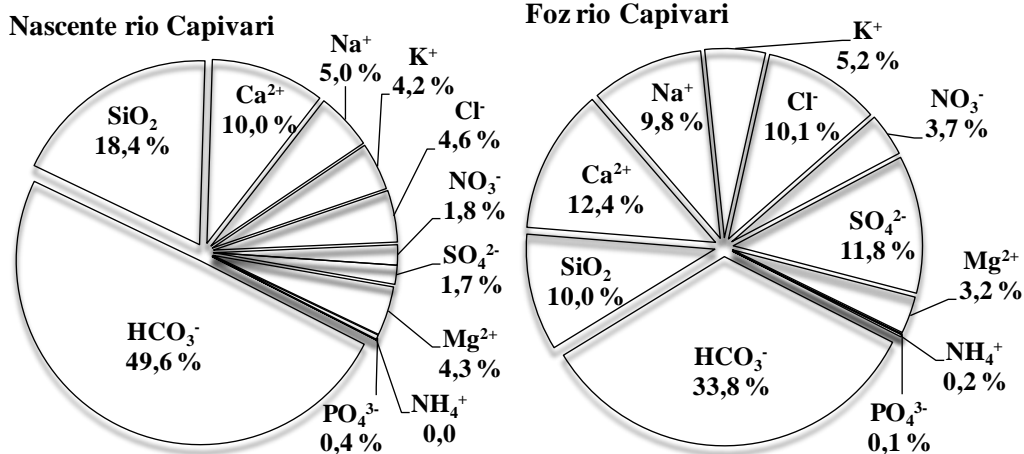


Figura 3. Abundância das principais espécies químicas dissolvidas em relação ao TDS, nas águas próximas às áreas das nascentes e foz do rio Capivari, durante o período estudado.

Também conforme verificado na bacia do rio Jundiáí, o HCO₃⁻ com 49,6 e 33,8 % foi a espécie química com maior contribuição percentual em relação ao TDS nas áreas próximas às nascentes e foz do rio Capivari. As demais espécies químicas dissolvidas, apresentaram concentrações mais baixas, na ordem decrescente, SiO₂ > Ca²⁺ > Na⁺ > Cl⁻ > Mg²⁺ > K⁺ > NO₃⁻ > SO₄²⁻ > PO₄³⁻ > NH₄⁺. Já para as áreas próximas de sua foz foi verificado, na ordem decrescente, Ca²⁺ > SiO₂ >

SO₄²⁻ > Cl⁻ > Na⁺ > K⁺ > NO₃⁻ > Mg²⁺ > NH₄⁺ > PO₄³⁻.

Equilíbrio iônico das amostras fluviais

O estado de equilíbrio iônico das águas dos rios Jundiáí e Capivari foi verificado de acordo com a razão Σ^+ / Σ^- (soma de cátions/soma de ânions, meq L⁻¹, de acordo com Mortatti, 1995), cujos resultados podem ser observados na Figura 4.

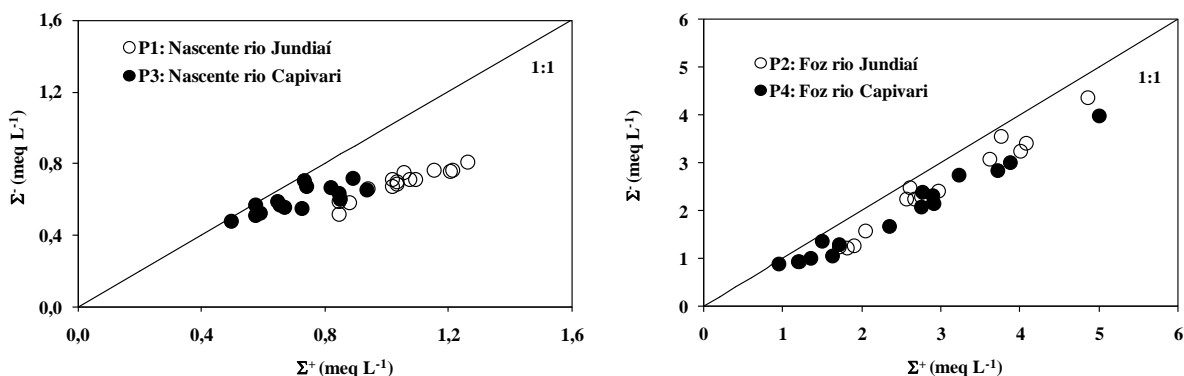


Figura 4. Razão entre a soma de cátions (Σ^+) e ânions (Σ^-) nas amostras de águas próximas às áreas das nascentes e foz dos rios Jundiáí e Capivari no período de 19/04/2011 a 16/12/2011.

Foi possível verificar um excesso de cátions, principalmente junto às áreas das nascentes dos rios Jundiáí e Capivari, situação normal de águas pouco mineralizadas e com significativas concentrações de carbono orgânico dissolvido, não contabilizados nesse cálculo (Tardy et al., 2005). Para a região da foz dessas duas bacias de drenagem, a mesma tendência foi observada, mas bem próxima da razão 1:1. Tais resultados foram similares aos obtidos para as bacias dos rios Corumbataí,

Tietê e Piracicaba por Bortoletto Júnior (1999 e 2004) e na bacia do rio Sorocaba estudada por Fernandes (2012).

Variabilidade temporal das concentrações das principais espécies químicas dissolvidas

A variabilidade temporal das concentrações das principais espécies químicas dissolvidas foi analisada em função da evolução das respectivas vazões, identificando possíveis padrões de diluição.

A variabilidade temporal das concentrações dos principais cátions e ânions com as respectivas vazões instantâneas, para as

áreas próximas às nascentes do rio Jundiáí, podem ser observadas na Figura 5.

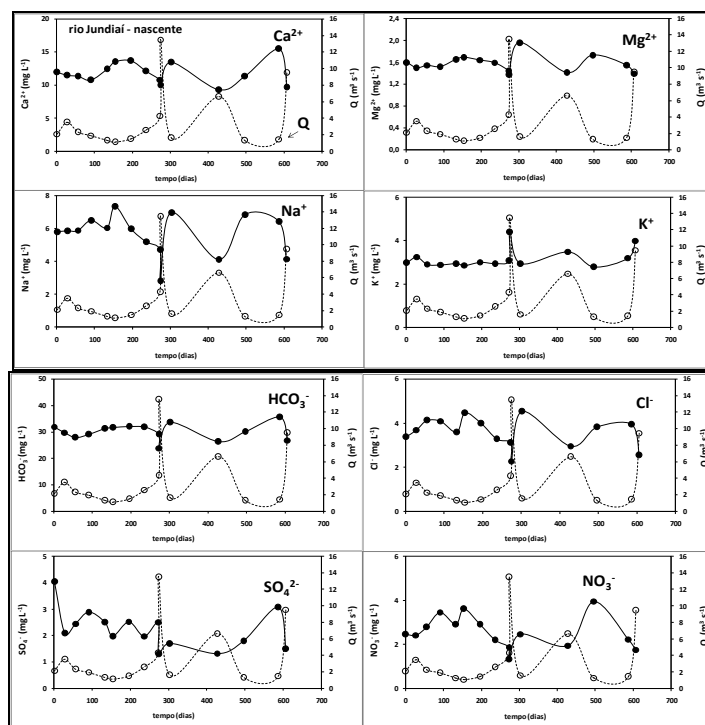


Figura 5. Variabilidade temporal da concentração dos cátions e ânions principais e vazão instantânea, nas águas próximas às nascentes do rio Jundiáí, SP, no período de abril de 2011 a dezembro de 2012.

Foi possível verificar uma diminuição das concentrações dos referidos íons com o aumento das vazões instantâneas, indicando a ocorrência do processo de diluição, onde as concentrações maiores foram verificadas durante o período de estiagem e as menores concentrações durante os períodos de cheia, exceto para as concentrações de K^+ que aumentaram com as respectivas vazões instantâneas, indicando um possível aporte antropópico nas áreas das nascentes do rio Jundiáí, devido principalmente às atividades agrícolas nessa região.

As variabilidades temporais das concentrações dos cátions e ânions principais, próximas à foz do rio Jundiáí, tiveram um comportamento similar às áreas das nascentes do rio Jundiáí, também indicando a ocorrência

de processos de diluição fluvial (Figura 6), mesmo com a observância de concentração mais elevada.

A Figura 7 ilustra a variabilidade temporal das concentrações dos cátions e ânions principais e respectivas vazões instantâneas, para as áreas próximas das nascentes do rio Capivari.

Foi observado que as concentrações dos referidos íons diminuíram com o aumento das vazões instantâneas, indicando também a ocorrência do processo de diluição. A exceção foi o SO_4^{2-} , cujas concentrações aumentaram simultaneamente com as respectivas vazões instantâneas, indicando um possível aporte antropópico nas áreas das nascentes do rio Capivari, devido principalmente a esgoto doméstico.

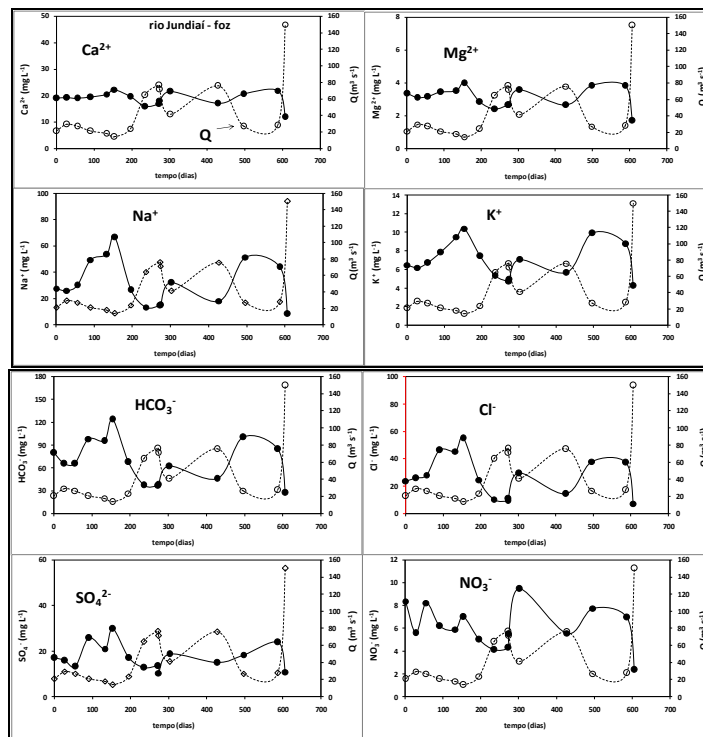


Figura 6. Variabilidade temporal da concentração dos cátions e ânions principais e vazão instantânea, nas águas próximas à foz do rio Jundiá, SP, no período de abril de 2011 a dezembro de 2012.

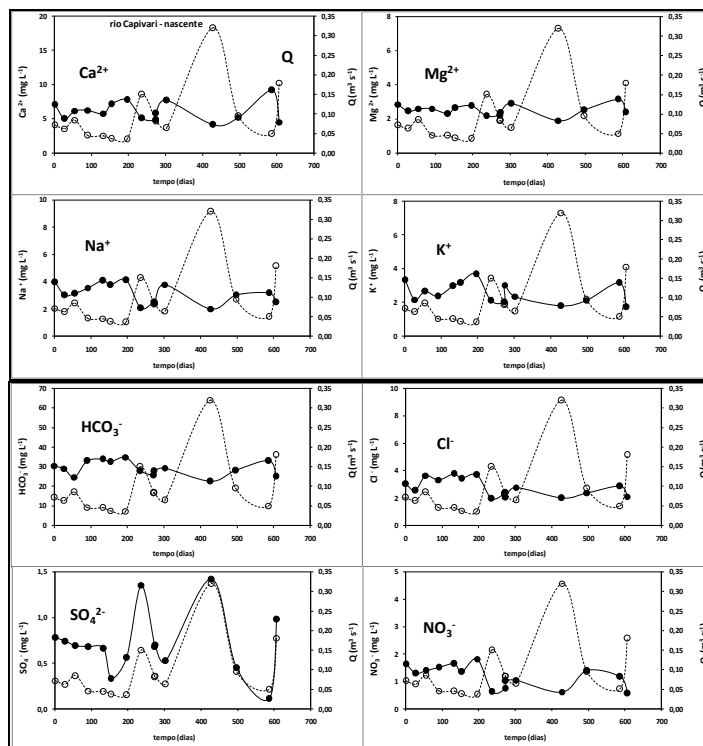


Figura 7. Variabilidade temporal da concentração dos cátions e ânions principais e vazão instantânea, nas águas próximas das nascentes do rio Capivari, SP, no período de abril de 2011 a dezembro de 2012.

Conforme pode ser observado na Figura 8, a variabilidade temporal das concentrações dos principais dos cátions e ânions, e respectivas vazões instantâneas apresentaram um

comportamento semelhante às áreas das nascentes do rio Capivari, (exceto para o SO_4^{2-}), e também na ocorrência do processo de diluição.

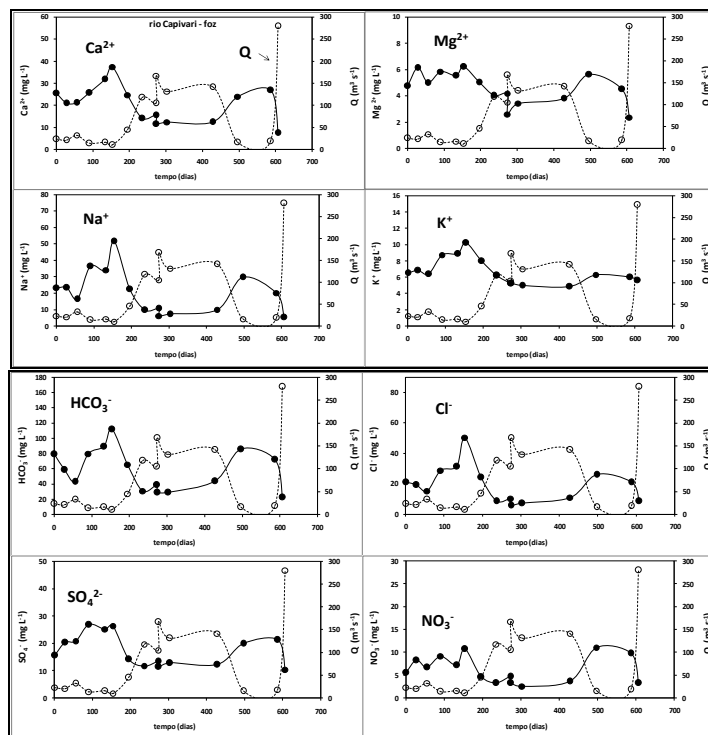


Figura 8. Variabilidade temporal da concentração dos cátions e ânions principais e vazão instantânea, nas águas próximas à foz do rio Capivari, SP, no período de abril de 2011 a dezembro de 2012.

As concentrações de SiO_2 se mostraram menos dispersas em função das vazões dos rios Jundiá e Capivari junto às nascentes, com pouca variabilidade, o que justifica o comportamento de aporte difuso nessas regiões, principalmente associados ao processo de

alteração de rochas nas bacias de drenagem (Figura 9). Junto à foz de ambos os rios, no entanto, um processo de diluição pode ser melhor verificado, em função do próprio manejo dos solos agriculturáveis nessas regiões.

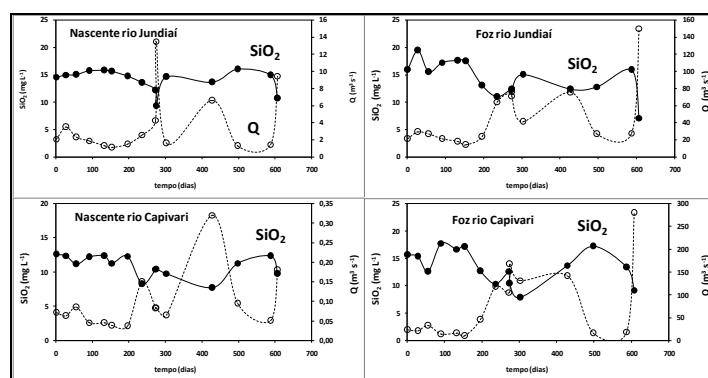


Figura 9. Variabilidade temporal da concentração de SiO_2 e vazão instantânea, nas águas próximas às áreas das nascentes e foz dos rios Jundiá e Capivari, SP, no período de abril de 2011 a dezembro de 2012.

Relacionamento concentração - vazão

O comportamento da concentração em função da vazão para as principais espécies químicas dissolvidas nas bacias dos rios Jundiá e Capivari foi verificado utilizando o modelo de

relacionamento bilogarítmico ou de potência (Equação 3), de acordo com Kattan & Probst (1986), Mortatti & Probst (1998) e Bortoletto Júnior (2004).

$$C = a Q^b \quad (3)$$

sendo: C = concentração da espécie química de interesse (mg L^{-1}); a = constante da função; Q = vazão instantânea ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e b = coeficiente de diluição ($b < 0$) e aporte ($b > 0$).

O ajuste das curvas bilogarítmicas para cada espécie química foi comparado com um

$$C_i = \frac{C_{\text{máx}} \cdot Q_{\text{mín}}}{Q_i} \quad (4)$$

sendo: C_i = concentração da espécie química na curva de diluição teórica (mg L^{-1}); $C_{\text{máx}}$ = concentração máxima observada da espécie química (mg L^{-1}); $Q_{\text{mín}}$ = vazão instantânea mínima ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e Q_i = vazão instantânea para o dia da amostragem ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

As comparações entre os ajustes bilogarítmicos e as curvas teóricas, para as principais espécies químicas determinadas nas águas dos rios Jundiá e Capivari, nascentes e foz, podem ser observadas nas Figuras 10 a 13. A análise dessas figuras permitiu verificar que o distanciamento relativo entre as duas curvas representa possíveis aportes difusos dessas espécies químicas para a carga fluvial, enquanto a aproximação destas se mostra associada aos aportes pontuais. Cabe salientar

modelo de curva de diluição teórica, a qual representa o processo de concentração e diluição pontual infinita a partir de uma concentração inicial (Hall, 1971), de acordo com a Equação 4 (Kattan & Probst, 1986 e Mortatti et al., 2003).

que os aportes difusos mais característicos estão relacionados com os processos de alteração de rochas nas bacias de drenagem e aportes atmosféricos generalizados, enquanto os aportes pontuais estão principalmente associados às atividades antrópicas, como aportes de esgotos domésticos, efluentes industriais e resíduos agrícolas. Este último, dependendo da situação, pode ser considerado difuso.

A Figura 10 apresenta o relacionamento bilogarítmico entre as concentrações dos cátions e ânions principais dissolvidos e as vazões instantâneas, nas águas próximas às áreas das nascentes do rio Jundiá, durante o período estudado, em comparação com as curvas de diluição teórica.

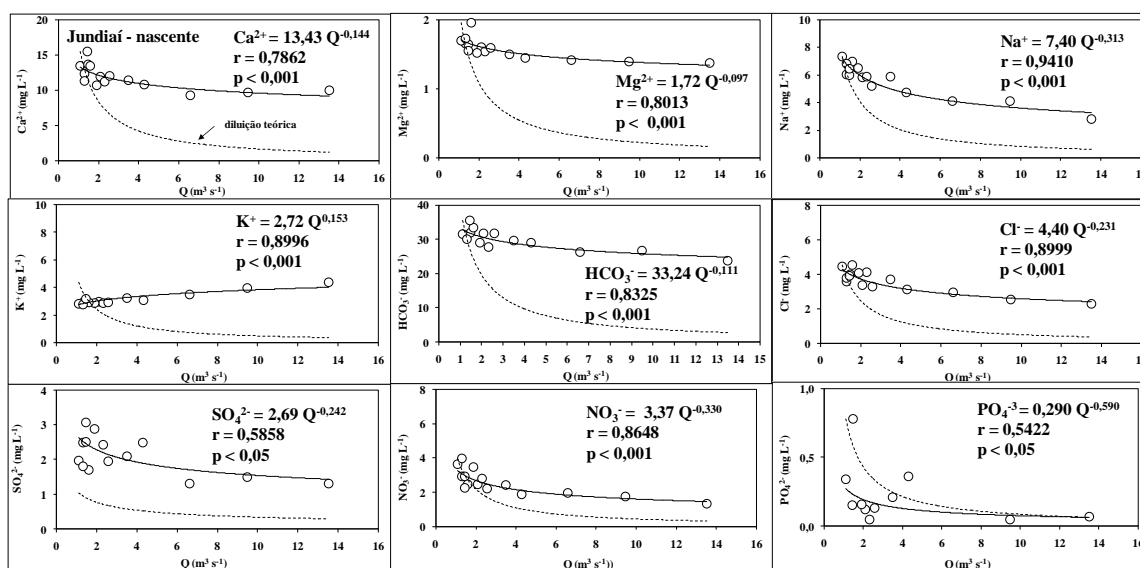


Figura 10. Relacionamento bilogarítmico entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e as vazões instantâneas nas águas próximas às áreas das nascentes do rio Jundiá e as respectivas curvas de diluição teóricas, durante o período de 19/04/2011 a 16/12/2012.

Para a maioria das espécies químicas dissolvidas estudadas os ajustes bilogarítmicos entre as concentrações e as vazões instantâneas

se mostraram significativos, ocorrendo uma diminuição das concentrações com o aumento das vazões, com exceção do K^+ que apresentou,

dentro do mesmo ajuste bilogarítmico um aumento das concentrações com as vazões.

Foi possível observar para Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^- um significativo distanciamento entre as curvas propostas, indicando aportes de origem difusa, principalmente associados aos processos de alteração de rochas predominantes na bacia de drenagem, compostas de silicatos, enquanto para Na^+ e Cl^- uma aproximação entre as curvas foi mais visível, indicando uma tendência para aportes pontuais possivelmente relacionados a efluentes domésticos, embora o Na^+ também tenha características difusas relacionadas a alteração da albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), que ocorre na região. Para os casos de SO_4^{2-} e PO_4^{3-} , os aportes pontuais se mostraram conclusivos principalmente associados aos esgotos domésticos. O NO_3^- se mostrou de origem pontual associado aos esgotos domésticos como também aos resíduos agrícolas da região

estudada.

Os resultados obtidos se mostraram preocupantes com relação ao SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e NO_3^- , muito mais em função do comportamento pontual do que em função das concentrações observadas, que se mostraram baixas próximo às nascentes do rio Jundiá. Cabe salientar a ocorrência de uma forte pressão urbana nessa região.

As concentrações de NH_4^+ nas águas do rio Jundiá próximas às nascentes foram inferiores ao limite de determinação, não sendo, portanto consideradas.

O relacionamento bilogarítmico entre as concentrações dos cátions e ânions principais dissolvidos e as vazões instantâneas, nas águas junto à foz do rio Jundiá, durante o período estudado, em comparação com as curvas de diluição teórica, pode ser observado na Figura 11.

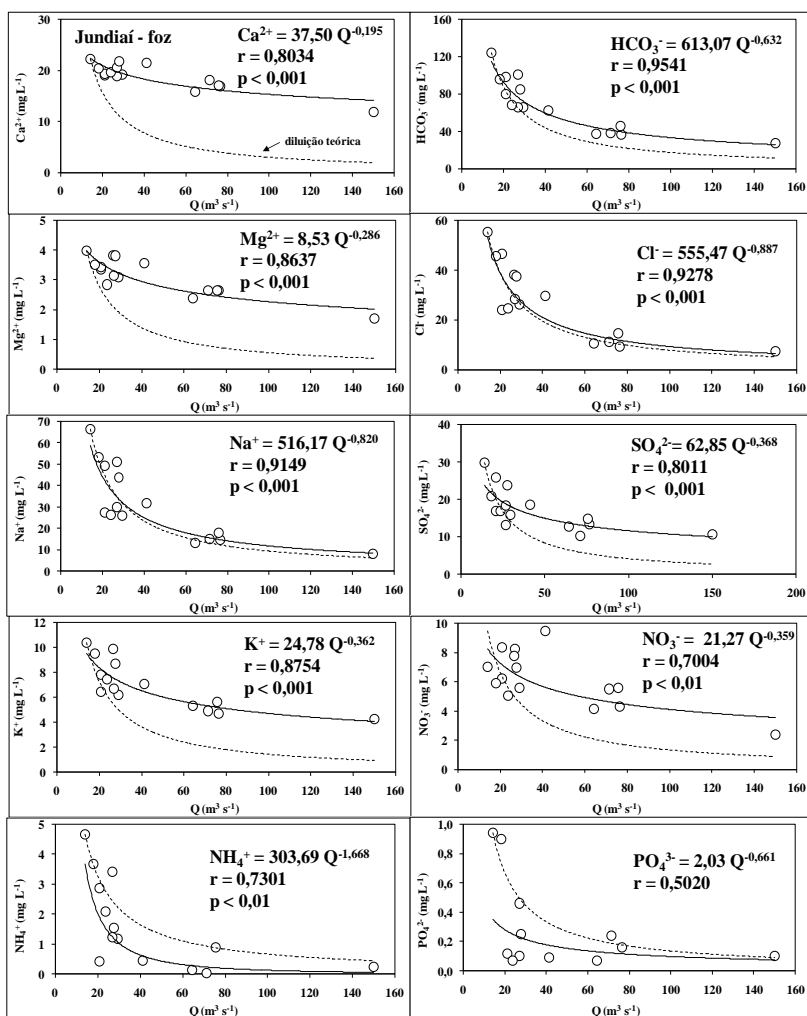


Figura 11. Relacionamento bilogarítmico entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e as vazões instantâneas nas águas junto à foz do rio Jundiá e as respectivas curvas de diluição teóricas, durante o período de 19/04/2011 a 16/12/2012.

Um significativo distanciamento entre as curvas propostas para Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} foi observado junto à foz do rio Jundiáí, indicando aportes de origem difusa, principalmente associados aos processos de alteração de rochas predominantes nessa região, enquanto diferentemente do verificado junto às nascentes, o HCO_3^- se mostrou predominantemente de origem pontual, possivelmente associado a aportes domésticos, em função das atividades antrópicas ao longo da bacia de drenagem. De acordo com Haida et al. (1996), em ambientes poluídos, o HCO_3^- pode ser produzido a partir da oxidação da matéria orgânica via microorganismos intermediada por ânions SO_4^{2-} . Da mesma forma Na^+ , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} e PO_4^{3-} , se mostraram de origem pontual também associados a atividades antrópicas, urbanas, industriais e agrícolas. As concentrações elevadas de algumas espécies químicas, em especial do SO_4^{2-} , são também preocupantes,

uma vez que o mesmo tem sua presença nos detergentes e saponáceos, como agente surfactante, bastante conhecida (Mortatti et al., 2012).

De uma maneira geral e como era de se esperar, as águas junto à foz do rio Jundiáí se mostraram mais impactadas em comparação com as nascentes em função principalmente das atividades antrópicas relacionadas a pressão urbana de uma forma geral, mas conforme citado anteriormente, sinais dessas influências já podem ser observadas à montante na bacia de drenagem.

A Figura 12 ilustra o relacionamento bilogarítmico entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e as vazões instantâneas nas águas próximas às áreas das nascentes do rio Capivari, durante o período estudado, em comparação com as curvas de diluição teórica.

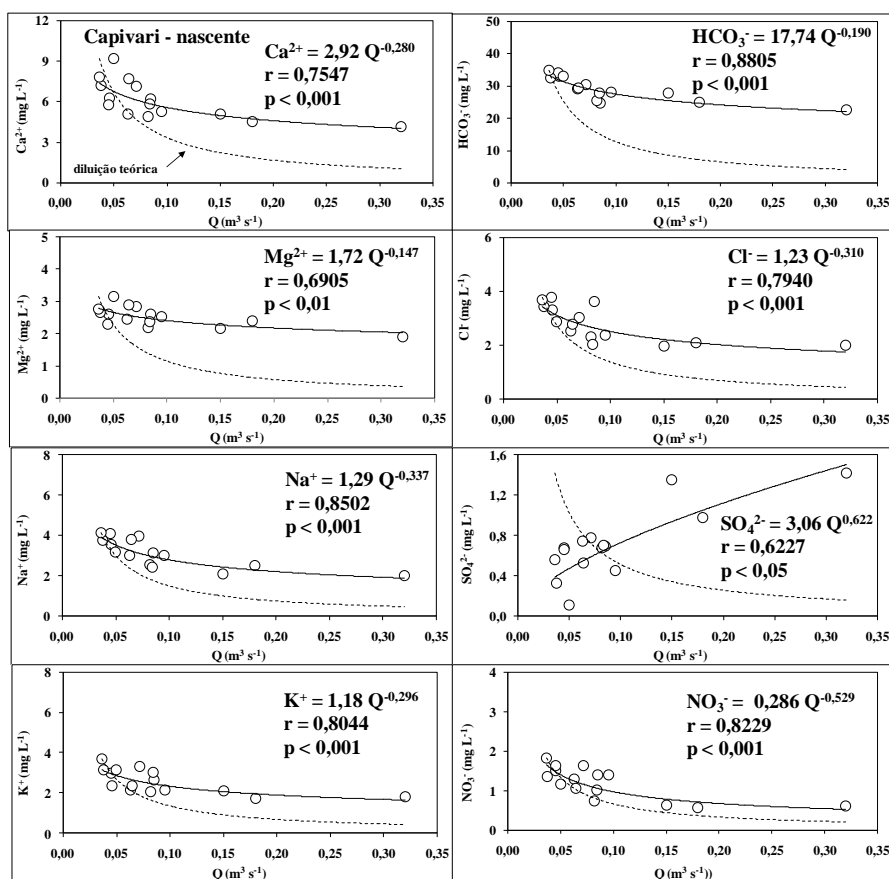


Figura 12. Relacionamento bilogarítmico entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e as vazões instantâneas nas águas próximas às áreas das nascentes do rio Capivari e as respectivas curvas de diluição teóricas, durante o período de 19/04/2011 a 16/12/2012.

Os ajustes bilogarítmicos entre as concentrações e as vazões instantâneas das principais espécies químicas se mostraram

significativos, apresentando menores concentrações com o aumento das vazões, com exceção do SO_4^{2-} que apresentou com uma

distribuição positiva em relação ao ajuste bilogarítmico aplicado. Os distanciamentos observados entre os padrões de ajustes bilogarítmicos e as curvas de diluição teórica para HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} sugerem a ocorrência de aportes difusos possivelmente associados com os aspectos geológicos naturais da região, a qual apresenta migmatitos com predominância de plagioclásios.

As espécies químicas Na^+ , K^+ , Cl^- e NO_3^- apresentaram características de aportes pontuais principalmente em função das atividades hortifrutigranjeiras que ocorrem na região. O aumento de SO_4^{2-} observado para essa região de nascente indica uma possível influência antrópica nessa área, principalmente

relacionada ao aporte de esgotos domésticos sem tratamento prévio. As concentrações de PO_4^{3-} entre 0,6 e 1,2 mg L^{-1} observadas nas águas dessa região de nascente (Tabela 3) confirmam esse possível aporte antrópico, o que já passa a ser preocupante. As concentrações observadas para o NH_4^+ se mostraram em sua maioria abaixo do limite de determinação.

Podem ser observados na Figura 13 o relacionamento bilogarítmico entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e as vazões instantâneas nas águas junto à foz do rio Capivari e as respectivas curvas de diluição teóricas.

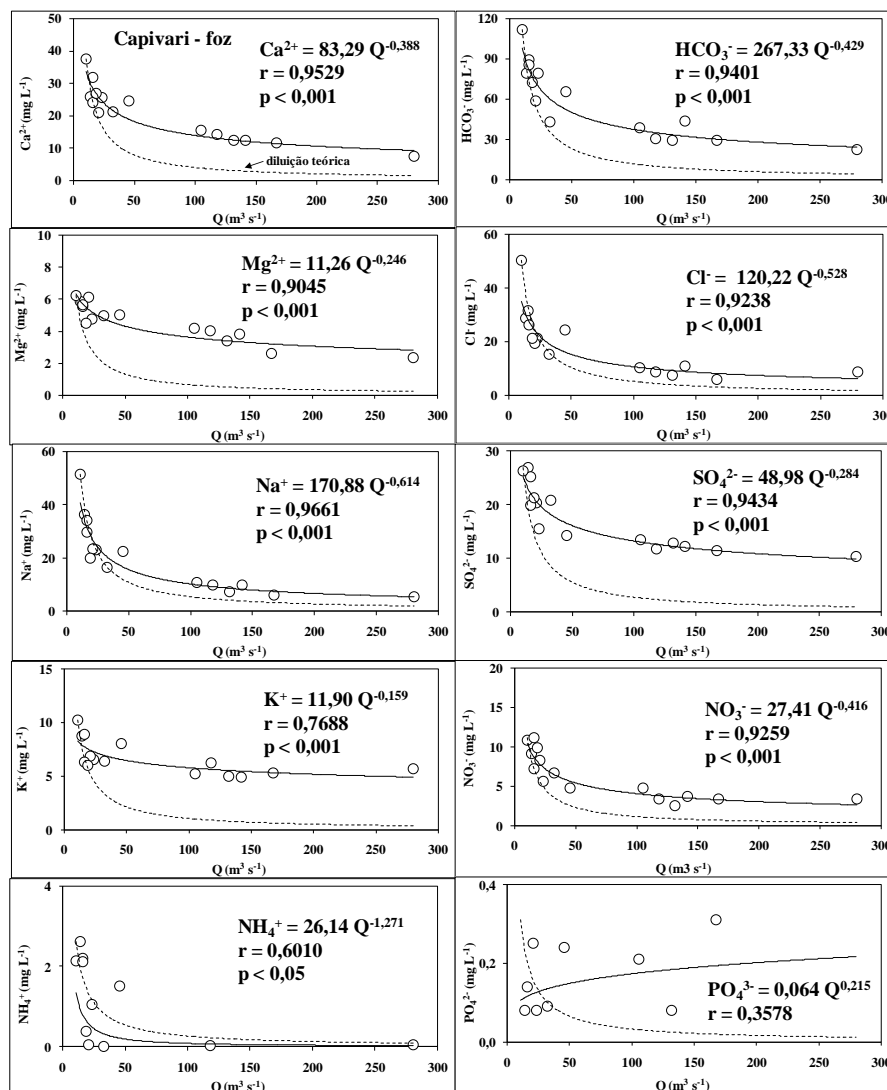


Figura 13. Relacionamento bilogarítmico entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e as vazões instantâneas nas águas junto à foz do rio Capivari e as respectivas curvas de diluição teóricas, durante o período de 19/04/2011 a 16/12/2012.

As comparações entre os ajustes bilogarítmicos e as curvas de diluição teórica

para HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} indicaram a ocorrência de possíveis aportes difusos, embora

o HCO_3^- tenha origem dupla, alteração de rochas e aporte antrópico, as demais espécies químicas se mostraram associadas aos processos de intemperismo e manejo do solo agrícola dessa área, confirmado pela presença de Ca^{2+} e SO_4^{2-} . Aportes pontuais para Na^+ , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- e PO_4^{3-} puderam ser observados junto à foz do rio Capivari, que já citado anteriormente, apresenta uma área agrícola bastante intensa, que controla o aporte desses íons. Embora o PO_4^{3-} apresente baixas

concentrações, a tendência de aumento em função da vazão pode significar aportes antrópicos localizados.

Para ambas as bacias de drenagem, tanto nas nascentes quanto na foz, o SiO_2 se apresentou dentro da mesma faixa de variação de concentração (entre 10 e 20 mg L^{-1}), com comportamento associado aos aportes difusos, regulados principalmente pelas reações de alteração de rochas dessas bacias de drenagem, conforme pode ser observado na Figura 14.

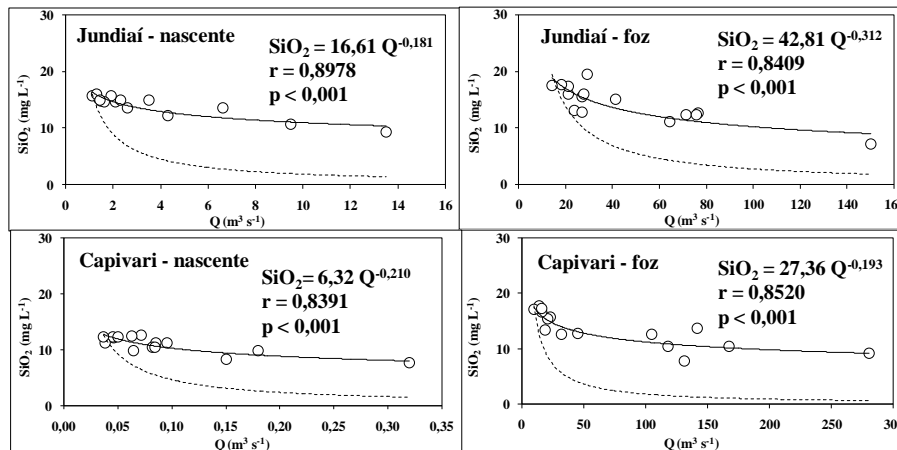


Figura 14. Relacionamento bilogarítmico entre as concentrações de SiO_2 e as vazões instantâneas nas águas próximas às áreas das nascentes e foz dos rios Jundiaí e Capivari e as respectivas curvas de diluição teóricas, durante o período de 19/04/2011 a 16/12/2012.

Transporte fluvial dos solutos

As quantificações dos transportes fluviais totais (T) das principais espécies químicas dissolvidas nas águas próximas às nascentes e foz dos rios Jundiaí e Capivari foram realizadas de acordo com o método determinístico

(Messaitfa, 1997), integrando as respectivas funções de potência, estabelecidas para cada espécie química, com respeito às vazões, em seus intervalos máximos ($Q_{\text{máx}}$) e mínimos ($Q_{\text{mín}}$) conforme a equação de integração 5.

$$T = \left\{ a \int_{Q_{\text{mín}}}^{Q_{\text{máx}}} Q^b dQ - c_{\text{mín}}(Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}) \right\} \cdot f \quad (5)$$

sendo: T = transporte fluvial da espécie química ($T \text{ a}^{-1}$); $Q_{\text{máx}}$ e $Q_{\text{mín}}$ = vazões máxima e mínima instantâneas observadas no período de estudo ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) e f = fator de conversão de

unidades de massa e tempo no cálculo do transporte fluvial, sendo igual a 31,536.

A resolução da Equação 5 pode ser observada na Equação 6:

$$T = a \cdot \left\{ \frac{Q_{\text{máx}}^{b+1} - Q_{\text{mín}}^{b+1}}{b+1} - c_{\text{mín}}(Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}) \right\} \cdot 31,536 \quad (6)$$

Os transportes fluviais específicos (T_e) foram calculados em função das áreas próximas às nascentes e foz do rio Jundiaí com 211 e

1114 km^2 , respectivamente, e para as nascentes e foz do rio Capivari, com 85 e 1621 km^2 respectivamente, conforme pode ser observado

na Equação 7.

$$T_e = T \cdot A^{-1} \quad (7)$$

sendo: A : área das bacias de drenagem (km²).

A Tabela 5 apresenta os resultados dos transportes fluviais totais e específicos das principais espécies químicas dissolvidas, nas

águas próximas às áreas das nascentes e foz do rio Jundiaí, durante o período de 19/04/2011 a 16/12/2012.

Tabela 5. Transportes totais (T) e específicos (T_e) das principais espécies químicas dissolvidas, próximas às áreas das nascentes e foz do rio Jundiaí, durante o período estudado.

Espécie	Nascente do rio Jundiaí		Foz do rio Jundiaí	
	T (t a ⁻¹)	T _e (t km ⁻² a ⁻¹)	T (t a ⁻¹)	T _e (t km ⁻² a ⁻¹)
Ca ²⁺	444,63	2,10	10.086,87	9,05
Mg ²⁺	42,00	0,20	2.268,77	2,04
Na ⁺	386,56	1,83	40.903,84	36,72
K ⁺	333,31	1,58	6.012,55	5,40
NH ₄ ⁺	-	-	-	-
SiO ₂	643,93	3,05	11.102,95	9,97
HCO ₃ ⁻	903,95	4,28	82.258,59	73,84
Cl ⁻	197,94	0,94	36.070,86	32,38
NO ₃ ⁻	179,81	0,85	5.184,56	4,65
SO ₄ ²⁻	124,17	0,59	15.107,91	13,56
PO ₄ ³⁻	17,23	0,08	252,12	0,23
TDS	2.863,69	13,56	223.626,56	200,74

Foi possível verificar que as espécies químicas HCO₃⁻ e SiO₂, associadas principalmente aos processos de alteração de rochas, se apresentaram com maior transporte total (T) nas áreas das nascentes, com valores de 903,95 e 643,93 t a⁻¹ respectivamente, o que representou em um transporte específico (T_e) de 4,28 e 3,05 t km⁻² a⁻¹, enquanto Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺, contribuíram com 2,10; 0,20; 1,83 e 1,58 t km⁻² a⁻¹, respectivamente, para o transporte específico (T_e), nas áreas das nascentes. Os transportes específicos obtidos para Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ e PO₄³⁻ foram de 0,94; 0,85; 0,59 e 0,08 t km⁻² a⁻¹ respectivamente, se mostrando associados aos aportes pontuais domésticos e resíduos agrícolas, caso específico do NO₃⁻.

Os transportes específicos calculados para as principais espécies químicas junto à região de nascentes do rio Jundiaí se mostraram inferiores aos observados para as nascentes dos rios Corumbataí, próximo a Analândia (Conceição & Bonotto, 2002), Sorocaba, próximo a Ibiúna (Fernandes, 2012), como

também para as nascentes do Ribeirão Preto (Conceição et al., 2012).

O total de sólidos dissolvidos transportados próximo às nascentes do rio Jundiaí foi de 2.863,69 t a⁻¹, que representou em termos específicos 13,56 t km⁻² a⁻¹. Tais resultados reforçam a ocorrência da influência antrópica já próxima às áreas de nascentes do rio Jundiaí, o que é de certa forma preocupante.

Para a foz do rio Jundiaí, os transportes específicos mais significativos foram de HCO₃⁻, Na⁺ e Cl⁻, com 73,84, 36,72 e 32,38 t km⁻² a⁻¹, respectivamente. Diferentemente do observado na nascente, tais concentrações se mostraram principalmente associadas às atividades antrópicas ao longo da bacia, face à significativa pressão urbana instalada, fato corroborado pelos aumentos observados dos transportes específicos de SO₄²⁻, PO₄³⁻, NO₃⁻ e K⁺ a jusante da bacia do rio Jundiaí. Em termos de TDS foi possível verificar um aumento da ordem de 14 vezes em relação à nascente, com um total de 200,74 t km⁻² a⁻¹.

São apresentados na Tabela 6 os resultados dos transportes fluviais totais e específicos das principais espécies químicas

dissolvidas, nas águas próximas às áreas das nascentes e foz do rio Capivari, durante o período de 19/04/2011 a 16/12/2012.

Tabela 6. Transportes totais (T) e transportes específicos (T_e) das principais espécies químicas dissolvidas, próximas às áreas das nascentes e foz do rio Capivari, durante o período estudado.

Espécie	Nascente do rio Capivari		Foz do rio Capivari	
	T (t a ⁻¹)	T_e (t km ⁻² a ⁻¹)	T (t a ⁻¹)	T_e (t km ⁻² a ⁻¹)
Ca ²⁺	8,65	0,10	37.484,42	23,13
Mg ²⁺	2,11	0,02	6.285,58	3,88
Na ⁺	5,09	0,06	42.786,78	26,40
K ⁺	3,80	0,04	6.509,34	4,02
NH ₄ ⁺	-	-	781,24	0,48
SiO ₂	12,40	0,15	15.433,08	9,52
HCO ₃ ⁻	30,39	0,36	109.809,70	67,75
Cl ⁻	4,26	0,05	38.397,85	23,69
NO ₃ ⁻	2,52	0,03	11.601,23	7,16
SO ₄ ²⁻	5,63	0,07	26.349,79	16,26
PO ₄ ³⁻	-	-	634,00	0,39
TDS	68,21	0,80	308.173,95	190,12

De maneira geral, os transportes específicos das principais espécies químicas dissolvidas nas áreas das nascentes do rio Capivari foram considerados baixos se comparados com os valores observados para as áreas das nascentes do rio Jundiá, com um TDS de apenas 0,80 t km⁻² a⁻¹, evidenciando certo grau de preservação nessa região. Junto à foz do rio Capivari os transportes específicos mais significativos foram de HCO₃⁻, Na⁺, Cl⁻ e Ca²⁺, com 67,75; 26,40; 23,69 e 23,13 t km⁻² a⁻¹, respectivamente. A presença de elevadas concentrações de Cl⁻, Na⁺, K⁺ e SO₄²⁻ atestam a importância da influência agrícola na carga

dissolvida fluvial. O TDS transportado na foz do rio Capivari foi de 190,12 t km⁻² a⁻¹, similar ao observado na foz do rio Jundiá.

A comparação dos resultados dos transportes específicos (T_e) das principais espécies químicas dissolvidas para a foz dos rios Jundiá e Capivari com alguns importantes rios do Estado de São Paulo, Corumbataí, Tietê, Piracicaba, Sorocaba e Ribeirão Preto não pode ser verificada, em função dos diferentes modelos empregados para os cálculos dos transportes específicos, variando entre instantâneos, estocásticos e determinísticos parciais.

CONCLUSÕES

A caracterização hidrogeoquímica da carga dissolvida das bacias dos rios Jundiá e Capivari permitiu verificar que ambas as bacias de drenagem se encontram antropizadas em função do descarte de efluentes urbanos e atividades industriais e agrícolas que ocorrem nessas regiões.

A partir do relacionamento concentração-vazão foi verificado na carga dissolvida para as áreas próximas às nascentes dos rios Jundiá e Capivari uma associação do HCO₃⁻, Ca²⁺ e Mg²⁺ aos aportes difusos, com origem de

alteração de rochas. Entretanto, nas áreas das nascentes do rio Jundiá, a situação se mostrou preocupante devido a aportes pontuais que indicaram a ocorrência da degradação desses corpos hídricos, a exemplo do SO₄²⁻ e PO₄³⁻ proveniente de esgotos domésticos sem tratamento prévio.

Alterações ambientais devido a atividades antrópicas foi verificado pelo aumento da carga dissolvida na área da foz de ambos os rios, ocorrendo junto à foz do rio Jundiá uma associação do HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ com

dupla origem geológica e antrópica (HCO_3^-), e na foz do rio Capivari a associação do HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} também com dupla origem: processos de intemperismo e antrópica do K^+ (manejo do solo agrícola) e SO_4^{2-} (descarte em efluentes urbanos).

Outros íons como Na^+ , K^+ , Cl^- , NH_4^+ e NO_3^- também indicaram a influência de atividades agrícolas na região da bacia do rio Capivari, enquanto HCO_3^- , Na^+ , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} e PO_4^{3-} de origem pontual foram associados a atividades urbanas, industriais e agrícolas na bacia do rio Jundiáí.

Os transportes fluviais específicos,

calculados pelo método determinístico para as cargas dissolvidas (principais espécies químicas e TDS) próximas às nascentes do rio Jundiáí se mostraram superiores em relação às nascentes do rio Capivari, o que é de certa forma preocupante, principalmente devido ao aumento da influência antrópica na região. Em direção à foz de ambos os rios, os transportes específicos para as principais espécies químicas estudadas, foram similares e bastante elevados, principalmente em função dos aportes pontuais associados aos efluentes domésticos, industriais e agrícolas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro (Proc. 2010/19263-3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORTOLETTO JÚNIOR, M.J. **Balço de alteração e erosão química na bacia hidrográfica do rio Corumbataí**. Piracicaba, 1999. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
2. BORTOLETTO JÚNIOR, M.J. **Características hidrogeoquímicas e processos erosivos mecânicos e químicos nas bacias de drenagem dos rios Tietê e Piracicaba**. Piracicaba, 2004. 202 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2004.
3. BORTOLETTO JÚNIOR, M.J.; MORTATTI, J.; PROBST J.L. Erosão química na bacia hidrográfica do rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 99-111, 2002.
4. BRUNINI, O. **Rede meteorológica de superfície para o Estado de São Paulo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/redemeteorologica/rede.htm. Acessado em: 20 jan 2013.
5. CETEC (CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO). Diagnóstico da situação dos recursos hídricos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí - UGRHI-05. São Paulo: CETEC, 2000.
6. CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Parâmetros hidrológicos e estatísticos para estimativa de vazão nos rios da bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geociências**, 21(1/2): 147-157, 2002.
7. CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S.; NAVARRO, G. R. B. Composição química e deposição atmosférica anual na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Química Nova**, 34(4): 610-616, 2011.
8. CONCEIÇÃO, F.T.; SANTOS, C.M.; SOUZA, A.D.G.; LIMA, V.B.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B. Avaliação do transporte específico de cátions e ânions na bacia do Ribeirão Preto (SP). **Geochimica Brasiliensis**, Ouro Preto, 26 (1), 29-37, 2012.
9. EDMOND, J.M. High precision determination of titration alkalinity and total carbon dioxide content of seawater by potentiometric titration. **Deep-Sea Research. Part I: Oceanographic Research Papers**, Oxford, v. 17, n. 4, p. 737-750, 1970.
10. FERNANDES, A.M. **Características hidrogeoquímicas da bacia de drenagem do rio Sorocaba, SP: processos erosivos mecânicos e químicos**. Piracicaba, 2012. 241p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
11. HAIDA, S.; SNOUSSI, M.; LATOUCHE, C.; PROBST, J.L. Géodynamique actuelle dans le bassin versant de l'oued Tensift (Maroc): érosion et bilan du transfert solide fluvial. **Sciences Géologiques**, v. 49, p. 7-23, 1996.
12. HALL, F.R. Dissolved solids-discharge relationships. 2. Applications to Field data. **Water Resourch**, Washington, DC, v.7, n.3, p. 591-601, 1971.
13. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de dados; o Brasil município por município**. Disponível em: www.ibge.gov.br/cidades. Acessado em 22 jan 2013.
14. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. 1981. v.1, 126 p.
15. KATTAN, Z.; PROBST, J.L. Transport em suspension et em solution par la Moselle em période de crue. In: **ACTES DES JOURNÉES D'HYDROLOGIE**. "Crues et inondations" Strasbourg, 1986. p. 143-167.
16. MESSAITFA, A. **Transfert d'eau, des sédiments et de polluants associés sur le bassin de l'Ille: cas de mercure**. Strasbourg, 1997. 209 f. Thèse (Doctor) - Centre de Géochimie de la Surface, Université Louis Pasteur.
17. MORTATTI, J. **Erosão na Amazônia: processos, modelos e balanço**. Piracicaba, 1995. 155 f. Tese (Livro-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
18. MORTATTI, J.; OLIVEIRA, H.; BIBIAN, J. P. R.; LOPES, R. A.; BONASSI, J. A.; PROBST, J. L. Origem do carbono inorgânico dissolvido no rio Tietê (São Paulo): Reações de equilíbrio e variabilidade temporal. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 20, p. 267-277, 2006.
19. MORTATTI, J.; PROBST J.L. Hidrogeoquímica de bacias de drenagem. Piracicaba: CPG/CENA-USP, 1998. 235 p. (Série Didática, 1).
20. MORTATTI, J.; PROBST J.L. Characteristics of heavy metals and their evaluation in suspended sediments from

- Piracicaba river basin (São Paulo, Brazil). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 40, p. 375-379, 2010.
21. MORTATTI, J.; PROBST J.L.; BORTOLETTO JUNIOR, M.J. Piracicaba river basin: mechanical and chemical erosions. **Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 75-81, 2003.
22. MORTATTI, J.; VENDRAMINI, D.; OLIVEIRA, H. Avaliação da poluição doméstica fluvial na zona urbana do município de Piracicaba (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, 7 (2): 110-119, 2012.
23. PERAY, N. **Composition chimique des eaux e l'III à Strasbourg: variations saisonnières des flux de matières et bilan de l'erosion chimique**. Strasbourg, 1998. ULP – Centre de Géochimie de la Surface.
24. PROBST, J.L.; NKOUNKOU, R.R.; KREMPP, G.; BRICQUET, J.P.; THIÉBAUX, J.P.; OLIVRY, J.C. Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangi rivers during the period 1987-1989. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 135, p. 237-257, 1992.
25. SARDINHA, D. S.; CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M.; SALLES, M. H. D.; ANGELUCCI, V. A. Avaliação de balanço anual de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, 38(4):730-740, 2008.
26. STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Precipitation chemistry and marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. **Journal of Geophysical Research. Serie C**, Washington, v. 86, p. 9844-9858, 1981.
27. TARDY, Y.; BUSTILLO, V ; ROQUIN, C ; MORTATTI, J.; VICTORIA, R L . The Amazon. Biogeochemistry applied to river basin management. Part I. Hydroclimatology, hydrograph separation, mass transfer balances, stable isotopes, and modelling. **Applied Geochemistry**, Estados Unidos, v. 20, p. 1746-1829, 2005.

*Manuscrito recebido em: 29 de Agosto de 2013
Revisado e Aceito em: 12 de Fevereiro de 2014*