

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

GRAZIELA MENEGHEL DE MORAES

**Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios
Capivari e Jundiaí, SP: aspectos das influências antrópicas**

**Piracicaba
2015**

GRAZIELA MENEGHEL DE MORAES

**Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios
Capivari e Jundiaí, SP: aspectos das influências antrópicas**

MORAES

**Tese apresentada ao Centro de Energia
Nuclear na Agricultura da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de Doutor
em Ciências**

**Área de Concentração: Química na
Agricultura e Ambiente**

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Mortatti

**Piracicaba
2015**

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Moraes, Graziela Meneghel de

Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios Capivari e Jundiaí, SP: aspectos das influências antrópicas / Graziela Meneghel de Moraes; orientador Jefferson Mortatti. - - Piracicaba, 2015.

216 p.: il.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Água fluvial 2. Bacia hidrográfica 3. Erosão 4. Geoquímica ambiental 5. Isótopos estáveis 6. Monitoramento ambiental 7. Química ambiental I. Título

CDU 556.51 : 550.4

*A minha família,
Rosa Maria Meneghel de Moraes,
Antonio Marcos Pinto de Moraes e
João Marcos Meneghel de Moraes
com muito amor e gratidão
pelo grande incentivo*

Dedico

*A meu marido André Vaz dos Santos
grande companheiro e amigo,
pelo amor, respeito e incentivo*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jefferson Mortatti, orientador, pela ótima convivência, paciência, amizade, dedicação e ensinamentos para minha formação.

Ao Prof. Dr. Helder de Oliveira, pela amizade, dedicação e colaboração na realização dos trabalhos.

Aos Professores Dr. José Albertino Bendassoli e Paulo César Ocheuze Trivelin, pelo apoio a mim despendido na forma de sugestões e condições de trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Hidrogeoquímica, Karine Baldo de Gênova Campos, Alexandre Martins Fernandes, Diego Vendramini pelo ótimo convívio e apoio nos trabalhos científicos e acadêmicos.

Aos amigos e funcionários, Ana Paula Moraes de Moraes, Miguel Luiz Baldessin José Aurélio Bonassi, Hugo Henrique Batagello, Magda Bartolamei, Bento Moraes, pelo convívio e amizade.

À Marília Ribeiro Garcia Henyei, pela normatização das referências bibliográficas e as funcionárias de circulação e empréstimo pela dedicação no atendimento.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), principalmente seu corpo docente pelo ensino de qualidade, que possibilitou a realização do curso de doutorado.

Aos funcionários da CPG pelo apoio e ótimo trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa e auxílios concedidos para a realização desse trabalho.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

MORAES, G. M. **Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos Rios Capivari e Jundiaí, SP: aspectos das influências antrópicas.** 2015. 216 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

Os rios Jundiaí e Capivari são importantes efluentes do rio Tietê, e estão localizados em regiões que possuem municípios de grande potencial sócio/econômico, para o estado de São Paulo, por esse motivo estão sob constantes pressões antrópicas causando deteriorização de suas águas, que são usadas para abastecimento humano. O presente estudo teve por objetivo realizar o levantamento das características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, buscando caracterizar os aspectos das influências antrópicas nas cargas dissolvidas e particuladas transportadas fluvialmente nas referidas bacias de drenagem. Para tal foram determinadas quatro estações de amostragem, JUN0 e JUN1 para o rio Jundiaí, e CAP0 e CAP1 para o rio Capivari, sendo coletadas amostras fluviais no período de abril de 2011 a dezembro de 2012, distribuídas em 15 excursões. Os estudos das dinâmicas das cargas fluviais particuladas, representadas pelos sedimentos finos em suspensão (FSS), evidenciaram para ambos os rios, a influência da sazonalidade, com significativo transporte de sedimentos, principalmente nos períodos chuvosos. O rio Jundiaí apresentou uma erosão média e o rio Capivari uma erosão considerada alta. As relações estabelecidas entre os COP (carbono orgânico particulado), NOP (nitrogênio orgânico particulado), COD (carbono orgânico dissolvido), NOD (nitrogênio orgânico dissolvido) e respectivas assinaturas isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) para os rios Jundiaí e Capivari, revelaram que a origem da matéria orgânica esteve associada ao material erosivo (solos da bacia) nos períodos chuvosos e aos efluentes domésticos no período de estiagem. A caracterização hidroquímica fluvial revelou que para a maioria das espécies químicas presentes na carga dissolvida dos rios Jundiaí e Capivari sofreram os processos de diluição em consonância com o aumento da vazão. Quando comparadas às respectivas curvas de diluição teórica, as curvas dos íons Na^+ e Cl^- , se mostraram oriundas de uma única fonte ou origem de entrada nas bacias, nas regiões de foz, relativas ao lançamento de esgotos domésticos. O modelo geoquímico conceitual simples de alteração química de rochas permitiu de modo satisfatório avaliar a alteração de rochas dos rios Jundiaí e Capivari, evidenciando a contribuição dos aportes antrópicos na química das águas dos rios estudados.

Palavras-chave: Hidroquímica. Erosão mecânica. Origem da matéria orgânica. Erosão química.

ABSTRACT

MORAES, G. M. **Hydrogeochemical characteristics of the Capivari and Jundiaí rivers basins drainage, SP**: aspects of anthropogenic influences. 2015. 216 p. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

The Jundiaí and Capivari River are important Tietê river tributaries, and are located in regions with potential social/economic cities of São Paulo state, for this reason they are on influence of countless water impacts that is used for human supply. This study has the main objective survey the hidrogeochemical characteristic of the Capivari and Jundiaí rivers basins drainage, looking for describing anthropogenic influence in dissolved and suspended sediment transported in the basins. Four local were determined, JUN0 and JUN1 for Jundiaí river, and CAP0 and CAP1 for Capivari river where fluvial water samples were collected from April of 2011 to December of 2012, divided in 15 sampling. The suspended sediments dynamics studies, represented by the fine sediments in suspension (FSS), proved for both rivers the seasonality influence with expressive suspended sediment transport mainly during rainy periods. Jundiaí river showed medium erosion and Capivari river a considered high erosion. The relation established among COP (particulate organic carbon), NOP (particulate organic nitrogen), COD (dissolved organic carbon), NOD (dissolved organic nitrogen) and isotopic signature for Jundiaí and Capivari rivers indicated that the organic matter has been associated with erosive materials (basins soils) during rainy periods and sewage during dry season. The fluvial hydrochemical characterization appeared that for the majority of chemical species presents are dissolved in the Jundiaí and Capivari rivers where the dilution happened according to the water flow increase. Comparing with corresponding theoretical dilution curves, both Na and Cl ions curves have shown to be from a single or input source in the mount basins for the sewage release. The geochemical simple model of chemical of rocks allowed consider Jundiaí and Capivari rocks alteration showing the anthropic rivers water influence.

Keywords: Hydrochemistry. Mechanical erosion. Source of organic matter. Chemical erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura	Legenda	Pg.
1.	Localização das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari com os principais rios de sua rede de drenagem e as estações de amostragem fluvial: JUN0-Nascente do rio Jundiaí; JUN1-Foz do rio Jundiaí; CAP0-Nascente do rio Capivari e CAP1-Foz do rio Capivari.	44
2.	Estação de amostragem JUN0 (Nascente do Rio Jundiaí) e uso e ocupação do solo no entorno (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso julho 2012).....	45
3.	Rio Jundiaí na estação de amostragem JUN0 (Nascente do Rio Jundiaí) período de seca.....	46
4.	Rio Jundiaí na estação de amostragem JUN0 (Região próxima a nascente do Rio Jundiaí) período de cheia.....	46
5.	Estação de amostragem JUN1 (Foz do Rio Jundiaí) e uso e ocupação do solo no entorno (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso julho 2012).....	47
6.	Rio Jundiaí na estação de amostragem JUN1 (Foz do Rio Jundiaí) período de seca.....	48
7.	Rio Jundiaí na estação de amostragem JUN1 (Foz do Rio Jundiaí) período de cheia.....	48
8.	Estação de amostragem CAP0 (Nascente do Rio Capivari) e uso e ocupação do solo no entorno (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso julho 2012).....	49
9.	Represa construída para represamento das águas da nascente, próxima à estação de amostragem CAP0 (A e B); Estação de amostragem CAP0-Nascente do Rio Capivari (C) e placa de identificação colocada na nascente do Rio Capivari (D).....	49
10.	Estação de amostragem CAP1 (Foz do Rio Capivari) e uso e ocupação do solo no entorno (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso julho 2012).....	50
11.	Rio Capivari na estação de amostragem CAP1 (Foz do Rio Capivari) período de seca.....	51
12.	Rio Capivari na Estação de amostragem CAP1 (Foz do Rio Capivari) período de cheia.....	51
13.	Mapa geológico das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, com suas unidades litoestratigráficas e sua rede de drenagem (modificado a partir de PERROTA et al. 2005).....	52
14.	Principais aspectos geomorfológicos das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (Modificado a partir de CBH-PCJ, 1999).....	55
15.	Mapa de Susceptibilidade à Erosão para as bacias de drenagem dos Rios Jundiaí e Capivari (Modificado a partir de PCJ, 2012).....	57
16.	Mapa de uso e ocupação do solo das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari e os principais municípios dessas bacias (Modificado CBH-PCJ, 2007,2013; IRRIGART, 2004).....	58

17. Mapa Pedológico das bacias de drenagem dos rios Jundiáí e Capivari, evidenciando as principais classes de solos das bacias estudadas (modificado a partir de OLIVEIRA et al., 1999).....	60
18. Médias mensais de precipitação (a: rio Capivari, b: rio Jundiáí) e de vazão (c: rio Capivari, d: rio Jundiáí), nas bacias dos rios Capivari e Jundiáí no período de 1997 a 2006.....	63
19. Sistema de amostrador, composto por uma carretilha fixado à ponte (A) e amostrador pontual de estágio simples utilizado para amostragens de águas fluviais (B).....	67
20. Coleta de amostra fluvial feita de forma direta (sem auxílio do amostrador pontual) na estação de amostragem CAP0 (Nascente do rio Capivari).....	67
21. Coleta de 30 L de amostras águas fluviais. Coleta da amostra (A e B), transferência para a bombona (C) e coleta de 30 L de amostra Bruta de forma direta (sem auxílio do amostrador pontual) na estação de amostragem CAP0 (Nascente do rio Capivari)(D).....	68
22. Molinete digital utilizado para medir a velocidade média ($m s^{-1}$) do fluxo de água pela seção.....	69
23. Batimetria para determinação da área úmida da seção transversal do canal dos rios Jundiáí e Capivari. Uso da trena para medir a largura do canal (A). Marcação feita metro a metro, com tinta (B). Medida de profundidade sendo feita com o lastro (C). Exemplo do desenho da batimetria feita no campo (D).....	70
24. Seção parcialmente cheia de um cilindro reto, para os perímetros $Y < d_0/2$ (a) e $Y > d_0/2$ (b), respectivamente.....	71
25. Determinação densidade dos solos: Abertura de uma vala no solo (A), medida da profundidade de coleta – 10 cm (B), coleta do solo utilizando o cilindro metálico (C), amostra retirada e armazenada dentro do cilindro (D).....	72
26. Sistema para análise da alcalinidade total (HCO_3^-) (A), procedimento laboratorial utilizando o método de micro-titulação de Gran.....	74
27. Evaporador rotativo (A) e Espectrômetro de Massas Acoplado com Cromatografia Gasosa (IMS-GC) modelo ANCA-GSL Sercon Hidra 20-20 (B).....	75
28. Gravimetria: Filtro sendo pré-pesado em balança analítica após secagem em estufa (m_i) (A), sistema de filtração manual a vácuo (B), Secagem em estufa a 60°C (C), filtro mais amostra de FSS no dessecador (D) e pesagem final do filtro mais amostra de FSS (m_f) (E).....	76
29. Decantação dos sedimentos finos em suspensão: Amostras em béqueres decantando (A), retirada da amostra (B), amostras após secagem (C), moagem em amofariz de ágata (D) peneira de nylon utilizada para separação partículas menores que $63\mu m$ (E) e amostras prontas para serem pesadas (F).....	77
30. Determinação densidade dos solos: amostras após secagem em estufa (A) e amostra sendo pesada (B).....	78
31. Aparelhos portáteis para medição dos parâmetros físico-químicos (pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura) utilizados em campo (A), medição em campo(B).....	88

32. Separação dos hidrogramas de cheia do rio Jundiaí para os reservatórios do escoamento total (Q_t) e escoamento subterrâneo (Q_n), no período de 1958 a 2006.....	99
33. Separação dos hidrogramas de cheia do rio Capivari para os reservatórios do escoamento total (Q_t) e escoamento subterrâneo (Q_n), no período de 1958 a 2006.....	100
34. Coeficientes de escoamento rápido (K_r) médios, calculados de acordo com o modelo de dois reservatórios para as bacias dos rios Capivari e Jundiaí, nos períodos de 1958 a 1967, 1968 a 1977 e 1978 a 1987.....	101
35. Variabilidade da precipitação (P em mm) e do escoamento superficial rápido (ΔQ_r) em bases mensais ocorridos na bacia do rio Jundiaí para os períodos de 1958 a 1967, 1968 a 1977, 1978 a 1987, 1988 a 1997 e 1998 a 2006.....	102
36. Variabilidade da precipitação (P em mm) e do escoamento superficial rápido (ΔQ_r) em bases mensais ocorridos na bacia do rio Capivari para os períodos de 1958 a 1967, 1968 a 1977, 1978 a 1987, 1988 a 1997 e 1998 a 2006.....	103
37. Os relacionamentos entre os escoamentos totais (Q_t) e escoamentos superficiais rápidos (Q_r) para as bacias dos rios Capivari e Jundiaí no período de 1958 a 2006.....	104
38. Seção transversal do canal considerada para a estação de amostragem JUN0 (Nascente do rio Jundiaí) e respectiva área (software WinXPRO).....	104
39. Seção transversal do canal considerada para a estação de amostragem JUN1 (Foz do rio Jundiaí) e respectiva área (software WinXPRO).....	105
40. Seção transversal do canal considerada para a estação de amostragem CAP1 (Foz do rio Capivari) e respectiva área (software WinXPRO).....	105
41. Variação da precipitação diária (mm) e das vazões instantâneas ($m^3 s^{-1}$), correspondente as 15 excursões de amostragem durante o período estudado, nas quatro estações de amostragem (JUN0 e JUN1) e (CAP0 e CAP1), dos Jundiaí e Capivari, respectivamente....	107
42. Distribuição temporal de FSS ($mg L^{-1}$) e Vazão ($m^3 s^{-1}$) dos rios Jundiaí e Capivari para o período de abril de 2011 a dezembro de 2012.....	111
43. Variabilidade temporal das concentrações de FSS para as estações de amostragem do rio Jundiaí e Capivari, ao longo do período estudado em função das variações das vazões instantâneas.....	112
44. Relações entre vazão ($m^3 s^{-1}$) e concentração do Sedimento Fino em Suspensão ($mg L^{-1}$) para as estações de amostragem das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, para o período estudado.	115
45. Relações entre vazão ($m^3 s^{-1}$) e FSS ($mg L^{-1}$) para as foz dos rios Jundiaí (JUN1) e Capivari (CAP1), para o período estudado.....	116
46. Relacionamento entre $\delta^{13}COP$ e C/N dos sedimentos finos em suspensão para estação de amostragem junto à foz do rio Piracicaba, e os parâmetros de referência C3, C4 e fitoplancton, incluindo os principais solos das bacias de drenagem dos rios	

Jundiaí e Capivari, Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA), Latossolo Vermelho (LV) e Cambissolo (CX1).....	127
47. Relacionamentos entre COP e NOP dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.....	129
48. Relacionamentos entre COP (mg L^{-1}) e Vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.....	130
49. Relacionamentos entre NOP (mg L^{-1}) e Vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.....	130
50. Relacionamentos entre COP (mg L^{-1}) e $\delta^{13}\text{C}$ (‰) dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.....	131
51. Relacionamentos entre NOP (mg L^{-1}) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.....	132
52. Variabilidade temporal dos ph determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiaí e Capivari, no período estudado.....	136
53. Variabilidade temporal da Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e das vazões ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0, JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1).....	137
54. Variabilidade temporal da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) e das vazões ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0, JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1).....	139
55. Variabilidade da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) em função das vazões instantâneas ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0, JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1) e respectivos modelos de potência.....	140
56. Variabilidade temporal do Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1}) e das vazões ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0, JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1).....	141
57. Variabilidade temporal do oxigênio dissolvido (OD), determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 2, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.....	143
58. Variabilidade do oxigênio dissolvido em função da temperatura para as águas das estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1 e respectivos modelos de potência.....	144
59. Variabilidade temporal do $\text{DBO}_{5,20}$, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 2 e 3) utilizados no CONAMA 357/05.....	146

60. Distribuição percentual de SiO ₂ , ânions e cátions majoritários presentes nas águas fluviais próximas as áreas das nascentes e foz do rio Jundiaí, durante o período estudado.....	151
61. Distribuição percentual de SiO ₂ , ânions e cátions majoritários presentes nas águas fluviais próximas as áreas das nascentes e foz do rio Capivari, durante o período estudado.....	152
62. Balanço de cargas referente às espécies químicas inorgânicas dissolvidas nas águas fluviais dos rios Jundiaí e Capivari, nas estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, para o período de 01/02/2010 a 31/01/2011.....	153
63. Variabilidade temporal das concentrações dos principais ânions dissolvidos e TDS para as águas da nascente do rio Jundiaí (JUN0), ao longo do período estudado, em função das variações das vazões instantâneas.....	155
64. Variabilidade temporal das concentrações dos principais ânions dissolvidos e TDS para as águas da foz do rio Jundiaí (JUN1), ao longo do período estudado, em função das variações das vazões instantâneas.....	156
65. Variabilidade temporal das concentrações dos principais ânions dissolvidos e TDS para as águas da nascente do rio Capivari (CAP0), ao longo do período estudado, em função das variações das vazões instantâneas.....	157
66. Variabilidade temporal das concentrações dos principais ânions dissolvidos e TDS para as águas da foz do rio Capivari (CAP1), ao longo do período estudado, em função das variações das vazões instantâneas.....	158
67. Distribuição espacial das concentrações médias normalizadas pela vazão (C _{MNQ}), para SiO ₂ , cátions e ânions majoritários, presentes nas amostras, calculadas para as estações de amostragem JUN0 e JUN1 (Rio Jundiaí) e CAP0 e CAP1 (Rio Capivari), para o período estudado.....	159
68. Relacionamento entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e vazões instantâneas (regressão de potência), próxima a nascente do rio Jundiaí e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.....	161
69. Relacionamento entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e vazões instantâneas (regressão de potência), próxima a foz do rio Jundiaí e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.....	163
70. Relacionamento entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e vazões instantâneas (regressão de potência), próxima a nascente do rio Capivari e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.....	166
71. Relacionamento entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e vazões instantâneas (regressão de potência), próximas a foz do rio Capivari e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.....	168

72. Relacionamento entre as concentrações de SiO ₂ e as vazões instantâneas nas águas fluviais (regressão de potência), próximas às áreas de nascente e foz dos rios Jundiaí e Capivari e as respectivas curvas de diluições teóricas, durante o período estudado.....	170
73. Diagramas ternários de cátions e ânions dissolvidos nas águas do rio Jundiaí justo a nascente (JUN0) e foz (JUN1), para o período estudado.....	175
74. Diagramas ternários de cátions e ânions dissolvidos nas águas do rio Capivari justo a nascente (CAP0) e foz (CAP1), para o período estudado.....	176
75. Comparação entre os transportes fluviais totais calculados de acordo com os métodos estocástico e determinístico para as principais espécies químicas dissolvidas, por estação de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 – Nascente do Jundiaí e JUN1 – Foz do Jundiaí) e Capivari (CAP0 – Nascente do Capivari e CAP1 – Foz do Capivari).....	179
76. Transportes específicos (T _{DE}) observados para os rios Jundiaí, Capivari, Sorocaba ⁽¹⁾ (FERNANDES, 2012), Piracicaba ⁽²⁾ (VENDRAMINI, 2013) e Tietê ⁽³⁾ (BORTOLETTO, 2004).....	180
77. Relacionamentos entre COD (mg L ⁻¹) e Vazões instantâneas (m ³ s ⁻¹) para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.....	186
78. Relacionamentos entre NOD (mg L ⁻¹) e Vazões instantâneas (m ³ s ⁻¹) para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.....	186
79. Relacionamentos entre COD (mg L ⁻¹) e δ ¹³ C (‰) para as estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), no período estudado.....	187
80. Relacionamentos entre COP (mg L ⁻¹) e COD (mg L ⁻¹) para as estações JUN1 e CAP1, no período estudado.....	188
81. Variabilidade temporal do Fe dissolvido, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.....	192
82. Variabilidade temporal do Al dissolvido, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.....	193
83. Variabilidade temporal do Mn dissolvido, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.....	194
84. Variabilidade temporal do Cu dissolvido, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.....	195

LISTA DE TABELAS

Tabela	Legenda	Pg.
1.	Unidades litoestratigráficas das bacias dos rios Capivari e Jundiáí (PERROTA et al., 2005)	53
2.	Parâmetros de referência de Carbono Orgânico Particulado (COP), Nitrogênio Orgânico Particulado (NOP) e razão C/N para os principais solos da bacia de drenagem (CX1, PVA e LVA), para as plantas C3 e C4, fitoplâncton e esgoto doméstico obtidos na literatura.....	87
3.	Vazões ($m^3 s^{-1}$) para os rios Jundiáí e Capivari nas estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, por excursão ao longo do período de estudo e respectivas vazões médias e desvios padrão ...	106
4.	Resultados das concentrações dos sedimentos finos em suspensão (FSS, $mg L^{-1}$) e vazões instantâneas ($m^3 s^{-1}$) para as águas da nascente (JUN0) e foz (JUN1) do rio Jundiáí, incluindo a concentração média de FSS normalizada pela vazão e respectivo desvio padrão para o período estudado	109
5.	Resultados das concentrações dos sedimentos finos em suspensão (FSS, $mg L^{-1}$) e vazões instantâneas ($m^3 s^{-1}$) para as águas da nascente (CAP0) e foz (CAP1) do rio Capivari, incluindo a concentração média de FSS normalizada pela vazão e respectivo desvio padrão para o período estudado	109
6.	Concentrações de material particulado (Cr) junto à foz da bacia do rio Jundiáí (JUN1), para o período estudado, calculados em função das vazões (Q), e as concentrações de FSS.....	113
7.	Concentrações de material particulado (Cr) junto à foz da bacia do rio Capivari (CAP1), para o período estudado, calculados em função das vazões (Q), e as concentrações de FSS.....	114
8.	Transporte médio anual dos sedimentos finos em suspensão específico (T_E), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiáí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, calculado pelo método estocástico.....	117
9.	Transporte médio anual dos sedimentos finos em suspensão específico (T_E), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiáí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, calculado pelo método determinístico.....	117
10.	Critérios estabelecidos para a classificação da variabilidade global dos sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados em 60 estações de amostragens em alguns dos principais rios do mundo (MEYBECK et al, 2003)	119
11.	Transporte médio anual dos sedimentos finos em suspensão específica (TE), calculados pelo método determinístico, para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiáí e Capivari, nos períodos chuvoso e seco (estiagem)	120

12. Resultados de Q, COP, NOP, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na nascente do rio Jundiaí (JUN0), para o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COP, NOP e C/N.....	123
13. Resultados de Q, COP, NOP, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na foz do rio Jundiaí (JUN1), para o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COP, NOP e C/N.....	124
14. Resultados de Q, COP, NOP, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na nascente do rio Capivari (CAP0), para o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COP, NOP e C/N.....	125
15. Resultados de Q, COP, NOP, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na foz do rio Capivari (CAP1), para o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COP, NOP e C/N.....	126
16. Resultados dos principais parâmetros físico-químicos e medidas de vazões para as águas fluviais na nascente do rio Jundiaí (JUN0), no período estudado	133
17. Resultados dos principais parâmetros físico-químicos e medidas de vazões para as águas fluviais na foz do rio Jundiaí (JUN1), no período estudado	134
18. Resultados dos principais parâmetros físico-químicos e medidas de vazões para as águas fluviais na nascente do rio Capivari (CAP0), no período estudado	134
19. Resultados dos principais parâmetros físico-químicos e medidas de vazões para as águas fluviais na foz do rio Capivari (CAP1), no período estudado	135
20. Resultados dos valores de $\text{DBO}_{5,20}$ determinadas nas estações de amostragem do rio Jundiaí (Nascente - JUN0 e Foz - JUN1) e do rio Capivari (Nascente - CAP0 e Foz - CAP1) durante o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de $\text{DBO}_{5,20}$	145
21. Concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas (mg L^{-1}), concentrações de SiO_2 e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) presentes nas águas fluviais próximas a área de nascente do rio Jundiaí (JUN0), com suas respectivas vazões instantâneas (Q, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para o período estudado	148
22. Concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas (mg L^{-1}), concentrações de SiO_2 e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) presentes nas águas fluviais próximas a área de	

	foz do rio Jundiaí (JUN1), com suas respectivas vazões instantâneas (Q , em $m^3 s^{-1}$), para o período estudado	149
23.	Concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas ($mg L^{-1}$), concentrações de SiO_2 e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) presentes nas águas fluviais próximas a área de nascente do rio Capivari (CAP0), com suas respectivas vazões instantâneas (Q , em $m^3 s^{-1}$), para o período estudado.....	149
24.	Concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas ($mg L^{-1}$), concentrações de SiO_2 e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) presentes nas águas fluviais próximas a área de foz do rio Capivari (CAP1), com suas respectivas vazões instantâneas (Q , em $m^3 s^{-1}$), para o período estudado.....	150
25.	Matriz dos coeficientes de correlação linear entre condutividade elétrica, concentrações molares de SiO_2 , principais espécies químicas dissolvidas e TDS, para a nascente do rio Jundiaí (JUN0), para o período estudado.....	172
26.	Matriz dos coeficientes de correlação linear entre condutividade elétrica, concentrações molares de SiO_2 , principais espécies químicas dissolvidas e TDS, para a foz do rio Jundiaí (JUN1), para o período estudado.....	172
27.	Matriz dos coeficientes de correlação linear entre condutividade elétrica, concentrações molares de SiO_2 , principais espécies químicas dissolvidas e TDS, para a nascente do rio Capivari (CAP0), para o período estudado	173
28.	Matriz dos coeficientes de correlação linear entre condutividade elétrica, concentrações molares de SiO_2 , principais espécies químicas dissolvidas e TDS, para a foz do rio Capivari (CAP1), para o período estudado	173
29.	Transporte Fluvial Total (T_D , em $kg d^{-1}$) e Transporte Fluvial Específico (T_{DE} em $kg km^{-2} d^{-1}$) calculado pelo método estocástico para as principais espécies químicas dissolvidas nos rio Jundiaí e Capivari, nas respectivas estações de amostragem, para o período estudado	177
30.	Transporte Fluvial Total (T_D , em $Kg d^{-1}$) e Transporte Fluvial Específico (T_{DE} em $kg km^{-2} d^{-1}$) calculado pelo método determinístico para as principais espécies químicas dissolvidas nos rio Jundiaí e Capivari, nas respectivas estações de amostragem, para o período estudado	178
31.	Resultados das análises químicas ($mg L^{-1}$) e isotópicas do Carbono Orgânico Dissolvido ($\delta^{13}COD$) e Nitrogênio Orgânico Dissolvido ($\delta^{15}NOD$) presentes nas amostras de água da nascente do rio Jundiaí (JUN0) e vazões instantâneas ($m^3 s^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COD, NOD, $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$..	181
32.	Resultados das análises químicas ($mg L^{-1}$) e isotópicas do Carbono Orgânico Dissolvido ($\delta^{13}COD$) e Nitrogênio Orgânico Dissolvido ($\delta^{15}NOD$) presentes nas amostras de água da foz do rio Jundiaí (JUN1) e vazões instantâneas ($m^3 s^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COD, NOD, $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$	182

33. Resultados das análises químicas (mg L^{-1}) e isotópicas do Carbono Orgânico Dissolvido ($\delta^{13}\text{COD}$) e Nitrogênio Orgânico Dissolvido ($\delta^{15}\text{NOD}$) presentes nas amostras de água da nascente do rio Capivari (CAP0) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COD, NOD, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. 183
34. Resultados das análises químicas (mg L^{-1}) e isotópicas do Carbono Orgânico Dissolvido ($\delta^{13}\text{COD}$) e Nitrogênio Orgânico Dissolvido ($\delta^{15}\text{NOD}$) presentes nas amostras de água da foz do rio Capivari (CAP1) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COD, NOD, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. 184
35. Concentrações dos principais metais dissolvidos nas águas do rio Jundiaí, na nascente (JUN0) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos dos metais, para o período estudado. 189
36. Concentrações dos principais metais dissolvidos nas águas do rio Jundiaí, na foz (JUN1) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos dos metais, para o período estudado. 189
37. Concentrações dos principais metais dissolvidos nas águas do rio Capivari, na nascente (CAP0) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos dos metais, para o período estudado. 190
38. Concentrações dos principais metais dissolvidos nas águas do rio Capivari, na foz (CAP1) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos dos metais, para o período estudado. 190
39. Aplicação do modelo geoquímico conceitual simples no balanço de alteração de rochas na bacia do rio Jundiaí. Os aportes fluviais se referem aos obtidos no presente estudo, os aportes pluviais utilizados foram os determinados por Vendramini et.al. (2013) e os aportes antrópicos foram extraídos de Mortatti et.al.(2012). Os resultados estão apresentados em termos de transporte médio anual (10^3 t a^{-1}). As contribuições de Feldspato foram calculadas considerando as formações das caulinitas (2:1) e montmorilonitas (1:1). 196
40. Aplicação do modelo geoquímico conceitual simples no balanço de alteração de rochas na bacia do rio Capivari. Os aportes fluviais se referem aos obtidos no presente estudo, os aportes pluviais utilizados foram os determinados por Vendramini et.al. (2013) e os aportes antrópicos foram extraídos de Mortatti et.al.(2012). Os resultados estão apresentados em termos de transporte médio anual (10^3 t a^{-1}). As contribuições de Feldspato foram calculadas considerando as formações das caulinitas (2:1) e montmorilonitas (1:1). 197

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	25
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	28
2.1. Monitoramento químico clássico de bacias de drenagem.....	29
2.2. Hidrogeoquímica de grandes bacias de drenagem.....	32
2.3. Hidrogeoquímica de médias e pequenas bacias de drenagem.....	37
3. ÁREAS DE ESTUDO.....	43
3.1 Localizações das estações de amostragem.....	44
3.2. Geologia e unidades estratigráficas.....	51
3.3. Aspectos geomorfológicos e susceptibilidade à erosão.....	55
3.4. Uso e ocupação do solo.....	58
3.5. Principais tipos de solo.....	60
3.6. Clima.....	62
3.7. Caracterização hidrológica dos regimes pluviométricos e fluviométricos.....	62
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	65
4.1. Materiais e equipamentos de laboratório utilizados.....	65
4.2. Desenvolvimento metodológico.....	66
4.2.1. Protocolo amostragem.....	66
4.2.1.1. Amostragem de águas fluviais – Brutas e preservadas.....	66
4.2.1.2. Amostragem de sedimentos finos em suspensão.....	68
4.2.1.3. Amostragem da velocidade e área do canal – Batimetria.....	69
4.2.1.4. Amostragem dos principais solos das bacias.....	72
4.2.2. Preparo e análise das amostras.....	73
4.2.2.1. Amostras fluviais brutas.....	73
4.2.2.2. Amostras fluviais preservadas.....	74
4.2.2.3. Sedimentos finos em suspensão (FSS).....	75
4.2.2.4. Solos.....	77
4.3. Aspecto hidrológico das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari.....	78
4.3.1. Determinação do escoamento superficial rápido.....	79
4.3.2. Cálculo das vazões nas estações de amostragem.....	81
4.4. Erosão mecânica.....	81
4.4.1. Dinâmica dos sedimentos finos em suspensão (FSS).....	82

4.4.2. Relacionamento entre concentração de sedimentos finos em suspensão e vazão.....	83
4.4.3. Transporte fluvial de sedimentos finos em suspensão.....	83
4.4.3.1. Método estocástico.....	84
4.4.3.2. Método determinístico.....	85
4.4.4. Degradação física específica.....	86
4.4.5. Concentrações de carbono e nitrogênio orgânicos particulados e respectivas assinaturas isotópicas dos sedimentos finos em suspensão.....	86
4.5. Caracterização hidroquímica fluvial.....	87
4.5.1. Parâmetros físico-químicos.....	87
4.5.2. Principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas nos rios Jundiá e Capivari.....	89
4.5.3. Variabilidade temporal e espacial das concentrações das espécies químicas inorgânicas dissolvidas.....	89
4.5.4. Modelo hidroquímico ConcentraçãoxVazão: Aportes difusos e pontuais.....	90
4.5.5. Matriz dos coeficientes de correlação.....	91
4.5.6. Diagramas ternários aplicados às águas fluviais.....	91
4.5.7. Transporte fluvial da carga dissolvida.....	92
4.5.7.1. Método estocástico.....	92
4.5.7.2. Método determinístico.....	93
4.5.8. Concentração de carbono orgânico dissolvido (COD), nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) e respectivas assinaturas isotópicas.....	94
4.5.9. Outras espécies químicas dissolvidas de interesse.....	95
4.6. Erosão química: Balanço da alteração de rochas.....	95
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	98
5.1. Aspecto Hidrológico das Bacias de Drenagem dos Rios Jundiá e Capivari.....	98
5.1.1. Determinação do escoamento superficial rápido.....	98
5.1.2. Cálculo das vazões nas estações de amostragens dos rios Jundiá e Capivari.....	104
5.2. Erosão mecânica.....	107
5.2.1. Dinâmica dos sedimentos finos em suspensão (FSS).....	108
5.2.2. Relacionamento entre concentração de sedimentos finos em suspensão e vazão.....	114
5.2.3. Transporte fluvial de sedimentos finos em suspensão.....	116
5.2.4. Degradação física específica.....	121

5.2.5. Concentrações de carbono e nitrogênio orgânicos particulados e respectivas assinaturas isotópicas dos sedimentos finos em suspensão.....	122
5.3. Caracterização hidroquímica fluvial.....	132
5.3.1. Parâmetros físico-químicos.....	133
5.3.2. Principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas nos rios Jundiá e Capivari.....	148
5.3.3. Variabilidade temporal e espacial das concentrações das principais espécies químicas inorgânicas em relação a vazão.....	154
5.3.4. Modelo hidroquímico ConcentraçãoxVazão: Aportes pontuais e difusos.....	160
5.3.5. Matriz de coeficiente de correlação.....	171
5.3.6. Diagramas ternários aplicados a águas fluviais.....	175
5.3.7. Transporte fluvial da carga dissolvida.....	177
5.3.8. Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) e respectivas assinaturas isotópicas.....	180
5.3.9. Outras espécies químicas dissolvidas de interesse.....	188
5.4. Erosão química: Balanço de alteração de rochas.....	196
6. CONCLUSÕES.....	199
REFERÊNCIAS.....	204

1. INTRODUÇÃO

O planeta terra possui quase dois terços de sua superfície coberta por água, dos quais menos de 1% representa as águas doces contidas nos rios, lagos, solos e aquíferos (HUTCHINSON, 1957; MAGALEF, 1983; ESTEVES, 1998; WETZEL, 2001).

A água doce é considerada um dos recursos naturais mais importantes para a manutenção da vida e desenvolvimento da sociedade. Entretanto, a qualidade da maioria dos corpos hídricos vem sofrendo deterioração relacionada com o crescimento e diversificação das atividades humanas e as conseqüentes alterações que essas atividades causam nas bacias de drenagem.

Nos últimos 50 anos, a extração anual de água doce de lagos, rios e aquíferos triplicaram e os crescimentos populacionais e econômicos continuaram a incrementar a necessidade tanto por água quanto por serviços relacionados a ela, o que faz dos recursos hídricos uma questão não só ecológica como também política econômica e social (TUNDISI, 2003).

Como região importante do desenvolvimento socioeconômico do Brasil, o estado de São Paulo apresenta constante crescimento populacional, e principalmente nos últimos anos vem sofrendo com as estiagens, falta de planejamentos para abastecimento público e principalmente a constante contaminação dos corpos hídricos por esgotos domésticos, industriais e resíduos agrícolas, tornando a crise da água nessa região um tema em constante discussão nos órgãos e comitês gestores desse recurso.

Dentro desse contexto estão inseridas as bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari, considerados importantes rios paulistas e afluentes da margem direita do rio Tietê, e por estarem em regiões de alto desenvolvimento econômico do estado de São Paulo, tendo suas águas utilizadas para descarte de efluentes antrópicos e abastecimento da população, exigindo para isso alto grau de tratamento químico para sua utilização.

O processo de ocupação regional dessas bacias de drenagem iniciou-se no século XVII com a devastação da vegetação nativa para implantação do ciclo de cana-de-açúcar e posteriormente do ciclo do café, não sendo realizado um planejamento dos descartes dos efluentes e esgotos que culturalmente eram

lançados *in natura*, também foi adotado um manejo de uso e ocupação inadequados dos solos das bacias, ocorrendo à degradação dos ecossistemas (ANA, 2009).

Atualmente, as bacias de drenagem dos rios Capivari e Jundiaí continuam sobre constantes intervenções quantitativas e qualitativas em suas águas, em função do extenso parque industrial dos municípios de Campinas, Capivari, Indaiatuba, Jundiaí, Atibaia e Santa Barbara d'Oeste, como também por intensas atividades agrícolas como pastagens e principalmente o cultivo de cana-de-açúcar.

Por todos esses motivos, os rios Jundiaí e Capivari são considerados como sendo de situação crítica em termos principalmente qualitativos. Esse fato vem sendo confirmado com os últimos relatórios de Situação dos Recursos Hídricos (CBH-PCJ, 2014), que descrevem que as bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari vêm sendo cada vez mais afetadas pelo uso e ocupação dos solos e principalmente pelos lançamentos de esgotos domésticos ainda sem qualquer tipo de tratamento prévio. Essas cargas de efluentes antrópicos conferiram, no último relatório do PCJ (CBH-PCJ, 2014), aos rios Jundiaí e Capivari uma classificação no índice de qualidade das águas (IQA) de Ruim e Regular, respectivamente.

A avaliação das possíveis alterações e contaminações a que estão sujeitas as bacias de drenagem sob ocupação intensiva demográfica, industrial e/ou agrícola pode ser realizada com a utilização de diferentes metodologias, as quais se encontram associadas ao controle físico-químico das águas e ao transporte de material em suspensão (FERNANDES, 2012).

Essas metodologias compõem os estudos hidrogeoquímicos os quais consideram os efeitos globais e regionais das alterações antrópicas e naturais, tanto a níveis quantitativos quanto qualitativos (MORTATTI; PROBST; BORTOLETTO JUNIOR, 2003; BIBIAN, 2007; VENDRAMINI, 2013). Com isso, importantes parâmetros como comportamento hidrológico da bacia de drenagem; aspectos do comportamento dinâmico natural e influência antrópica das cargas dissolvida fluvial e particulada; perdas de solo e perfil de alterações de rochas podem ser avaliados e mais bem compreendidos na bacia de drenagem (MORTATTI, 1995).

Os monitoramentos hidrogeoquímicos são estudos amplamente utilizados tanto em bacias de drenagens naturais como na Amazônia, África e Europa (MEYBECK, 1976; PROBST, 1983; BERNER et al., 1983; BOEGLIN et al., 1997; MESSAITFA, 1997; PERAY, 1998) como também em bacias sob forte influência antrópica, como é o caso de bacias como as dos rios Tietê, Sorocaba, Piracicaba e

Corumbataí (MORTATTI; FERNANDES, 2012; BORTOLETTO JUNIOR, 2004; VENDRAMINI, 2013; CONCEIÇÃO et al., 2002) permitindo um melhor entendimento da dinâmica desses corpos d'água, podendo tais estudos ser utilizados como subsídios para os gestores, ajudando no planejamento e o manejo adequado da área de drenagem.

Mediante o exposto, o presente trabalho teve como objetivo principal realizar o levantamento das características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, no estado de São Paulo, procurando caracterizar aspectos da influência antrópica nas cargas dissolvidas e particuladas transportadas fluvialmente nas áreas das referidas bacias de drenagem. As seguintes hipóteses de trabalho foram formuladas:

- Os modelos hidrogeoquímicos gerados permitem explicar os comportamentos das cargas dissolvidas e particuladas presentes nos rios Jundiaí e Capivari;
- Os modelos hidrogeoquímicos empregados para a avaliação da dinâmica dos sedimentos finos em suspensão, nas nascentes e foz dos rios permitem evidenciar o grau de degradação física dos solos;
- A hidroquímica fluvial das cargas particulada e dissolvida é influenciada pela sazonalidade;
- As curvas de diluição das concentrações dos principais íons podem determinar os aportes pontuais e difusos;
- As cargas poluidoras, principalmente esgotos domésticos, são os principais contribuintes na química das águas dos rios Jundiaí e Capivari.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O consumo mundial de água aumentou mais de seis vezes em menos de um século, mais que o dobro das taxas de crescimento da população. Em nível global os recursos hídricos tendem a se tornar escassos, principalmente devido aos processos de uso e degradação crescentes que estão ocorrendo nas bacias de drenagem (BRITO et al., 2005).

Estima-se que o Brasil detém 13,8% da disponibilidade hídrica mundial, entretanto apresenta uma distribuição inter-regional bastante heterogênea, tanto em termos de disponibilidade, estando as grandes bacias hidrográficas na região norte do país, quanto de qualidade das águas (FREITAS; SANTOS, 1999).

Como descrito por Granziera (2014) deve-se considerar que a quantidade da água em uma região depende de sua qualidade, pois águas com elevado grau de contaminação não podem ser utilizadas para usos nobres, como abastecimento urbano. Uma preocupação dos poderes públicos que consideram os recursos hídricos apenas como água para abastecimento, mas não dão importância ao monitoramento e manutenção da qualidade das águas presentes nesses corpos hídricos.

Nesse contexto, a avaliação das possíveis alterações em que estão sujeitos ecossistemas naturais sob ocupação intensiva, como o caso das bacias dos rios Jundiaí e Capivari, pode ser realizada com a utilização de diferentes metodologias, mas sempre associadas aos controles físico-químicos das águas e ao transporte de material dissolvido e em suspensão em toda a bacia de drenagem (MORTATTI et al., 1997).

O Estado de São Paulo é a região brasileira que tem um forte desenvolvimento industrial, e esse crescimento industrial e populacional teve por consequência um aumento no uso e degradação dos recursos naturais, principalmente associados aos corpos hídricos.

As bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari fazem parte da rede hidrográfica do Estado de São Paulo, e estão inseridas próximas ao grande município de São Paulo, cuja descentralização do mesmo ocasionou um crescimento econômico, agrícola e demográfico em seu entorno, acarretando mudanças no uso e ocupação do solo na região das duas bacias hidrográficas, e

com isso veio à necessidade por demanda de água e conseqüentemente poluição desses mananciais.

Devido as suas características químicas, físicas e estruturais a água possui a propriedade de dissolver e mesmo de reagir com a maioria das substâncias químicas. Além disso, ela pode ser suporte e veículo para partículas em suspensão e para partículas extremamente pequenas como as dissolvidas e as de natureza coloidal (HYPOLITO et al., 2011).

2.1 Monitoramento químico clássico de bacias de drenagem

A caracterização físico-química das águas fluviais (pH, Temperatura, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Condutividade) são ferramentas importantes para caracterizar os rios. Por esse motivo são parâmetros bastante usados em relatórios da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que faz o monitoramento das águas dos rios Jundiá e Capivari, e esses dados são usados pela Agência das Bacias PCJ, órgão responsável pela gestão das bacias Piracicaba, Jundiá e Capivari.

A Comissão Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução 357, de 17 de março de 2005, utiliza esses padrões físico-químicos, para classificar os corpos d'água e dar diretrizes para o seu enquadramento. Segundo essa resolução as águas podem ser classificadas em: Classe 1 (ao abastecimento humano após tratamento simplificado; recreação; irrigação de hortaliças e frutas a serem consumidas cruas), Classe 2 (ao abastecimento humano, após tratamento convencional; recreação; irrigação de hortaliças e aquicultura), Classe 3 (ao abastecimento humano, após tratamento convencional a avançado; irrigação de culturas arbóreas; dessedentação de animais) e Classe 4 (navegação e harmonia paisagística).

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é usado para expressar a intensidade da condição ácida ou básica das águas superficiais, sendo alterado pelas concentrações de íons H^+ originados da dissociação do ácido carbônico (ESTEVES, 1988). De acordo com Branco (1986), as variações de pH são ocasionadas geralmente pelo consumo e/ou produção de dióxido de carbono (CO_2), realizadas pelos organismos fotossintetizantes e fenômenos de respiração ou fermentação de organismos presentes nas águas, produzindo ácidos orgânicos fracos, também pode

ocorrer a introdução de CO₂ nos corpos d'água pelas chuvas, ar atmosférico e matéria orgânica do solo. A poluição antrópica é outro fator que pode alterar o pH das águas, sejam efluentes industriais como esgotos domésticos (OLIVEIRA, 2014).

A temperatura (T) das águas de um rio pode ser influenciada a fontes naturais como vento, variação da radiação solar nas diferentes estações do ano, profundidade dos corpos hídricos como também a aportes antropogênicos lançados sem tratamento. É um parâmetro físico químico essencial para a vida aquática, pois controla a taxas de atividades metabólicas e reprodutivas de ambientes aquáticos (HYPOLITO et al., 2011). Também influencia na concentração de outras variáveis, como o oxigênio dissolvido, interfere na velocidade de reações químicas, acelera processos de alteração e aumenta o total de sólidos dissolvidos (PORTO et al., 1991).

O Oxigênio Dissolvido (OD) é um parâmetro de fundamental importância para caracterizar a qualidade dos sistemas aquáticos e verificar as condições aeróbicas na água provocadas pela eutrofização e poluição orgânica (CARMOUZE, 1994). Segundo Farias (2006), um rio é considerado sem poluição, em condições naturais, apresenta valores entre 8 a 10 mg.L⁻¹. Entretanto, a sua concentração está sujeita a variações diárias principalmente em função das temperaturas, atividades fotossintética, turbulência da água e vazão do rio (PALMA; SILVA, 1999). A matéria orgânica também é responsável pela diminuição da concentração de OD nas águas e se constitui um dos problemas de poluição ambiental, portanto é de suma importância a quantificação de oxigênio consumido nas águas naturais como medida indireta de matéria orgânica num corpo d'água (HYPOLITO, 2011).

Nesse princípio o parâmetro denominado Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é utilizado para determinar a quantidade de Oxigênio Dissolvido nas águas fluviais necessários para a decomposição microbiana oxidar a matéria orgânica para uma forma inorgânica estável (CETESB, 1991). Trata-se do parâmetro mais empregado para medir a poluição de um corpo hídrico, pois em corpos d'água que recebem esgotos domésticos e efluentes de indústrias, principalmente de fábricas de papel e álcool/ açúcar, apresentam elevado valor de DBO. No último relatório da CETESB (2014) a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5, onde estão inseridas as bacias dos rios Jundiá e Capivari, apresentam uma carga de DBO de 106 t DBO dia⁻¹, representando uma porcentagem de 11% da carga remanescente gerada no Estado de São Paulo. Outro parâmetro importante é a

condutividade elétrica (CE) que permite a avaliação do grau de mineração das águas fluviais e, de forma geral aumenta em função das concentrações iônicas (GAC; KANE, 1986).

Porém não basta apenas avaliar e classificar a qualidade das águas utilizando parâmetros físico-químicos, mas sim entender toda a dinâmica que ocorre nas bacias de drenagem a fim de se fazer uma gestão e como consequência melhorar a qualidade das mesmas, para essa finalidade o presente trabalho vem engrandecer o conhecimento das bacias dos rios Jundiaí e Capivari através do estudo hidrogeoquímico das mesmas.

A hidrogeoquímica foi fundamentada em estudos sobre intemperismo global realizados em diversas regiões do planeta para o entendimento dos processos de erosão (LEITE, 2006), analisados a partir do reconhecimento das modificações mineralógicas e químicas dos materiais que compõem os regolitos (LASAGA, 1995; WHITE, 1995; 2002), ou por meio do monitoramento da carga de solutos nas águas dos rios, associados aos aspectos climáticos, geomorfológicos e antrópicos (STALLARD; EDMOND, 1983; DREVER; CLOW, 1995; PROBST, 1986; PROBST et al., 1992; MORTATTI et al., 2003).

Uma quantidade considerável de estudos hidrogeoquímicos em bacias de drenagem, tanto naturais quanto as que se encontram sob forte influência antrópica foram desenvolvidos nas últimas décadas. Isso se deve pelas bacias de drenagem serem importantes unidades de paisagem para a realização de estudos hidrogeoquímicos, independente de suas escalas, uma vez que seus cursos d'água refletem a dinâmica desse ecossistema geograficamente delimitado, compreendendo tanto seus tributos físicos, químicos e biológicos quanto a inter-relação de seus vários componentes, como solo, água, cobertura vegetal e atmosfera; e as alterações antrópicas que ocorrem dentro de sua área de drenagem (JENKINS et al., 1994; MORTATTI, 1995; FERRAZ et al., 2002; BIBIAN, 2007; VENDRAMINI, 2009).

As características físico-químicas das águas fluviais e o seu relacionamento com as características geológicas, climáticas e antrópicas presentes ao longo do território tem sido bastante utilizados em varias bacias de drenagem, como parâmetros que configuram e controlam os processos erosivos, mecânicos e químicos (BIBIAN, 2007).

As composições químicas e particuladas das águas fluviais estão relacionadas não só a atividades antrópicas, mas também relativas à intemperismo de rochas e a entrada por aportes atmosféricos, sob forma de precipitação (PROBST et al., 1994; MORTATTI et al., 1997). Os trabalhos aqui revisados são apresentados de modo a demonstrar a importância dos diferentes estudos hidrogeoquímicos, em bacias hidrográficas, sob condições naturais e antropizadas, com diferentes escalas e características geoclimáticas, que abordam tanto aspectos globais quanto específicos relacionados aos processos erosivos mecânicos e químicos, como também influências antrópicas.

2.2 Hidrogeoquímica de grandes bacias de drenagem

Estudos pioneiros envolvendo as caracterizações da hidroquímica fluvial em bacias foram realizados por Stallard e Edmond na bacia Amazônica. No primeiro trabalho (1981), Stallard e Edmond, avaliaram a contribuição atmosférica nas cargas dissolvidas nos picos de cheia utilizando a precipitação. Observaram que a química do material removido da atmosfera por meio da precipitação apresentou características semelhantes a sua fonte de origem, sendo que as espécies químicas Na^+ , Mg^{2+} e Cl^- auxiliaram a evidenciar a contribuição dos aerossóis marinhos. Com relação às espécies químicas PO_4^{3-} , K^+ , SO_4^{2-} e N^- ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) presentes nas chuvas tiveram a origem relacionadas a contribuições terrestres geradas por queimadas, poeiras e emissões biológicas, nas cargas dissolvidas da bacia de drenagem.

No segundo estudo, Stallard e Edmond (1983) avaliaram o relacionamento entre as espécies químicas dissolvidas dos principais rios da bacia Amazônica e as ocorrências geológicas da região. A denudação química das formações geológicas presentes na região e o aporte de sólidos dissolvidos nos corpos d'água foram caracterizados pelo tipo de processo envolvido, ou seja, aqueles limitados pela susceptibilidade ao intemperismo químico dos diferentes tipos de rochas e aqueles limitados pela capacidade de transporte das sub-bacias. Em áreas limitadas pelo transporte, o aporte de espécies químicas foi proporcional à área exposta ao processo de erosão química. E com relação as regiões limitadas pelo intemperismo, o aporte de espécies químicas esteve relacionado tanto a área exposta a processos erosivos quanto a susceptibilidade a este processo, o que promoveu um maior

fracionamento entre as concentrações das espécies químicas presentes na rocha e em solução.

Os aspectos químicos do processo de erosão química das formações rochosas silicatadas e carbonáticas da bacia Amazônica foram analisados no terceiro trabalho de Stallard e Edmond (1987) a partir da construção de modelos simples de alteração de reações de balanço de massas que preveem as relações características entre as várias espécies dissolvidas, delimitados por dados geológicos e modelos termodinâmicos que especificam a estabilidade mineral. Tais relacionamentos foram tidos como mais simples para as águas provenientes de regiões com formação carbonáticas, pois tais formações são completamente erodidas para a fase dissolvida, apresentando razão $[Ca^{2+} + Mg^{2+} / HCO_3^-]$ próxima a 1, conforme o verificado na estequiometria da reação de diluição da dolomita. Já nas regiões com predomínio de rochas silicatadas, essas relações foram prejudicadas pelas várias fases sólidas formadas durante a hidrólise dos minerais primários silicatados. Avaliaram também que para a erosão química de silicatos a razão entre os produtos de intemperismo HCO_3^- / SiO_2 é da ordem de 1:2, o que reflete a predominância da formação de kaolinita nestas regiões.

Segundo Tardy (1990), a erosão química é a responsável por todas as formas de erosão e os principais mecanismos de intemperismo envolvidos estão associados basicamente à dissolução e hidrólise dos minerais primários, em função da percolação e contato das águas das chuvas com os perfis rochosos. Uma parte dos minerais secundários formados permanece no solo e mais tarde será afetada pela erosão mecânica e alimentará a sedimentação detrítica da região. Outra parte será eliminada em solução para os sistemas hídricos, sendo esse processo influenciado diretamente pela temperatura, pressão parcial de CO_2 e pelo regime hídrico da bacia de drenagem. A maior ou menor liberação de íons para os cursos d'água depende da composição química e mineralógica, bem como de sua sensibilidade à erosão química, sendo os mais susceptíveis a tais processos os calcários, argilas, folhelhos, arenitos e granitos (VENDRAMINI, 2013).

Nkounkou e Probst (1987) avaliaram as características hidrológicas e geoquímicas da bacia do rio Congo, África, onde observaram que devido à presença de lagos ao longo do canal fluvial, a morfologia da bacia de drenagem e a floresta tropical existente influenciaram os processos erosivos mecânicos proporcionando uma baixa taxa de erosão ($7,4 \text{ m Ma}^{-1}$). A erosão química foi calculada a partir das

cargas fluviais dissolvidas, após correção dos aportes atmosféricos. A contribuição média estimada foi de $6,5 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Concluíram que ao comparar as taxas de erosão mecânica e química, consideraram a bacia do rio Congo como um ecossistema em equilíbrio.

As características físico-química e estimativa das cargas fluviais em sua relação com aspectos geológicos foi tema de um importante trabalho realizado por Meybeck (1987) para avaliação do intemperismo global de rochas superficiais, utilizando como base de estudos, bacias monolitológicas não poluídas na França. Os resultados analíticos dessas águas, corrigidas dos aportes atmosféricos (saís cíclicos marinhos) foram posteriormente comparadas com outros dados da literatura referentes a 16 tipos principais de rochas: mineral (silicato, calcita, dolomita gipsita, halita e minerais de enxofre) e rochosa (plutônica, metamórficas, vulcânicas, xistos, arenitos, rochas carbonáticas e evaporitos). Verificou-se uma contribuição mais significativa dos minerais carbonatados, oriundos das rochas sedimentares, correspondendo a 50% do total da carga dissolvida fluvial, com destaque para o cálcio (67%), magnésio (42%). O bicarbonato teve sua origem atribuída ao CO_2 atmosférico/solo envolvidos nas reações de erosão. Já para o intemperismo de rochas cristalinas, pouca influência foi observada em relação à carga dissolvida fluvial nas regiões estudadas.

Martinelli et al. (1989) estudaram a bacia Amazônica e procuraram quantificar o transporte de material dissolvido lançado no oceano Atlântico por essa bacia. O fluxo de massa final observado no estudo foi de $270 \times 10^6 \text{ t a}^{-1}$, o que comprovou que o rio Amazonas era o maior transportador de elementos dissolvidos do mundo. Também verificaram que a presença de Ca^{2+} e SiO_2 , nas águas tinham suas origens atribuídas a dissolução de silicatos. O rio Madeira, contribuiu com o maior fluxo de material dissolvido entre os tributários, o que ressaltou a importância dos Andes Bolivianos (áreas de cabeceira) na origem do material dissolvido transportado pelo rio Amazonas.

Probst (1992) determinou as variações sazonais dos parâmetros físico-químicos e fluxos anuais de material dissolvido para as águas do rio Congo e Ubangi. Em ambas as bacias, a carga inorgânica dissolvida nas águas fluviais era composta principalmente por HCO_3^- e SiO_2 , não apresentando variação durante o período estudado. As proporções de HCO_3^- e Ca^{2+} foram maiores no rio Ubangi do que no rio Congo, devido à presença de rochas carbonáticas. No rio Congo foi

evidenciado que as concentrações dos solutos foram diluídas com o aumento da vazão, enquanto para o rio Ubangui, a curva de concentração com a de diluição teórica indicou um maior aporte de solutos durante o aumento da hidrografa.

Probst et. al. (1992) estimaram o fluxo global de CO_2 atmosférico consumido em cem anos durante os processos de intemperismo de rochas utilizando um modelo de regressão múltipla. No modelo eram relacionados alguns fatores ambientais, como vegetação, altitude, área de drenagem, culturas, intensidade de drenagem, temperatura, relevo e densidade das rochas, das quarenta e cinco maiores bacias hidrográficas do mundo, com o transporte de HCO_3^- , dos respectivos rios. Também foi relacionada no modelo, a concentração de HCO_3^- com dados de drenagem. O resultado observado mostrou que a drenagem foi o fator ambiental que mais influenciou no fluxo do bicarbonato, devido principalmente ao processo de diluição. Utilizando equações que relacionavam os fluxos de HCO_3^- com a drenagem, como também usando dados de literatura sobre estimativa da contribuição de CO_2 atmosférico no fluxo desta espécie química nos rios, foi possível calcular o fluxo de CO_2 atmosférico consumido durante processos de intemperismo ($2,53 \cdot 10^{23}$ moles a^{-1}) para uma drenagem global média de 266 mm a^{-1} .

A partir do transporte de carbono orgânico dissolvido e particulado, Probst, Mortatti e Tardy (1994) compararam as bacias hidrográficas do rio Congo e Amazonas com relação ao CO_2 atmosférico consumido durante os processos de intemperismo químico de rochas carbonáticas e silicatadas. Verificaram que o HCO_3^- transportado pelos rios era fruto do intemperismo químico e a participação do fluxo de CO_2 entre solo e atmosfera nas concentrações de HCO_3^- estava relacionada à existência de rochas carbonáticas e/ou silicatadas na área das bacias.

Em 1997, Mortatti, Victoria e Tardy estudaram os escoamentos superficiais rápidos e subterrâneos na bacia Amazônica, utilizando três métodos de separação de hidrogramas de cheia, com base em dados mensais. O primeiro método foi o isotópico, baseado em um modelo de balanço de massa utilizando dados isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ das águas superficiais e das precipitações, o segundo método foi o proposto por Probst, Mortatti e Tardy (1994) basearam-se nas concentrações de algumas espécies químicas dissolvidas e sedimentos em suspensão e o terceiro método foi o de separação por filtros numéricos para um modelo de dois reservatórios, desenvolvido por Hino e Hasebe (1981), que consiste em um processo de separação estatístico, utilizando filtros numéricos auto-recursivos de 1ª ordem para

uma série temporal de dados de escoamento total do referido rio. Os resultados entre os três métodos foram semelhantes, sendo observados coeficientes do escoamento superficial (K_r) e subterrâneo (K_b) de 31,9% e 68,1%, respectivamente evidenciando a importância da componente subterrânea.

Canfield et al. (1997) estudaram vinte e três rios dos Estados Unidos, sob diferentes tipos de solos e condições climáticas. Observaram que a química dos sedimentos finos em suspensão variou sistematicamente com a taxa de escoamento. Propuseram um modelo para quantificar a mobilidade dos elementos durante o intemperismo relacionando concentração do elemento no sedimento e a concentração presente na rocha, sugeriram também um modelo para verificar as tendências entre a composição química nos sedimentos finos em suspensão e da carga dissolvida no escoamento fluvial com sua composição na rocha mãe. Concluíram que a composição e o transporte dos sedimentos finos em suspensão dependiam tanto de parâmetros climáticos (temperatura, pluviosidade) quanto de parâmetros não climáticos (elevação, relevo, tectônica e área da bacia de drenagem).

Boeglin e Probst (1998) estudaram a região superior do rio Niger (África) em relação a determinação das taxas de intemperismo dessa região, avaliando o grau de equilíbrio entre os processos de erosão mecânica e química. Observaram que os processos dominantes indicaram a formação da caulinita, ocorrendo variação espacial e sazonal dos índices de intemperismo. A diferença entre a erosão química e mecânica foi positiva, revelando que na região superior do rio Niger ocorria um predomínio de aprofundamento do perfil do solo e observaram também, que em regiões de maior precipitação havia um predomínio da erosão mecânica sobre a química.

A erosão química das rochas silicatadas presentes na bacia Amazônia foi avaliada por Mortatti e Probst (2002) utilizando dados do transporte de material fluvial dissolvido, contribuições atmosféricas e modelos de consumo de CO_2 durante os processos de intemperismo das rochas. A taxa de erosão química dos silicatos foi corrigida pelos dados da química da chuva em função do total de sólidos dissolvidos transportados pela bacia. Cerca de 68% dos íons HCO_3^- transportado fluvialmente teve origem da contribuição do CO_2 atmosférico/solo. Determinaram que a taxa média de alteração de silicatos foi de $14,8 \text{ m Ma}^{-1}$, evidenciando um desequilíbrio entre os processos de formação e perda do solo na bacia como um todo.

Meybeck et al., (2003) estudaram a variabilidade diária dos transportes dos sedimentos finos em suspensão determinados para 60 regiões espalhadas pelo mundo, buscando bacias sem influência antrópica. As bacias de drenagem possuíam diferentes tamanhos, variando de 64 a $320 \times 10^4 \text{ km}^2$. Propuseram uma série de parâmetros que foram comparados e agrupados em seis classes de indicadores que poderiam influenciar na variabilidade dos processos de transporte. O parâmetro tamanho da bacia hidrográfica relacionado com transporte de sedimentos em suspensão apresentou correlacionamento negativo com o aumento da área das bacias. Para bacias de 64 a 500 km^2 , cerca de 50 a 90% dos sedimentos em suspensão foram transportados em 2% do tempo estudado, enquanto que bacias maiores que 100.000 km^2 esta proporção limitou-se a 30%.

Estudo de modelagem hidroquímica da bacia do rio Niger (África) foi realizado por Tardy, Bustillo e Boeglin (2004), no período de três anos, partindo da identificação de cinco reservatórios: escoamento rápido, superficial e sub-superficial, águas subterrânea superficial e profunda (fluxo de base). Os autores verificaram que a contribuição temporal de cada reservatório para o escoamento total foi variável enquanto que a composição físico-química foi constante. O modelo utilizado levava em consideração duas espécies químicas traçadoras, Na^+ e HCO_3^- e as concentrações de sedimentos transportados, seguido pela análise da contribuição ao fluxo de cada um dos reservatórios e suas concentrações químicas de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , carbono dissolvido e SiO_2 . O intemperismo químico foi avaliado, observando a liberação de SiO_2 em solução e consumo de CO_2 atmosférico. O modelo proposto obteve validação de seus dados, sendo considerada uma importante ferramenta de estudo de bacias hidrográficas em diversas escalas de tempo e espaço.

2.3 Hidrogeoquímica de médias e pequenas bacias de drenagem

Em bacias de drenagem consideradas de médio e pequeno porte, os processos naturais de intemperismo químico e mecânico podem ser diretamente influenciados por atividades antrópicas, tanto pelo uso e ocupação do solo, quanto pelos despejos de efluentes urbanos e industriais nos corpos d'água (VENDRAMINI, 2013). Sobre esses aspectos, importantes estudos foram realizados com intuito de observar as influências exercidas nas cargas dissolvida e particulada, bem como nos

processos erosivos mecânicos e químicos, promovidos pelos diversos ramos de atividades antrópicas como será exemplificado a seguir.

Em 1973, Szikszay fez um levantamento da caracterização da composição química das águas dos rios Sucuriú, Verde, Pardo, Paranaíba, Grande, Tietê, Paranapanema, Paraná e Pelotas, todos tributários da Bacia do Paraná. As águas estudadas foram classificadas como carbonatadas, sendo que a litologia e o solo foram os fatores principais que controlavam a qualidade e, em parte, a quantidade do material dissolvido e transportado pelas águas dos referidos rios. Também foi verificado uma variação sazonal na quantidade de material dissolvido, sendo que nas maiores vazões determinaram-se as maiores quantidade de material dissolvido.

As taxas médias de erosão mecânica e química na bacia do rio Girou, França, foram estudadas por Probst (1986), que utilizou dados de transporte de material em suspensão e dissolvidos nas águas fluviais junto a foz da bacia de drenagem. Foram determinadas as origens das principais espécies químicas dissolvidas no rio e também à contribuição da alteração de rochas e solos no transporte dessas espécies químicas. O autor verificou o comportamento das concentrações dos íons em relação às vazões fluviais observando que as maiores concentrações de NO_3^- e PO_4^{3-} ocorreram nos períodos de cheia, associando ao excessivo aporte de solo e queda nas concentrações de Mg^{2+} , Ca^{2+} e HCO_3^- , devido à dissolução de carbonatos. Foi observado um transporte específico de carga dissolvida de $95 \text{ t.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$, superior ao material particulado ($27 \text{ t.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$), sendo relacionada à característica de rios localizados em regiões temperadas com baixa variação de relevo. O balanço entre as taxas de erosão mecânica e química indicou uma tendência de formação de solo preferenciando à erosão química.

Lara et al. (2001) investigaram os possíveis tipos de influências antrópicas na composição química das águas pluviais das cabeceiras até a foz da bacia de drenagem do rio Piracicaba, entre agosto de 1997 e julho de 1998. Os resultados obtidos mostraram que a composição química dessas águas foi mais significativa em ordem decrescente para as espécies $\text{H}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$. As principais influências antrópicas observadas no estudo estiveram relacionadas as poeiras dos solos e queima da biomassa da cana-de-açúcar, onde significativas quantidades de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- e K^+ foram verificadas; além de emissões industriais, em que elevadas concentrações H^+ , SO_4^{2-} e NO_3^- contribuíram para os aportes atmosféricos da região.

Silva et al. (2002) realizaram um estudo das concentrações e possíveis associações químicas de algumas espécies químicas metálicas em sedimentos do sistema de rios Tietê-Pinheiros em São Paulo. Os resultados obtidos para espécies químicas Al, Fe, Mn, Cu, Cd, Pb, Zn, Ni e Cr indicaram características de poluição desses metais analisados.

Krusche et al., (2002) estudaram a composição química e isotópica da matéria orgânica do carbono e nitrogênio particulado e dissolvido na bacia do rio Piracicaba. As áreas agrícolas mostraram importante papel tanto no aporte, quanto no enriquecimento do carbono e nitrogênio, conforme puderam ser evidenciados pelas concentrações percentuais dos mesmos, principalmente em função da substituição da vegetação natural por pastagens e pela cultura de cana-de-açúcar. Em termos isotópicos o carbono presente na matéria orgânica foi mais enriquecido nas áreas agrícolas, enquanto o nitrogênio orgânico particulado esteve relacionado aos efluentes domésticos urbanos e industriais.

Utilizando o método de separação de hidrógrafas, proposta por Hino e Hasebe (1981) e Mortatti et al. (2004) verificaram a influência do escoamento superficial rápido nos processos erosivos mecânicos, empregando filtros numéricos, para um período de vinte anos, nas bacias dos rios Tietê e Piracicaba. Não foram observadas variações significativas nos coeficientes de escoamento superficial rápido para os rios estudados, sendo 0,304 para o Tietê e 0,274 para o Piracicaba, o que indicou apenas 30% do escoamento total fluvial para os dois casos, sendo este fato associado às entradas de chuvas nas bacias. Para o escoamento subterrâneo, sua contribuição em relação ao escoamento total fluvial foi estimada em 70% para ambas as bacias, sendo os coeficientes da ordem de 0,696 e 0,726, respectivamente, para os rios Tietê e Piracicaba.

Pathak (2004) estudou cinco microbacias hidrográficas em áreas agrícolas procurando identificar os efeitos das hidrógrafas, perda do solo causado pelo manejo do solo e na composição dos sedimentos transportados. Os valores de concentração de sedimentos nas fases que antecedem o pico do escoamento total apresentam maior variabilidade de dados na fase de recessão da hidrografa. Observou que a condição dos solos e coberturas das bacias foram os principais fatores determinantes para as variações de concentração nas fases que antecederam o pico de escoamento. Os sedimentos em suspensão presentes nas águas fluviais, durante

os eventos de pequeno e médio escoamento superficial, apresentaram composições granulométricas semelhantes ao solo perdido pela erosão mecânica.

A variabilidade da composição de íons no rio Pilcomayo, Bolívia, em relação às vazões instantâneas foram estudadas por Smolders et al. (2004). Verificaram que nos meses de seca (maio a outubro) a vazão do rio diminuía enquanto as concentrações aumentaram. Observaram também que os dados de sólidos dissolvido totais nos meses de seca apresentaram altas concentrações devido a processos evaporativos, enquanto que nos períodos chuvosos as concentrações de sólidos totais dissolvidos tiveram as menores concentrações relacionadas aos processos de diluição causados pelos processos de precipitação.

Mortatti et al., (2006) identificaram as principais formas de carbono dissolvido presentes na bacia do rio Piracicaba - SP, Brasil, no período de 2001-2002. O fluxo de Carbono Inorgânico Dissolvido (CID), estimado em função de um modelo envolvendo as reações de equilíbrio do sistema carbonato de acordo com a variabilidade sazonal dos parâmetros de pH, temperatura, alcalinidade total e vazão, foi de 40.383 tC a^{-1} e se mostrou controlado principalmente pelos processos biogênicos e dissolução dos carbonatos. Concluíram que do total de carbono transportado fluvialmente o CID foi superior ao carbono orgânico dissolvido ($\text{COD} = 22.064 \text{ tC.a}^{-1}$), estando o primeiro associado a processos biogênicos ligados a CO_2 atmosférico/solo e o COD a aportes de efluentes domésticos.

Silva et al., (2007) avaliaram as alterações no transporte fluvial dos íons majoritários, carbono orgânico e inorgânico (COD e CID) e nitrogênio inorgânico (NID) dissolvido, promovidas pelo uso da terra em três bacias de drenagem com as seguintes coberturas vegetais: vegetação natural de cerrado, cana-de-açúcar e eucalipto. Destacaram que devido intensivas atividades agrícolas, as culturas de cana-de-açúcar e eucaliptos contribuíram mais significativamente com alterações na composição química das águas nas bacias de drenagem estudadas, mas enfatizam que as maiores concentrações em todos os parâmetros analisados (íons e carbono orgânico e inorgânico dissolvido) foram obtidas na região da bacia de drenagem, cultivada com cana-de-açúcar. De acordo com observado pelos autores, típicos tratamentos culturais como aplicação de corretivos nos solos, fertilização e, em alguns casos, a aplicação de vinhaças, contribuíram para os elevados teores de Ca, K, Na e Mg durante o período estudado.

O estudo de intemperismo químico na bacia do Alto Rio Sorocaba – SP, Brasil foi estudado por Sardinha (2007) objetivando avaliar as taxas de alteração química de rochas utilizando a concentração de urânio, a razão $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ e os principais cátions presentes em amostras de água, solo e rochas da bacia. Foi realizado o levantamento dos aspectos fisiográficos da área de estudo, determinação da composição química e mineralógica das rochas e dos solos e a avaliação da qualidade das águas superficiais e pluviais, considerando a influência das descargas antropogênicas. A química das águas pluviais indicou um predomínio do somatório de cátions sobre os ânions, sendo que os íons mais abundantes foram o Ca^{2+} e o SO_4^{2-} . A maior taxa de contribuição atmosférica foi de Ca^{2+} , que foi associada à dissolução de CaCO_3 proveniente de poeiras dos solos agrícolas e atividades antrópicas de mineração de calcário dolomítico e fábricas de cimento presentes na região estudada. Para os ânions, as maiores taxas de contribuições atmosféricas observadas foram para SO_4^{2-} e HCO_3^- que foram relacionadas à presença de carvoarias, à queima de combustíveis fósseis e de bio massa. Esse estudo demonstra a importância de conhecer as contribuições atmosféricas para correção das cargas dissolvidas fluviais, antes de estimar a erosão química.

Com o intuito de avaliar o efeito da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica da bacia do rio Negro, Manaus, Pinto et al., (2009) estudaram as concentrações físico-químicas, as espécies químicas dissolvidas e os sólidos totais em suspensão em quatro pontos de coletas, estabelecidos ao longo do rio. Evidenciaram que os efeitos das atividades antrópicas refletiram nas mudanças de pH, CE, OD e NH_4^+ . Também observaram que nos períodos chuvosos (junho), onde o rio atingia seu volume máximo, ocorria diluição das espécies químicas estudadas, concluindo que a flutuação dos valores de concentração dependia, predominantemente, da pluviosidade.

Em um estudo sobre o balanço anual de cátions e ânions principais dissolvidos nas águas da bacia do rio do Meio, Conceição et al. (2010), avaliaram as possíveis influências antrópicas na composição química natural dessas águas fluviais. O cálculo do fluxo anual fluvial de cada espécie química, proveniente dos processos de alterações de rochas foi obtido pela diferença entre o fluxo anual fluvial e o fluxo dos aportes atmosféricos. A influência na composição química das águas fluviais foi avaliada através de um modelo de balanço de massa, considerando as concentrações das espécies químicas à montante e à jusante do município

de Leme, São Paulo, sendo corrigidas pelos aportes atmosféricos. Os cátions e ânions mais representativos do aporte antrópico seguiram a ordem de importância de PO_4^{3-} (61%), Mg^{2+} (49%), SO_4^{2-} (41%), NO_3^- (34%), Cl^- com (32%), Na^+ (31%), HCO_3^- (26%), K^+ (16%) e Ca^{2+} (7%). De acordo com os autores, os esgotos domésticos foram às fontes relacionadas à Na^+ , PO_4^{3-} e NO_3^- . Já o Ca^{2+} , parte do Na^+ e o Mg^{2+} estiveram associados às atividades agroindustriais, enquanto que concentrações dos elementos PO_4^{3-} , do NO_3^- e do K^+ se mostraram oriundas das atividades agrícolas. As taxas anuais de deposição de Na^+ e Mg^{2+} das águas pluviais foram relacionadas à mineração na região, enquanto que NO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^- a queima de combustíveis fósseis e da cana-de-açúcar.

Mortatti, Vendramini e Oliveira (2012) estudaram a influência de aportes antrópicos relacionados principalmente a esgotos domésticos na carga dissolvida fluvial do rio Piracicaba - SP. As águas fluviais foram avaliadas em termos das principais espécies inorgânicas dissolvidas. O cálculo das porcentagens de influência antrópica para cada espécie química estudada levou em consideração a caracterização química e a quantificação da carga *per capita* dessas espécies químicas presentes nos efluentes brutos, em cinco pontos de amostragem, corrigindo apenas o número atual de habitantes da bacia de drenagem e a porcentagem de esgotos lançados sem tratamento. Os autores ressaltaram que as cargas totais dos efluentes brutos da área central urbana, do município de Piracicaba, foram importantes não somente nos períodos chuvosos, quando a carga transportada é maior, mas também ao longo do ano. Dentre os cátions principais o Na^+ , Ca^{2+} e NH_4^+ foram os que apresentaram maior aporte diário, mas foi o NH_4^+ quem apresentou maior contribuição para o canal fluvial na bacia de drenagem com 88,25%. Já entre os ânions principais o PO_4^{3-} foi o que mais contribuiu para o rio, com 90,48%.

Queiroz et al. (2011) caracterizaram o processo de intemperismo e a contribuição antrópica da bacia de drenagem do rio Paquequer, Teresópolis – RJ, analisando os sedimento em suspensão e o material dissolvido em quinze pontos de amostragem ao longo da bacia de drenagem. Ao analisar as águas fluviais constataram que a sílica tinha origem do intemperismo de rochas e os íons cloreto outra parte eram provenientes das águas pluviais e do lançamento de efluentes domésticos, sendo o Na^+ originado das três fontes principais: águas pluviais, alteração de rochas e lançamentos antrópicos.

3. ÁREAS DE ESTUDO

Bacia do Rio Jundiaí

O rio Jundiaí nasce a noroeste da Serra da Mantiqueira, que localmente também recebe o nome de Serra da Pedra Vermelha, no município de Mariporã, São Paulo, em altitudes de 1000 a 1200 metros acima do nível de mar, e deságua no rio Tietê, em altitudes de aproximadamente de 550 metros, possuindo 104,09 km de extensão, sendo que seus principais afluentes são os rios Jundiaí Mirim e o Ribeirão Piraí (CETEC, 2000). A bacia drenagem em que o rio Jundiaí esta inserido tem 1.114 km² de área localizada entre as coordenadas 23°04' a 23°20' de latitude sul e 47°18' a 46°33' de longitude oeste.

O coeficiente de compacidade da bacia de drenagem do rio Jundiaí (relação entre o perímetro real da bacia e o perímetro de um círculo com área equivalente a bacia estudada) é de 1,668, indicando que está bacia é sujeita a enchentes (CBH-PCJ, 2002).

Bacia do Rio Capivari

O rio Capivari nasce na Serra do Jardim, entre os municípios de Itatiba e Jundiaí, São Paulo, a uma altitude de 750 metros acima do nível do mar, indo desaguar no rio Tietê, tendo um total de 171,34 km e um desnível topográfico pequeno de 250 metros. A bacia do rio Capivari possui 1.621 km², estando localizada entre as coordenadas 22°48' a 23°09' de latitude sul e 47°48' de longitude oeste, seus principais afluentes são o Ribeirão Sapezal, Picarrão, Areia Branca, Capivari Mirim e Água Doce.

O coeficiente de compacidade de bacia de drenagem do rio Capivari é próximo ao do rio Jundiaí, sendo de 1,801, indicando que esta bacia também é sujeita a enchentes (CBH-PCJ, 2002).

3.1 Localizações das estações de amostragem

Segundo a Lei nº 7663/91 (Política Estadual de Recursos Hídricos), a qual dividiu o estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), as bacias dos rios Jundiaí e Capivari estão inseridas na UGRHI-5 junto com a bacia do rio Piracicaba.

As bacias pertencentes da UGRH-5 (Jundiaí, Capivari e Piracicaba) encontram-se interligadas, devido as reversões existentes em seus recursos hídricos. O município de Jundiaí reverte até $1,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ do rio Atibaia para a represa existente no rio Jundiaí-Mirim, principal afluente do rio Jundiaí, o município de Campinas que capta $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no rio Atibaia, sendo que $1,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ é revertido, em forma de esgoto, para a bacia do rio Capivari (CBH-PCJ, 2012).

A Figura 1 apresenta a localização das bacias dos rios Jundiaí e Capivari, com os principais rios de sua rede de drenagem e as quatro estações de amostragens determinadas para esse estudo.

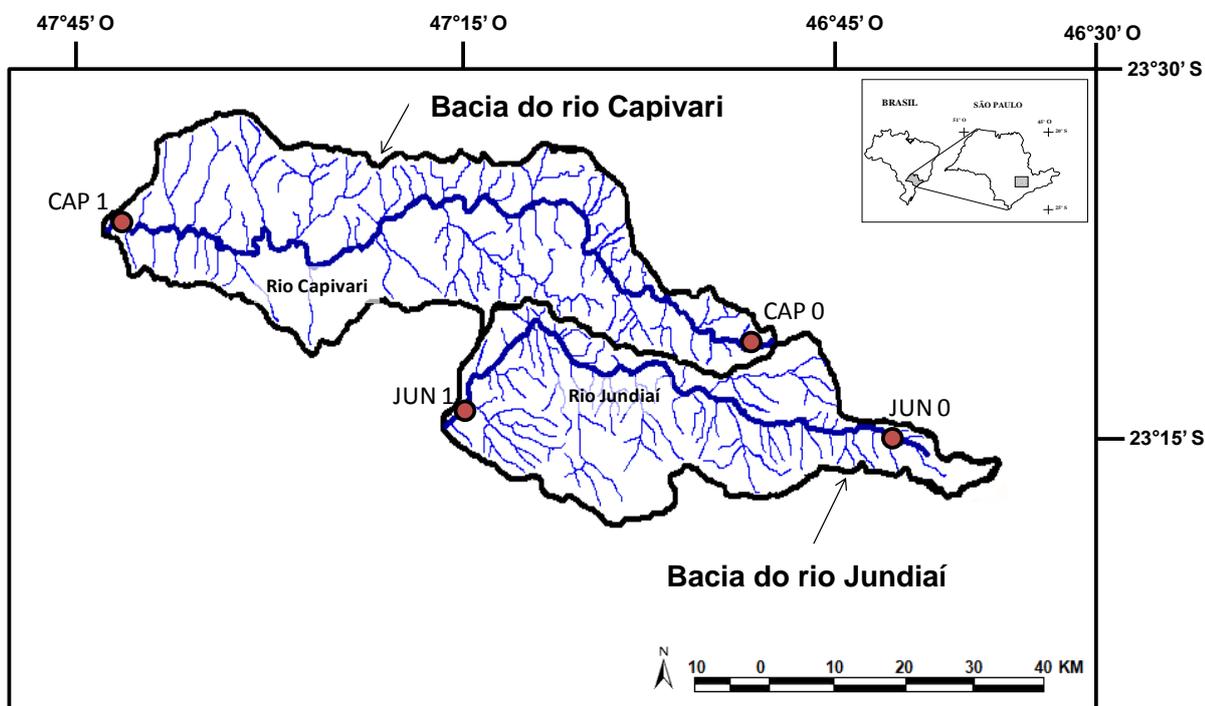


Figura 1 - Localização das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari com os principais rios de sua rede de drenagem e as estações de amostragem fluvial: JUN0-Nascente do rio Jundiaí; JUN1-Foz do rio Jundiaí; CAP0-Nascente do rio Capivari e CAP1-Foz do rio Capivari.

As quatro estações de amostragem (nascentes e foz dos rios Jundiáí e Capivari) foram estabelecidas de acordo com sua representatividade hídrica a partir de estudo cartográfico e visitação prévia de áreas de interesse, procurando avaliar os locais nos rios onde o canal fosse retilíneo, tanto a jusante como a montante, para uma obtenção de dados, principalmente de vazão sem interferências. As quatro estações de amostragem foram georreferenciadas com a utilização de um navegador GPS MIO C320.

A estação de amostragem JUN0, correspondente a nascente do rio Jundiáí, localiza-se na Estrada Municipal de Bragantina, no município de Campo Limpo Paulista, SP (Latitude: 23°12'22"S e Longitude: 46°43'32"O), drena uma área de aproximadamente 211,43 km², calculada a partir do levantamento cartográfico, representando 18,96% da área total da bacia do rio Jundiáí. Esta estação foi definida devido à localização, fácil acesso e pelo rio formar um canal onde não havia interferência nas medidas de vazão e coleta de amostras, condições não observadas na área mais próxima a nascente. É possível observar a estação de amostragem JUN0 (região próxima a nascente do rio Jundiáí) na Figura 2.

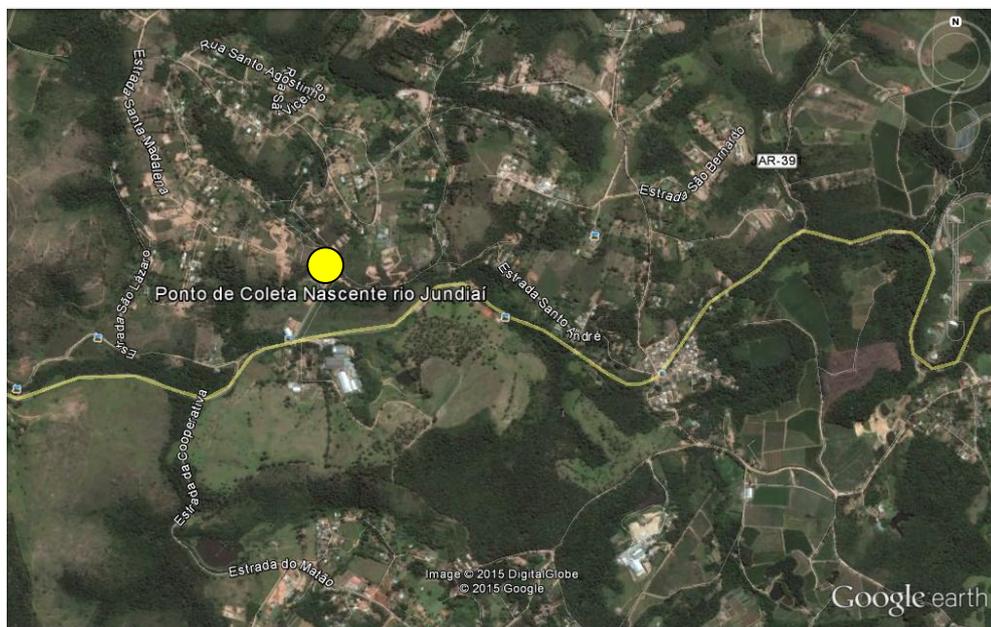


Figura 2 - Estação de amostragem JUN0 (Nascente do rio Jundiáí) e uso e ocupação do solo no entorno (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso julho 2012)

Próximo à área de nascente do rio Jundiá há vegetação de margem e áreas preservadas de vegetação nativa (verde mais escuro), porém também ocorre a presença de pequenas propriedades rurais que ainda não possuem sistemas de coletas de esgotos. As Figuras 3 e 4 ilustram o rio Jundiá na estação de amostragem JUN0 (região próxima a nascente do rio Jundiá), durante os períodos de seca e cheia.



Figura 3 - Rio Jundiá na estação de amostragem JUN0 (nascente do rio Jundiá) período de seca.



Figura 4 - Rio Jundiá na estação de amostragem JUN0 (região próxima a nascente do rio Jundiá) período de cheia.



Figura 6 - Rio Jundiáí na estação de amostragem JUN1 (foz do rio Jundiáí) período de seca.



Figura 7 - Rio Jundiáí na estação de amostragem JUN1 (foz do rio Jundiáí) período de cheia.

A estação de amostragem CAP0, região próxima a nascente do rio Capivari, localiza-se dentro de uma propriedade particular chamada Fazenda Bela Vista (latitude: 23°07'5"S e longitude: 46°50'34"O), no município de Jundiáí/SP, próxima a rodovia estadual SP-360. Drena uma área de aproximadamente 85,05 km², o que representa 5% da área total da bacia do rio Capivari. Observa-se na Figura 8 que próxima a nascente do rio Capivari há degradação das matas de margem, com presença principalmente de pastagens e culturas perenes, também é possível verificar um represamento da água próxima a nascente.



Figura 8 - Estação de amostragem CAP0 (Nascente do rio Capivari) e uso e ocupação do solo no entorno (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso julho 2012)

A Figura 9 ilustra a represa construída logo após a nascente do rio Capivari (A e B), a estação de amostragem CAP0 (C) e a placa indicativa da nascente do rio Capivari (D).



Figura 9 - Represa construída para represamento das águas da nascente, próxima à estação de amostragem CAP0 (A e B); Estação de amostragem CAP0 - nascente do rio Capivari (C) e placa de identificação colocada na nascente do rio Capivari (D).

A estação de amostragem CAP1 correspondente ao exultório final da bacia do rio Capivari, localizando-se em uma estrada de terra paralela a Rodovia Cornélio Pires, no km 64, próxima ao município de Tietê, SP, na coordenada: latitude $22^{\circ}59'22''S$ e longitude $47^{\circ}45'17,5''O$, a Figura 10 ilustra a estação de amostragem CAP1 (região próxima à foz do rio Capivari).



Figura 10 - Estação de amostragem CAP1 (foz do rio Capivari) e uso e ocupação do solo no entorno (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso julho 2012).

Foi possível verificar que próximo à estação de amostragem CAP1, região essencialmente agrícola, havia pouca mata ciliar no entorno do rio, com presença de pastagens e culturas anuais principalmente cana-de-açúcar, as Figuras 11 e 12 ilustram o rio Capivari na estação de amostragem CAP1 (foz do rio Jundiá), nos períodos de seca e cheia, respectivamente.



Figura 11 - Rio Capivari na estação de amostragem CAP1 (foz do rio Capivari) período de seca.



Figura 12 - Rio Capivari na estação de amostragem CAP1 (foz do rio Capivari) período de cheia.

3.2. Geologia e unidades estratigráficas

Para a elaboração do mapa geológico com as unidades liotestratigráficas, das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari (Figura 13), utilizaram-se como base os mapas geológicos apresentados por Perrota et. al. (2005), CBH-PCJ (2003) e UNESP (1986).

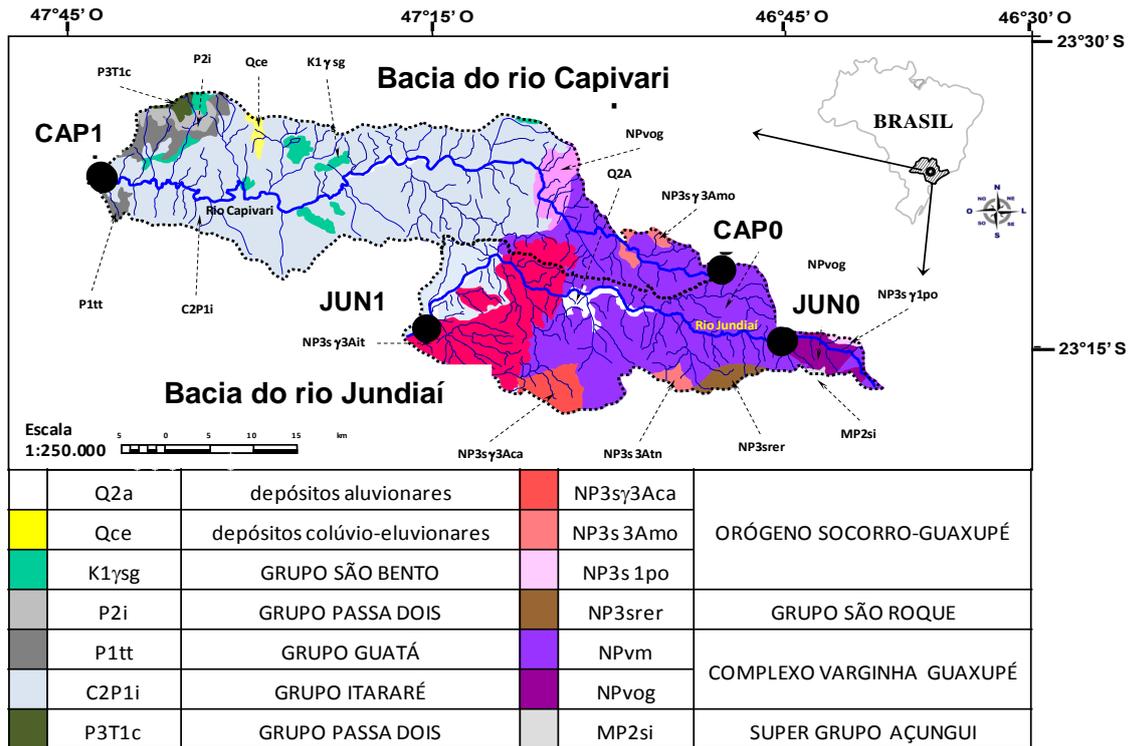


Figura 13 - Mapa geológico das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari, com suas unidades litoestratigráficas e sua rede de drenagem (modificado a partir de Perrota et al., 2005).

Predominantemente, a região da bacia do rio Jundiá está sobre o Embasamento Cristalino ou Embasamento Pré-Cambriano. No extremo oeste da bacia de drenagem ocorrem rochas sedimentares paleozóicas que formam as camadas basais da Bacia Sedimentar do Paraná e, compondo corpos descontínuos, existem ainda depósitos sedimentares cenozóicos inconsolidados (NEVES, 2005).

De acordo com Perrota et al., 2005, a bacia do rio Jundiá é composta por estruturas geológicas, com períodos de formação no Mesoproterozóico (Super Grupo Açungui), Neoproterozóico-Criogeniano (Complexo Varginha Guaxupé), Neoproterozóico-Edicadiano (Magmatismo relacionado ao Orógeno Socorro-Guaxupé e Grupo São Roque), Paleozóico-Carbonífero (Grupo Itararé) e Cenozóico-Holoceno (Depósitos aluvionares).

A bacia do rio Capivari, encontra-se localizada sobre o Embasamento Cristalino, com predomínio de gnaisses, e rochas milonitizadas do Complexo Itapira e por Granitos indiferenciados na porção leste. Na porção central e oeste é constituída de rochas intrusivas básicas e sedimentares da Bacia do Paraná

(COLLARES, 2000). De acordo com Perrota et al. (2005), a bacia do rio Capivari é composta por estruturas geológicas, com períodos de formação no Neoproterozóico-Criogeniano (Complexo Varginha Guaxupé), Neoproterozóico-Edicadiano (Magmatismo relacionado ao Orógeno Socorro-Guaxupé), Paleozóico-Triássico (Grupo Passa Dois), Paleozóico-Carbonífero (Grupo Itararé), Paleozóico-Permiano (Grupo Guatá), Mesozóico-Triássico (Grupo Passa Dois), Mesozóico-Cretáceo (Grupo São Bento), Cenozóico-Pleistoceno (Depósitos colúvio-eluvionares) e Cenozóico-Holoceno (Depósitos aluvionares).

A Tabela 1 constitui uma forma de apresentação proposta por Perrota et al.,(2005), descrevendo a Era e o Período de formação, Agrupamento, Simbologia e Litologia das Unidades Litoestratigráficas presentes nas bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari.

Tabela 1 - Unidades litoestratigráficas das bacias dos rios Capivari e Jundiá (PERROTA et al., 2005).

ERA (PERÍODO)	AGRUPAMENTO	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO BACIA	UNIDADE GEOTECTÔNICA	LITOLOGIA
CENOZÓICO (HOLOCENO)		DEPÓSITOS ALUVIONARES	Q2a / rio Jundiá e rio Capivari		areia, areia quartzosa, cascalheira, silte, argila
CENOZÓICO (PLEISTOCENO)		DEPÓSITOS COLÚVIO-ELUVIONARES	Qce / rio Capivari		areia, silte e argila
MESOZÓICO (CRETÁCEO)	GRUPO SÃO BENTO	BACIA SERRA GERAL	K1 ₇ sg / rio Capivari	PROVÍNCIA PARANÁ	basalto e andesito basáltico tholeítico, riocacito, intercala camadas de arenito, litarenito e arenito vulcânico
MESOZÓICO (TRIÁSSICO)	GRUPO PASSA DOIS	BACIA DO PARANÁ	P2i / rio Capivari	FORMAÇÃO IRATI	folhelho, silito e argilito cinza escuro, calcário, margas e folhelho betuminoso com fósseis de répteis mesossaurídeos, ambiente marinho, com decantação em profundidades abaixo do nível das ondas, períodos de estratificação da coluna de água ou com influência de tempestades
PALEOZÓICO (PERMIANO)	GRUPO GUATÁ	BACIA DO PARANÁ	P1tt / rio Capivari	FORMAÇÃO TATUÍ	silito e silito arenoso de cor cinza, arenito fino quartzoso, arenito cinza-esverdeado médio a grosso e imaturo, calcário e silxito, ocasionais fragmentos e níveis de carvão, nódulos de pirita, ambiente marinho raso
PALEOZÓICO (CARBONÍFERO)	GRUPO ITARARÉ	BACIA DO PARANÁ	C2P1i / rio Jundiá e Capivari	GRUPO ITARARÉ INDIVISO	arenito, tilito, silito, folhelho, ritmito, conglomerado e raras camadas de carvão, ambiente glácio-marinho

Tabela 1 - Unidades litoestratigráficas das bacias dos rios Capivari e Jundiá (Perrota et al., 2005).					
					Continuação
PALEOZÓICO (TRIÁSSICO)	GRUPO PASSA DOIS	BACIA DO PARANÁ	P3T1c / rio Capivari	FORMAÇÃO CORUMBATAÍ	siltito argiloso, folhelho siltico e raro arenito, calcário micrítico e microesparítico, maciço ou laminado, sucedidos por arenito, interlaminação entre arenito, siltito e argilito, siltito, silitio e siltito arenoso, calcário micrítico e marga, ambiente marinho de costa-afora a transicional entre costa-afora e face de praia.
NEOPROTEROZÓICO (EDICARIANO)	MAGMATISMO RELACIONADO AO ORÓGENO SOCORRO-GUAXUPÉ	PROVÍNCIA TOCANTINS (TERRENO SOCORRO-GUAXUPÉ)	NP3s ₃ Aca rio Jundiá	GRANITOS PERALCALINOS, TIPO A (NP3s ₃ A): Itu (it), Cachoeira (ca), Terra Nova (tn), Morungaba (mo)	
			NP3s ₃ Amo / rio Jundiá e rio Capivari		
			NP3s ₁ po / rio Jundiá	GRANITOS FOLIADOS, QUIMICAMENTE INDIFERENCIADOS (NP3s ₁ C): portão (po)	
	GRUPO SÃO ROQUE	PROVÍNCIA MANTIQUEIRA (TERRENO APIÁ)	NP3srer rio Jundiá	FORMAÇÃO ESTRADA DOS ROMEIROS	biota-sericita filito, metacóseo, quartzito, calcissilicática, anfibolito, metabásica e quartzilito fino, metarritmito, metarenito e metagrauvaca
NEOPROTEROZÓICO (CRIOGENIANO)	COMPLEXO VARGINHA GUAXUPÉ	PROVÍNCIA TOCANTINS (TERRENO SOCORRO-GUAXUPÉ)	NPvm / rio Jundiá e rio Capivari	UNIDADE PARAGNÁSSICA MIGMÁTICA SUPERIOR	(cordierita)-granada-(sillimanita)-biotita-gnaiss, micaxisto, nebulito gnaissico-granítico e ortognaisses intrusivos, metapsamito com metacarbonato e gnaiss calciossilicático, gnaiss básico
			NPvog / rio Jundiá e rio Capivari	UNIDADE ORTOGNÁSSICA MIGMATITICA INTERMEDIÁRIA	biotita-hornblenda nebulito de composição granodiorítica, granítica, sienítica e monzonítica, granito gnássico anatótico metaluminoso
MESOPROTEROZÓICO (ECTASIANO)	SUPER GRUPO AÇUNGUI (SUBGRUP. LAGEADO)	PROVÍNCIA MANTIQUEIRA	MP2si rio Jundiá	GRUPO SERRA DO ITABERABA	xisto, rocha calcissilicática, metapelito, metabasito, metandesito, metatufo, metamáfica

3.3 Aspectos geomorfológicos e susceptibilidade à erosão

Os principais aspectos geomorfológicos da bacia de drenagem dos rios Jundiá e Capivari podem ser visto na Figura 14, baseado nos mapa geomorfológicos apresentados na publicação do relatório anual de situação dos recursos hídricos por CBH-PCJ (1999; 2009; 2014).

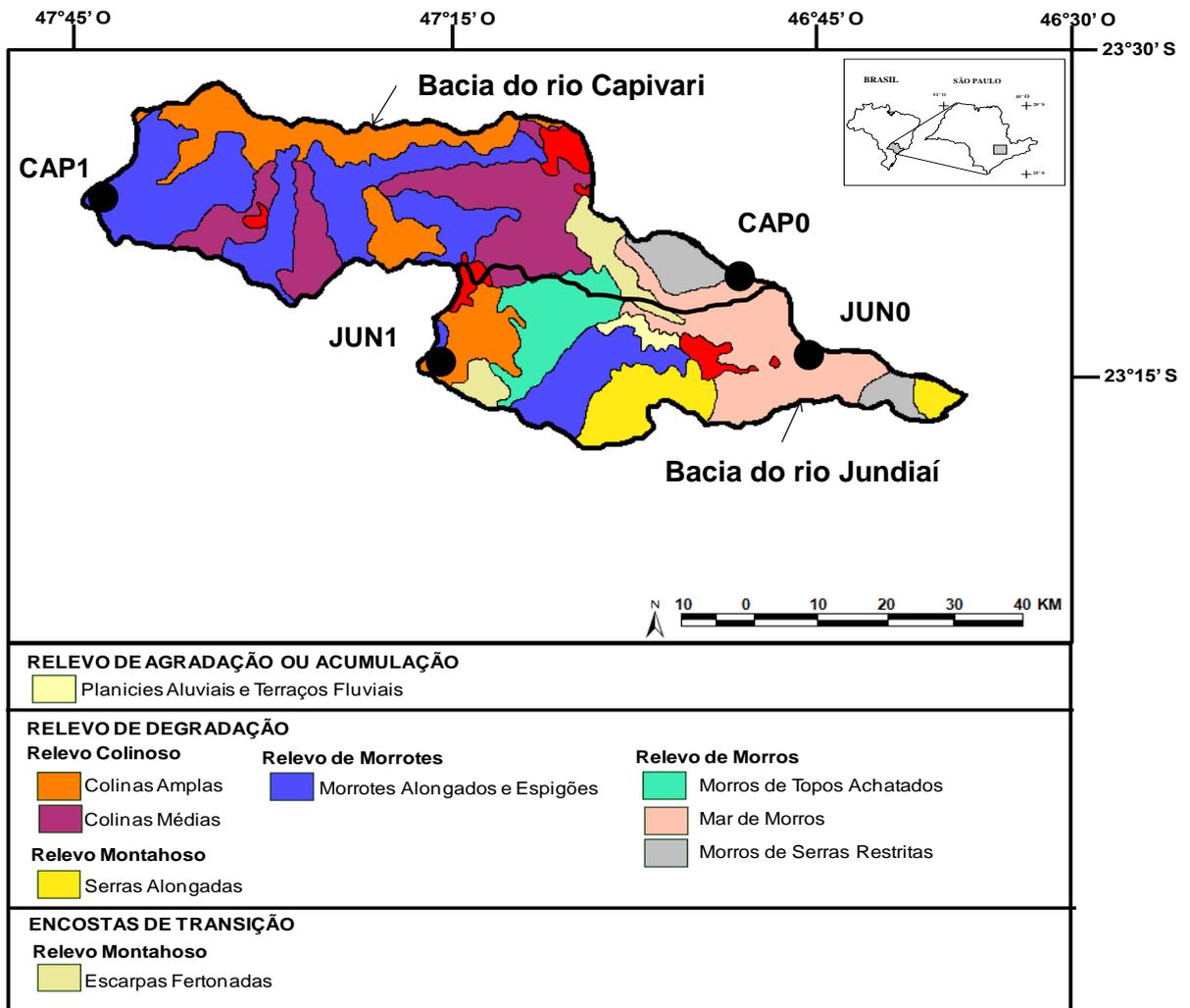


Figura 14 - Principais aspectos geomorfológicos das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari (Modificado a partir de CBH-PCJ, 1999).

Próximo a nascente do rio Jundiá destaca-se a presença do relevo montanhoso (relevo de degradação), onde há o predomínio de declividades médias e altas (acima de 15%) com amplitudes locais acima de 300m, denominados de serras alongadas devido à característica de topos angulosos, vertentes ravinadas

com perfis retilíneos, por vezes abruptos, sendo considerada como de drenagem de alta densidade devido à presença de vales fechados.

No interior da bacia de drenagem, na direção da nascente para a foz do rio Jundiáí, ocorre à presença do relevo de morros (relevo de degradação) onde a declividade é de alta a média e amplitudes locais de 100 a 200 m. Essa região foi classificada três unidades denominadas de: Morros de Serras restritas, por apresentarem topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos, por vezes abruptos, com drenagem de alta densidade e planícies aluvionares interiores restritas, Mar de Morros que são caracterizados por apresentarem topos arredondados, vertentes com perfis convexos e retilíneos, a drenagem é de alta densidade, com padrão dentrítico a retangular, vales abertos e fechados, planícies aluvionares interiores desenvolvidas, constituindo um conjunto de formas em “meia laranja” e Morros de Topos Achatados com predominância de topos achatados e extensos, vertentes com perfis retilíneos e convexos.

Vale destacar, que no interior da bacia, junto às margens do rio Jundiáí ocorre as Planícies Aluviais ou Terraços Fluviais, que são relevos de agradação ou acumulação, caracterizados por terrenos horizontais ou levemente inclinados, alçados de poucos metros em relação às margens.

Próximo à foz do rio Jundiáí o relevo é colinoso tendo como característica a baixa declividade (0 a 15%) e amplitudes inferiores a 100 m. Na região há a presença da unidade denominada Colinas Médias onde há o predomínio de interflúvios com áreas de 1 a 4 km², topos aplainados, perfis convexos e retilíneos. A drenagem se constitui de média a baixa densidade, vales abertos a fechados, com planícies aluviais interiores restritas.

Na bacia do rio Capivari, próximo à área da nascente, a declividade é de média a alta (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 200 m, classificada como morros de Topos Achatados onde há o predomínio de topos achatados e extensos, vertentes com perfis retilíneos e convexos, de drenagem de média densidade e vales fechados.

Após a área de nascente, o rio Capivari percorre por um relevo de encostas de transição onde as amplitudes são maiores que 100 m e altas declividades (acima de 30%) e são denominadas de Escarpas Festonadas que são caracterizadas por escarpas desfeitas em anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos.

Na parte central da bacia de drenagem do rio Capivari o relevo é colinoso (relevo de degradação) com predomínio de baixa declividade (0 a 15%) e amplitudes locais inferiores a 100 m, sendo denominada de Colinas Médias devido a presença de topos aplainados, vertentes com perfis convexos e retilíneos, com drenagem média a baixa densidade, vales abertos, com planícies aluviais interiores restrita.

Na foz do rio Capivari ocorre o tipo de relevo de Morrotes Alongados e Espigões, caracterizado pelo predomínio de interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. A drenagem foi classificada de média a alta densidade com vales fechados. Declividades médias e altas (acima de 15%) e amplitudes locais inferiores a 100 m. A Figura 15 ilustra a distribuição da susceptibilidade aos processos erosivos ao longo das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari.

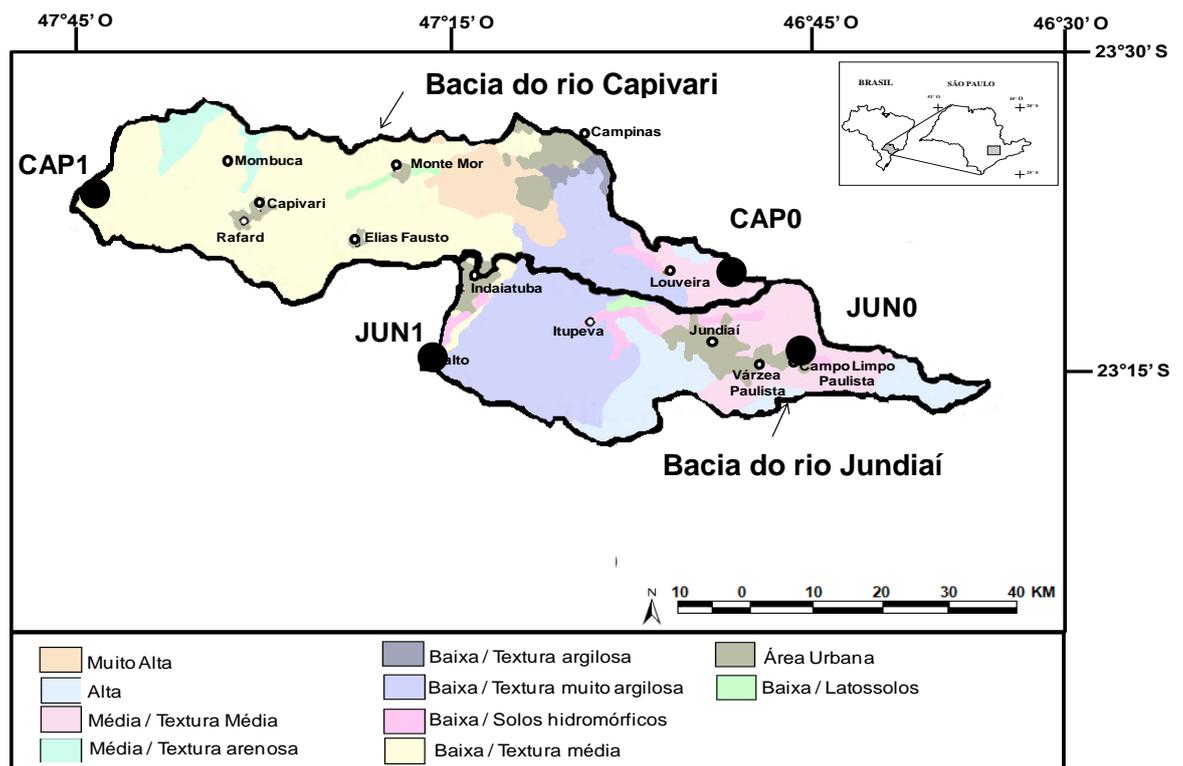


Figura 15 - Mapa de Susceptibilidade à Erosão para as bacias de drenagem dos Rios Jundiá e Capivari (Modificado a partir de CBH-PCJ, 2012).

Dessa forma, as regiões de nascente dos rios Jundiá e Capivari concentram os níveis de fragilidade de potenciais mais elevados (susceptibilidade alta e média) estando sujeitas a processos erosivos, intensificado pelo tipo de uso e ocupação do solo, principalmente pelo desmatamento da região. Próximo às regiões de foz das

bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari e em grande parte das áreas de drenagens a fragilidade potencial é baixa, entretanto há ocorrências de processos erosivos associados ao uso e ocupação do solo.

3.4 Uso e ocupação do solo

Os principais usos e ocupações dos solos das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari podem ser visto na Figura 16, a elaboração do mapa com as principais classes de uso do solo foram obtidos junto ao relatório final da situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (CBH-PCJ, 2004; 2007; 2013).

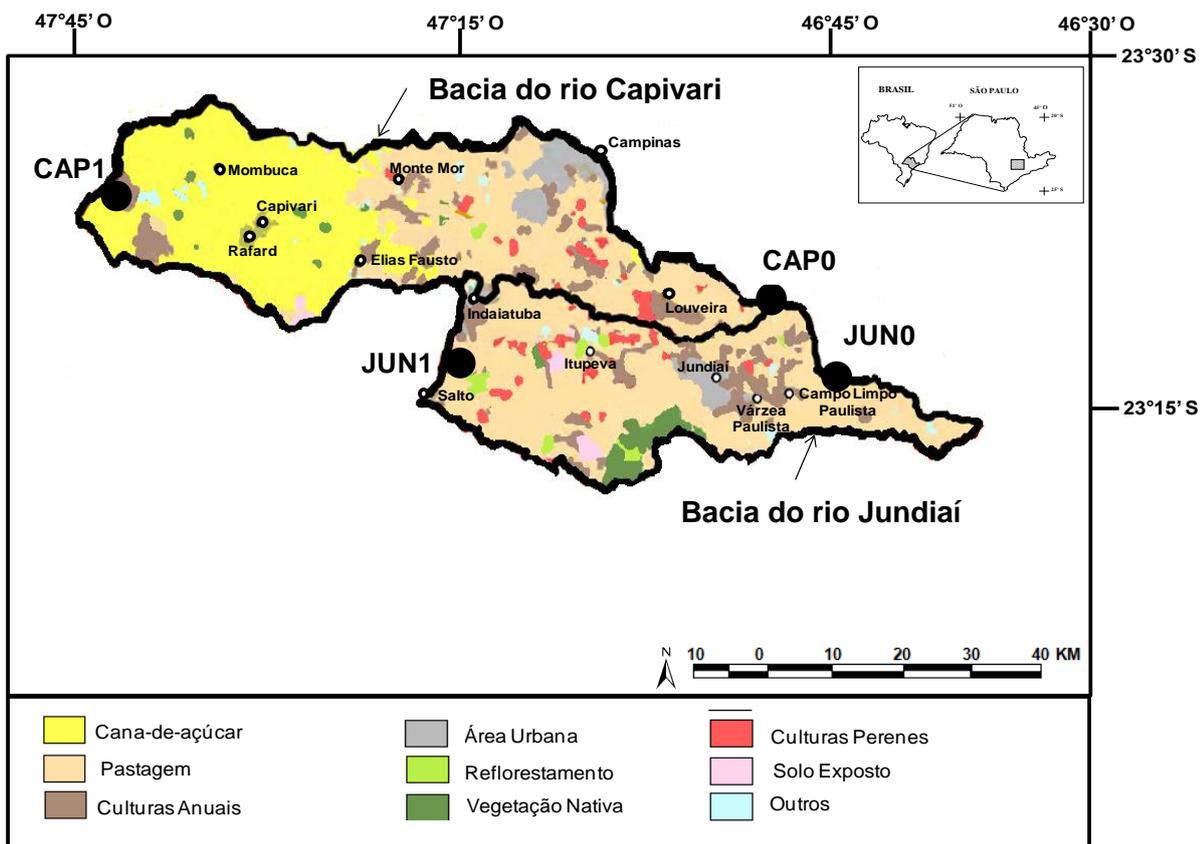


Figura 16 - Mapa de uso e ocupação do solo das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari e os principais municípios dessas bacias (Modificado CBH-PCJ, 2004, 2007,2013)

De maneira geral, pode ser observado um predomínio de pastagem na bacia de drenagem do rio Jundiá, com pequenas regiões de culturas perenes. Como descrito por Neves et al., (2006), um diferencial da bacia de drenagem do rio

Jundiaí, comparativamente as bacias vizinhas, é que existe uma maior extensão percentual de fragmentos remanescentes de áreas vegetadas, incluindo cobertura vegetal natural, concentrada na região da Serra do Japi, sendo composta por remanescentes de Mata Atlântica incluindo Capoeira, Cerrado, Campo Serrado e Vegetação Natural de Várzea e reflorestamento por espécies exóticas, como eucalipto e *pinus* (SÃO PAULO, 2000).

Em termos de ocupação do solo, a bacia do Rio Jundiaí apresenta áreas urbano-industriais em pleno desenvolvimento, com contínuo parcelamento do solo e a criação de chácaras de recreio, que acabam exercendo uma pressão negativa sobre as áreas remanescentes. Também existem atividades mineradoras de areia, brita para construção civil e argila para cerâmica vermelha, que muitas vezes atuam sem licença do órgão competente.

O adensamento urbano dos municípios que estão inseridos na bacia de drenagem do rio Jundiaí, segundo levantamento IBGE (2013) são: Atibaia (130.606 habitantes), Campo Limpo Paulista (76.729 habitantes), Várzea Paulista (111.336 habitantes), Jundiaí (382.363 habitantes), Itupeva (49.061 habitantes), Salto (108.450 habitantes), Indaiatuba (215.670 habitantes) e Jarinu (25.640 habitantes).

Na bacia do rio Capivari os principais usos e ocupações do solo se constituem de atividades hortifrutigranjeiras, com predomínio da cultura de cana-de-açúcar que prevalecem no setor central da bacia até a foz do rio Capivari. Segundo Collares (2000) principalmente na cabeceira da bacia ocorre o cultivo de hortifrutigranjeiros, com destaque para o município de Louveira e nas áreas periféricas das cidades de Jundiaí, Campinas e Elias Fausto. Nessa região, diferentemente da bacia do rio Jundiaí, não ocorre a presença de remanescentes de cobertura vegetal natural ou mesmo reflorestamento.

Em todos os municípios da bacia ocorrem atividades industriais, mas a área mais representativa é no entorno do município de Campinas e ao longo dos eixos das rodovias Anhanguera, Bandeirantes e Santos Dumont.

Segundo o descrito pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE, 2013), na bacia de drenagem do rio Capivari, estão inseridos os municípios de Louveira (40.668 habitantes), Vinhedo (67.899 habitantes), Valinhos (113.022 habitantes), Jundiaí (382.363 habitantes), Monte Mor (52.039 habitantes), Elias Fausto (16.265), Capivari (50.252 habitantes), Rafard (8.705 habitantes), Mombuca (3.287 habitantes), Rio das Pedras (31.042 habitantes), Indaiatuba

(215.670 habitantes) e o município de Campinas (1.112.050 habitantes), que mesmo estando parcialmente inseridos na bacia de drenagem do rio Capivari apresenta a maior taxa de urbanização e um grande adensamento populacional (IBGE, 2013).

3.5 Principais tipos de solos

As principais classes de solos encontrados nas bacias dos rios Jundiá e Capivari podem ser visualizados no mapa Pedológico (Figura 17) elaborado a partir do mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA, 1999), atualizado com as novas nomenclaturas do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006).

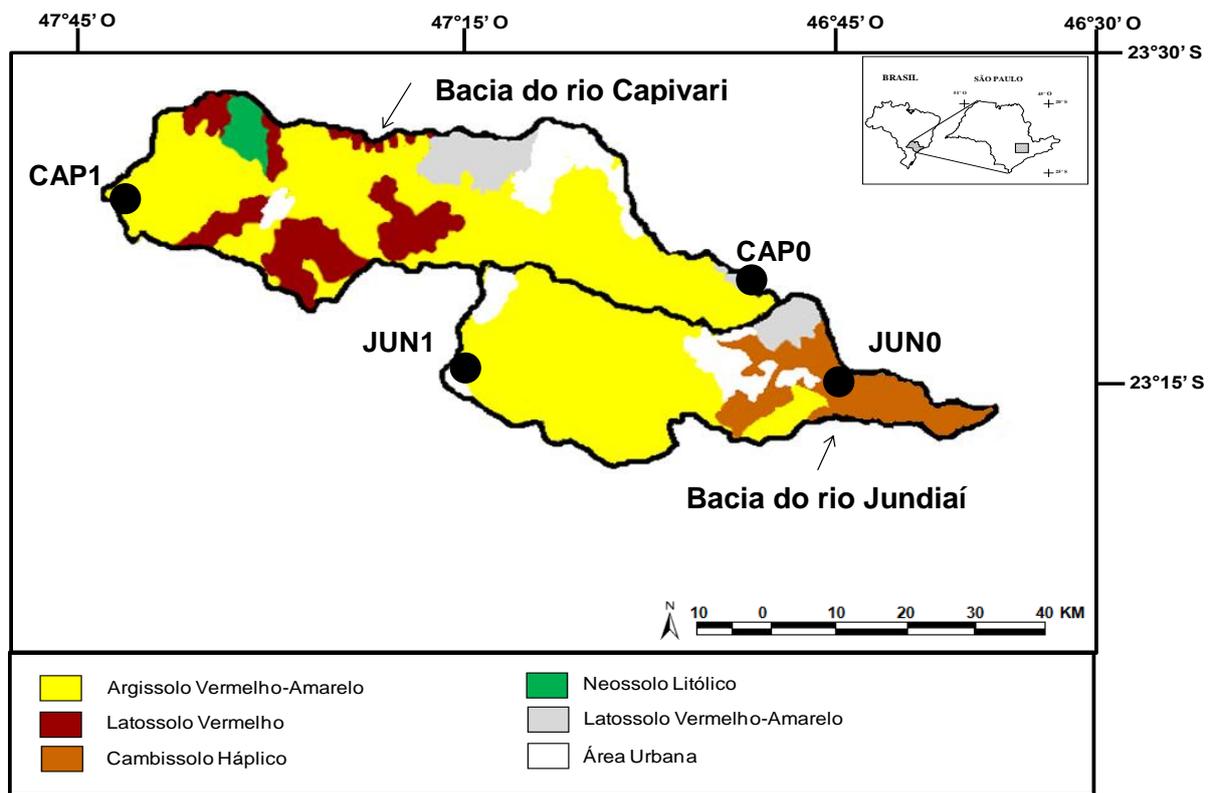


Figura 17 - Mapa Pedológico das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari, evidenciando as principais classes de solos das bacias estudadas (modificado a partir de Oliveira, 1999).

A bacia do rio Jundiá apresenta três principais classes de solos (OLIVEIRA et al., 1999), nas áreas de nascentes do rio Jundiá predominam os solos Cambissolos Háplicos (representam 20% da bacia de drenagem) e na foz bem como na maior extensão da bacia de drenagem do rio Jundiá, os Argissolos Vermelho-Amarelos (74% da bacia de drenagem) e a nordeste da bacia do rio Jundiá os Latossolos Vermelho-Amarelos em menor extensão (6%).

Na bacia do rio Capivari há quatro principais classes de solos, com predominância dos solos Argissolos Vermelho-Amarelos (representa 76% da bacia de drenagem), tanto nas nascentes como na foz, seguido dos Latossolos Vermelhos (17%), Latossolos Vermelho-Amarelos (4%), e os Neossolos Litólicos (3%) (OLIVEIRA et al., 1999).

De forma geral a classe dos Argissolos compreende solos constituídos por material mineral com argila de baixa atividade e horizonte B textural (Bt) logo abaixo do horizonte A. Tais solos possuem considerável teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, profundidade drenagem variável (alta a imperfeitamente drenados) e de cores avermelhadas ou amareladas (EMBRAPA, 2006). São solos originados de rochas básicas ou ricas em minerais ferromagnesianos, por isso apresentam cor avermelhada e elevados teores de cátions trocáveis (OLIVEIRA et al., 1999).

Os solos da classe dos Latossolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial (EMBRAPA, 2006). São solos bastantes intemperizados, e com alta capacidade de troca catiônica da fração argila baixa. Seu horizonte B é característico pela forte alteração dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo e de minerais de argila 2:1, seguida de intensa dessilicificação, lixiviação de bases e concentração de sesquióxidos, argila do tipo 1:1 e minerais primários resistentes ao intemperismo. São solos característicos de serem muito ácidos (baixa saturação por bases), distróficos e com presença de óxidos de ferro e de alumínio, minerais de argila 1:1, quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo (EMBRAPA, 2006).

Os Latossolos Vermelhos apresentam na maior parte dos 100 cm do horizonte B matiz 2,5YR, enquanto os Latossolos Vermelho Amarelo apresentam solos com matiz 5YR ou mais vermelhos e mais amarelos que 2,5YR na maior parte nessa porção do horizonte B (OLIVEIRA et al., 1999).

Os Neossolos Litólicos já se apresentam caracterizados como solos com horizonte A, diretamente dispostos sobre a rocha ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões), que apresentam um contato lítico típico dentro de 50 cm da superfície do solo. Em alguns casos, ocorre horizonte B, porém em início de formação, cuja espessura não satisfaz qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2006).

3.6 Clima

O clima na região, das duas bacias de drenagem, sofre influência das massas de ar Tropical Atlântica, Tropical Continental e Polar Atlântica (NEVES, 2006; SÃO PAULO, 2000) provocando diferenças regionais dadas pela distância em relação ao mar e por fatores topoclimáticos, como nas Serras da Mantiqueira. De modo geral, o clima é do tipo Cwa, Cfa e Cfb, determinadas segundo a classificação climática do Estado de São Paulo pelo sistema internacional de Köppen (1948) (SETZER, 1966).

O tipo Cwa é caracterizado por um clima subtropical, de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (temperaturas superiores a 22°C). O tipo Cfa, também é caracterizado pelo clima subtropical, com verão quente. As temperaturas são superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco. O período chuvoso ocorre entre os meses de outubro e abril, e o de estiagem, entre maio e setembro (PELLEGRINO, 1995).

O clima Cfb apresenta verão brando e inverno mais frio, podendo ser considerado Temperado. Essa variação no clima está relacionada possivelmente pela topografia acidentada característica da região, situada na transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica, além das influências das massas de ar vindas do oceano (SETZER, 1966; NEVES, 2006).

3.7 Caracterização hidrológica dos regimes pluviométricos e fluviométricos

Os principais aspectos hidrológicos das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari foram estudados, utilizando a série histórica de 1958 a 1996, a partir de dados diários, sendo os fluviométricos compilados do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) pelo programa do Sistema de Informações Hidrológicas

(HIDROWEB) acessado pela internet no endereço: <http://hidroweb.ana.gov.br/> em 2011, para as estações de amostragem Monte Mor (22°57'S, 47°17'O e código ANA 62420000) e Itupeva (23°09'S, 47°03'O e código da ANA 62395000), respectivamente para as bacias dos rios Capivari e Jundiáí. Os dados pluviométricos fornecidos pelo Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH), acessado pela internet no endereço: <http://www.sigrh.sp.gov.br> em 2011, para as estações de amostragem Capivari (23°00'S, 47°30'O e código D4-069, DAEE) e estação Ermida (23°12'S, 46°59'O e código E3-053, DAEE), para o rio Jundiáí.

A escolha dessas estações de amostragem levou em consideração a disponibilidade de dados para o mesmo período de estudo e a sua representatividade nas bacias de drenagem. As distribuições médias mensais de precipitação e de vazão, dos rios Jundiáí e Capivari podem ser observadas na Figura 18.

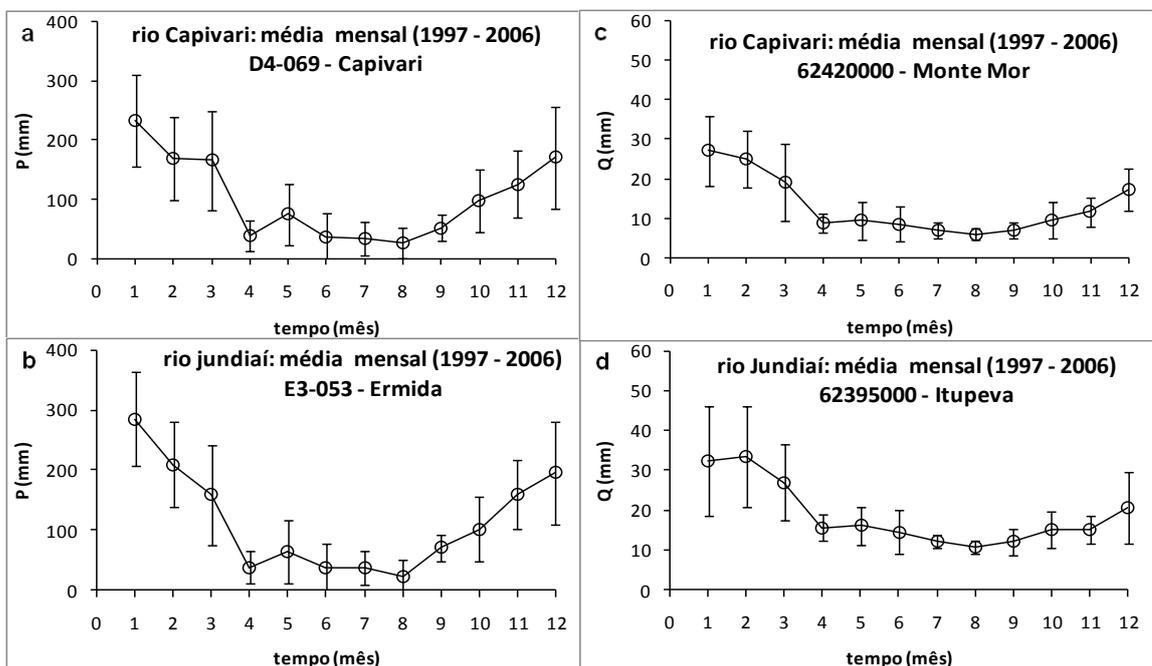


Figura 18 - Médias mensais de precipitação (a: rio Capivari, b: rio Jundiáí) e de vazão (c: rio Capivari, d: rio Jundiáí), nas bacias dos rios Capivari e Jundiáí no período de 1997 a 2006.

Foi possível observar uma precipitação média anual, da série histórica de 1997 a 2006, para as bacias dos rios Capivari e Jundiá de $1225,7 \pm 92,7$ mm e $1368,14 \pm 188,60$ mm, respectivamente. O mês mais chuvoso para as bacias foi em janeiro com $233,27 \pm 78,3$ mm e $285,01 \pm 89,9$ mm e o mês mais seco foi em agosto com $26,90 \pm 26,2$ mm e $24,02 \pm 18,2$ mm, para as bacias dos rios Capivari e Jundiá, respectivamente.

As vazões médias anuais para o mesmo período foram de $8,20 \pm 0,8$ m³ s⁻¹ e $8,15 \pm 1,5$ m³ s⁻¹ para as bacias dos rios Capivari e Jundiá, respectivamente. A maior média mensal do rio Capivari foi em janeiro ($27,23 \pm 8,8$ m³ s⁻¹) e menor em agosto ($6,99 \pm 2,17$ m³ s⁻¹). Já o rio Jundiá teve a maior média mensal em fevereiro ($32,33 \pm 13,8$ m³ s⁻¹) e menor em agosto ($10,73 \pm 1,5$ m³ s⁻¹).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Materiais e equipamentos de laboratório utilizados

O desenvolvimento metodológico do presente estudo envolveu a utilização de diversos equipamentos e materiais, sendo os principais relacionados abaixo.

- Amostrador pontual de estágio simples para águas fluviais;
- Corda de 40 m;
- Cromatógrafo iônico Dionex - ICS-90;
- Espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado ICP-OES, Optima 3000 DV;
- Espectrômetro de Massa acoplado a um cromatógrafo gasoso – Analisador Automático de Carbono e Nitrogênio ANCA-GSL Hidra 20-20;
- Evaporador rotativo sob vácuo Marconi MA120;
- Estufa de secagem com circulação forçada de ar Marconi MA037;
- Medidor digital de pH portátil Digimed DM2;
- Medidor digital de condutividade e temperatura portátil Digimed DM4;
- Freezer horizontal Reubly CHDA 41;
- Microbureta de 2 mL Gilmont, para a microtitulação de Gran;
- Bomba manual de vácuo Mityvac, -100 kPa
- Sistema de filtração manual à vácuo;
- Filtros de membrana em ésteres de acetato celulose (0,45 µm, com 47 mm de diâmetro - Millipore);
- Filtros de membrana de fibra de vidro (0,3 – 0,6 µm com 47 mm de diâmetro - Millipore);
- N₂, gás inerte;
- Frascos de polietileno (100, 500 e 1000 mL);
- Vidraria convencional de laboratório;
- Frascos de vidro (100, 500 e 1000 mL);
- ✓ Sais e ácidos para preparo de soluções e padrões para cromatografia iônica: NH₄NO₃; CaCl₂; LiCl; NaF; NaNO₂; NaBr; NaH₂PO₄; Na₂SO₄; teor 99,0%, Merck; NaCl; KCl; teor 99,5%, Merck; NaHCO₃; teor 99,7%, Merck; Na₂CO₃; teor 99,9%, Merck; MgCl₂; teor 99,0%, Labsynth; NaCH₃COO; teor 99,0%, J. T. Backer; H₂SO₄; HNO₃; HCl; p.a.; Ácido Metanosulfônico (CH₄O₃S), 98%; Hidróxido Tetrabutilamonio – TBAOH (C₁₆H₃₇NO), solução 40%, Vetec

4.2. Desenvolvimento metodológico

O desenvolvimento metodológico proposto para o presente trabalho foi elaborado a partir dos protocolos de amostragem e de determinações químicas constantes do projeto de pesquisa: “Hidrogeoquímica dos rios Jundiaí e Capivari, SP: aspectos da influência antrópica nas cargas dissolvidas e particuladas” coordenado pelos professores Drs. Helder de Oliveira e Jefferson Mortatti (FAPESP - Processo nº 2010/19263-3) os quais foram modificados e ampliados para atender ao objetivo do presente trabalho.

4.2.1. Protocolo de amostragem

As amostragens de águas fluviais e sedimentos finos em suspensão foram realizados no período de 19/04/2011 a 16/12/2012, em 15 excursões nas quatro estações de amostragens definidas ao longo das bacias de drenagem dos rios Jundiaí (JUN0 - nascente e JUN1 - foz) e Capivari (CAP0 - nascente e CAP1 - foz).

4.2.1.1. Amostragem de águas fluviais – Brutas e preservadas

Foram coletadas cerca de 500 mL das águas fluviais, em triplicata, nas quatro estações de amostragem, utilizando um amostrador pontual de estágio simples (Figura 19), adaptado por Mortatti (1995) para rios de médio porte. As amostras foram coletadas no eixo principal da corrente e nas margens direita e esquerda do rio, a 1,5 m de profundidade, sendo posteriormente compostas em uma única amostra para maior representatividade da estação de amostragem. Da mesma maneira, e nas mesmas estações de amostragem, também foram coletadas 1L amostras de águas fluviais que foram posteriormente preservadas (foram adicionados 1 mL de H₂SO₄ concentrado por litro de amostra de água fluvial coletada, sendo adicionado o ácido após a etapa de filtração, em ambiente de laboratório), tal procedimento foi realizado para preservação do DOC (Carbono orgânico Dissolvido) e NOC (Nitrogênio Orgânico Dissolvido).



Figura 19 - Sistema de amostrador, composto por uma carretilha fixada à ponte (A) e o amostrador pontual de estágio simples utilizado para coleta das águas fluviais (B).

Vale destacar que na estação de amostragem CAP0, referente à nascente do rio Capivari, as coletas de águas fluviais não foram realizadas utilizando o sistema de amostrador pontual de estágio simples, mas sim de forma direta, como ilustra a Figura 20.



Figura 20 - Coleta de amostra fluvial realizada de forma direta (sem auxílio do amostrador pontual) na estação de amostragem CAP0 (Nascente do rio Capivari).

Todas as amostras de águas fluviais foram armazenadas em frascos de polietileno, devidamente identificados e mantidas sob-refrigeração a 4° C até a chegada ao laboratório onde foram primeiramente filtradas (adicionado o ácido no caso das preservadas) e posteriormente realizado o processo de análises químicas.

Também foram coletadas, para cada excursão e nas respectivas estações de amostragem, 200 mL de águas fluviais para análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$). As amostragens foram realizadas no eixo da corrente utilizando o amostrador pontual de estágio simples, porém o frasco utilizado foi o de vidro próprio para esse tipo de análise. Em campo tomou-se o cuidado para que o frasco tivesse seu volume todo preenchido pela amostra, sem bolhas de ar, devidamente fechado e armazenados sob-refrigeração ($4^{\circ}C$) até o processamento em laboratório.

4.2.1.2 Amostragem de sedimentos finos em suspensão

As coletas dos sedimentos finos em suspensão (FSS), também foram realizadas nas quatro estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, sendo coletadas 1L de amostra de água fluvial em frascos de polietileno, para quantificação do FSS e 30L de amostras brutas de águas fluviais, utilizando um balde graduado de polietileno e armazenadas em bombona de polipropileno de 30 L (Figura 21), para determinação do carbono orgânico particulado (POC) e do nitrogênio orgânico particulado (NOP), assim como as suas assinaturas isotópicas.



Figura 21 - Coleta de 30 L de amostra de águas fluviais. Coleta da amostra (A e B), transferência para a bombona (C) e coleta de 30 L de amostra Bruta de forma direta (sem auxílio do amostrador pontual) na estação de amostragem CAP0 (Nascente do rio Capivari)(D).

4.2.1.3 Determinação da velocidade e área do canal - Batimetria

Os dados de velocidade (m s^{-1}) e área úmida da seção transversal do canal (m^2) utilizados para o cálculo das vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) foram obtidos a cada excursão nas respectivas estações de amostragem. Para o cálculo das vazões instantâneas foi necessário o uso de um Molinete digital que forneceu a velocidade média (m s^{-1}) do fluxo de água que passou pela seção (Figura 22).



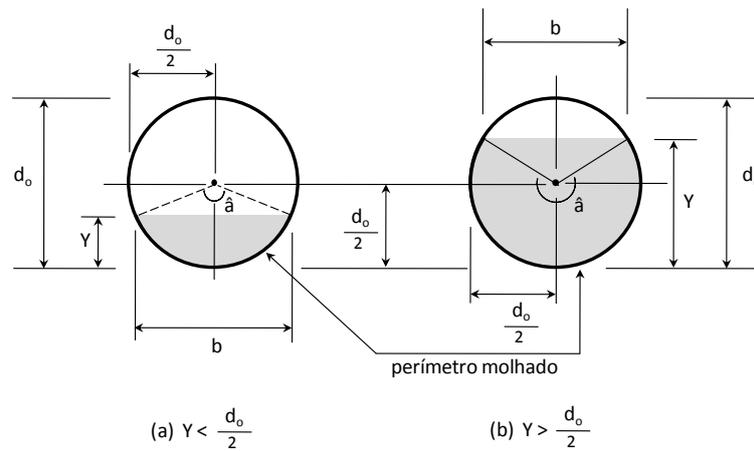
Figura 22 - Molinete digital utilizado para medir a velocidade média (m s^{-1}) do fluxo de água pela seção transversal do canal amostrado.

A área úmida da seção transversal do canal, das estações de amostragem JUN0 (nascente do rio Jundiaí), JUN1 (foz do rio Jundiaí) e CAP1 (foz do rio Jundiaí) foram determinadas a partir das medidas da largura do canal e profundidade (batimetria) utilizando uma trena e uma corda com lastro, onde são foram determinadas as profundidades do canal a cada metro (marcado desde a primeira excursão com tinta, para que em todas as medidas de profundidade fossem executadas no mesmo ponto). Esses dados permitiram formular a morfologia no leito do canal do rio e calcular a área de seção úmida, ambos com a utilização do software WinXPRO3 (Figura 23).



Figura 23 - Batimetria para determinação da área úmida da seção transversal do canal dos rios Jundiá e Capivari. Uso da trena para medir a largura do canal (A). Marcação feita metro a metro, com tinta (B). Medida de profundidade sendo feita com o lastro (C). Exemplo do desenho da batimetria feita no campo (D).

Para o cálculo da área úmida efetuada na estação de amostragem CAP0 (nascente do rio Capivari) foi considerada a seção de um cilindro circular reto. A área molhada foi calculada pelas Equações 1 a 4, que relaciona medidas de ângulos, corda, diâmetro e área das figuras geométricas de uma tubulação, representada por um círculo, com as seções dos perímetros parcialmente cheios, conforme ilustra a Figura 24. Desta maneira, só houve a necessidade de se medir em campo a medida da altura lâmina de água ($Y_{\text{lâmina líquida}}$), procedimento feito com uma régua.



sendo: $Y_{\text{lâmina líquida}}$ = altura (m); d_o = diâmetro da seção (m); $\hat{\alpha}$ = ângulo central "molhado" (radianos); A = área molhada (m^2); P = perímetro molhado (m) e b = corda (m).

Figura 24 - Seção parcialmente cheia de um cilindro reto, para os perímetros $Y < d_o/2$ (a) e $Y > d_o/2$ (b), respectivamente.

$$A = \frac{d_o^2}{8} (\hat{\alpha} - \text{sen } \hat{\alpha}) \quad (1)$$

$$P = \hat{\alpha} \frac{d_o^2}{8} \quad (2)$$

$$b = d_o \text{sen} \left(\frac{\hat{\alpha}}{2} \right) \quad (3)$$

O ângulo central "molhado" ($\hat{\alpha}$) foi transformado de graus para radianos pela função:

$$\hat{\alpha} = 2 \text{arc cos} \left[1 - \frac{2Y}{d_o} \right] \quad (4)$$

4.2.1.4 Amostragem dos principais solos das bacias

Os principais solos das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari PVA 22, PVA 52, PVA102 (Argissolo Vermelho-Amarelo), CX1 (Cambissolo), LV (Latosolo Vermelho) e LVA41 (Latosolo Vermelho-Amarelo) foram coletadas em diferentes profundidades (45-50 cm e 90-100 cm) utilizando um trado manual de 5 cm de diâmetro. As amostras de cada perfil foram compostas, armazenadas em sacos de polietileno e mantidas sob-refrigeração a 4°, até a chegada ao laboratório.

Para as determinações das densidades dos solos usou-se o método “core” (BLAKE, 1986). Para tal, foram coletadas amostras indeformadas de solos, em triplicata, sempre a 10 cm de profundidade, utilizando cilindros metálicos com 75 mm de diâmetro e 50 mm de altura, preservando o volume interno dos mesmos (Figura 25).



Figura 25 - Determinação densidade dos solos: Abertura de uma vala no solo (A), medida da profundidade de coleta – 10 cm (B), coleta do solo utilizando o cilindro metálico (C), amostra retirada e armazenada dentro do cilindro (D).

4.2.2 Preparo e análise das amostras

4.2.2.1 Amostras fluviais brutas

As amostras fluviais brutas passaram inicialmente por um processo de filtração manual a vácuo, sendo utilizados filtros de membrana de celulose 0,45 μm (47 mm).

Os filtrados, em triplicata, foram analisados quimicamente por cromatografia iônica (IC), utilizando o equipamento Dionex ICS-90, para determinação das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- e NO_2^- , sendo que todas as análises foram em triplicata. Para o presente trabalho, após realização de sucessivos testes com a diluição sucessiva dos padrões de calibração, o limite de detecção estabelecido para as amostras fluviais foi de 0,001 mg L^{-1} .

A alcalinidade total das amostras foi determinada utilizando o método da micro-titulação de Gran (Figura 26), e considerando a variabilidade de pH das águas fluviais, entre 5,0 a 6,5, onde o bicarbonato é o ânion mais representativo para alcalinidade, adotou-se para o presente estudo que a alcalinidade representou o HCO_3^- . Para o procedimento utilizou-se 25 mL de amostra de água bruta, previamente filtrada. A partir do pH inicial foi feita titulação (adições sucessivas de 1 μL do titulante HCl 0,1 N padronizado utilizando uma microbureta Gilmont - 2 mL) até atingir o pH 4,5. Após essa etapa os quatro valores subsequentes de pH e volume de titulante foram registrados (Edmond,1970). Os valores de pH e volume forma inseridos na função de Gran (Equação 5):

$$F_2 = [\text{anti log } (\alpha - \text{pH})] \cdot (V_o + v) \quad (5)$$

onde, α é uma constante igual a 5; V_o é o volume inicial da amostra (mL) e v representa o volume do titulante (mL).

Porém quando é utilizado como titulante o HCl 0,1 N padronizado, e v não exceder o 5% de V_o , desta forma, a soma ($V_o + v$), da Equação 1, é desprezível. Os valores obtidos da função de Gran para cada pH, são correlacionados linearmente com os respectivos volumes gastos na titulação, calculando-se o volume de ácido equivalente (V_{eq}). A razão entre os coeficientes linear e angular da reta de correlação define exatamente o valor de V_{eq} . Sendo assim a concentração da alcalinidade (Alc) é calculada a partir da Equação 6, sendo os resultados obtidos em meq L^{-1} e posteriormente para mg L^{-1} :

$$Alc = \frac{(N \cdot 10^6 \cdot V_{eq})}{V_o} \quad (6)$$



Figura 26 – Sistema para análise da alcalinidade total (HCO_3^-) (A) e procedimento laboratorial utilizando o método de micro-titulação de Gran (B e C).

4.2.2.2 Amostras fluviais preservadas

As amostras fluviais que foram preservadas com H_2SO_4 , após o processo de filtração manual a vácuo em filtros de fibra de vidro ($0,5 - 0,6 \mu\text{m}$), posteriormente foram analisadas quimicamente em termos de Si, Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Zn, Ni, Cd e Pb por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), utilizando o equipamento Optima 3000 DV. O limite de determinação do espectrômetro de emissão atômica acoplado indutivamente (ICP-OES) para esse estudo foi estabelecido como sendo 10 vezes o valor médio do desvio padrão do branco, obtidos a partir de dez repetições, sendo para o Si o valor de $0,050 \text{ mg L}^{-1}$, Al de $0,020 \text{ mg L}^{-1}$, Co de $0,005 \text{ mg L}^{-1}$, Cd de $0,005 \text{ mg L}^{-1}$, Cr de

0,005 de mg L^{-1} , Cu de $0,002 \text{ mg L}^{-1}$, Fe de $0,020 \text{ mg L}^{-1}$, Mn de $0,002 \text{ mg L}^{-1}$, Ni de $0,005 \text{ mg L}^{-1}$, Pb de $0,050 \text{ mg L}^{-1}$, Sr de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ e Zn de $0,001 \text{ mg L}^{-1}$.

As amostras filtradas e preservadas também foram analisadas em termos de Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Nitrogênio Orgânico Dissolvido (NOD) e assinaturas isotópicas do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, após processo de concentração em evaporador rotativo modelo Marconi MA120 sob vácuo (Figura 27 A) e posteriormente analisadas por cromatografia gasosa, em um Analisador Automático de Carbono e Nitrogênio, modelo ANCA-GSL Sercon Hidra 20-20 (Figura 27 B).

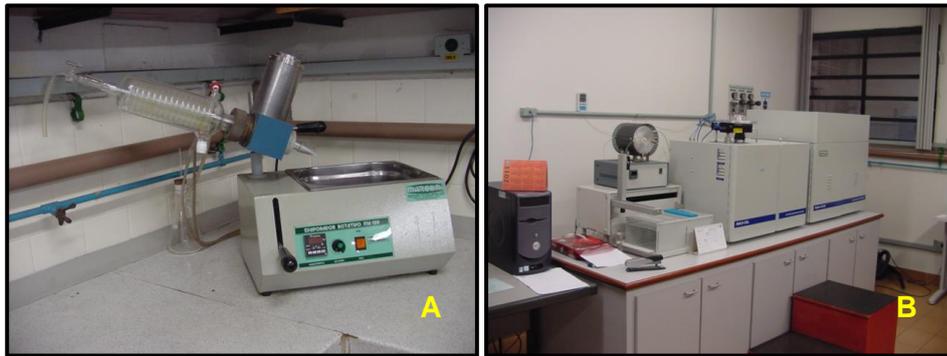


Figura 27 - Evaporador rotativo (A) e Espectrômetro de Massas Acoplado com Cromatografia Gasosa (IMS-GC) modelo ANCA-GSL Sercon Hidra 20-20 (B).

4.2.2.3 Sedimentos finos em suspensão (FSS)

As amostras coletadas de águas fluviais, conforme descrito no item 4.2.1.1, foram utilizadas para quantificar os sedimentos finos em suspensão coletados nas quatro estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari utilizando o método de gravimetria, de acordo com proposto por Edmond (1970) e Meade (1985). Para tal foram filtrados 300 mL das amostras de águas fluviais brutas em membranas de celulose $0,45 \mu\text{m}$ e 47 mm de diâmetro, pré-pesadas após secagem em estufa com circulação de ar forçada a 60°C até peso constante (m_i). Após a etapa de filtração, o conjunto composto pelo filtro e o sedimento foram submetidos ao processo secagem (estufa a 60°C) por 24 horas, depois mantidos em dessecador com sílica gel por 48 horas para estabilização, sendo o conjunto (filtro e sedimento) pesado (m_f). O procedimento da gravimetria adotada para quantificação do FSS pode ser visualizado na Figura 28.



Figura 28 - Gravimetria: Filtro sendo pré-pesado em balança analítica após secagem em estufa (m_i) (A), sistema de filtração manual a vácuo (B), Secagem em estufa a 60°C (C), filtro mais amostra de FSS no dessecador (D) e pesagem final do filtro mais amostra de FSS (m_f) (E).

O cálculo utilizado para a quantificação dos sedimentos finos em suspensão (FSS) foi realizado de acordo com a Equação 7:

$$C_{FSS} = \frac{m_f - m_i}{V_L} \quad (7)$$

sendo C_{FSS} a concentração de FSS (mg L^{-1}); m_f a massa final do sedimento no filtro (mg); m_i a massa inicial filtro (mg) e V_L o volume filtrado (L).

Como descrito no item 4.2.1.2 também foram realizadas coletas de 30 L de água fluvial bruta, nas quatro estações de amostragem, no período estudado, para obtenção de amostras de sedimentos em suspensão com massa suficiente para as análises isotópicas. Para tal procedimento foi realizado o processo de decantação das amostras fluviais com os sedimentos em suspensão, posterior sifonamento da água, secagem do sedimento à 60°C até peso constante, moagem no almofariz de ágata e separação da parte fina em peneira de nylon 63 μm (Figura 29).

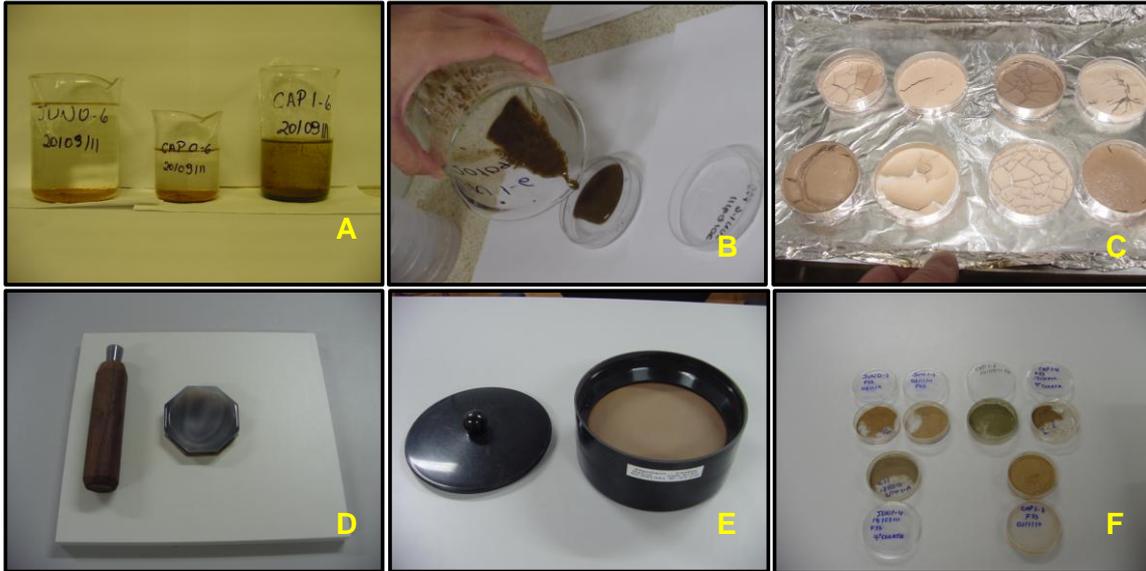


Figura 29 - Decantação dos sedimentos finos em suspensão: Amostras em béqueres decantando (A), retirada da amostra (B), amostras após secagem (C), moagem em amofariz de ágata (D) peneira de nylon utilizada para separação partículas menores que 63 μm (E) e amostras prontas para serem pesadas (F).

Após a secagem e peneiramento da amostra dos sedimentos finos em suspensão foi possível determinar a composição química de COP e NOP e assinaturas isotópicas do $\delta^{13}\text{COP}$ e $\delta^{15}\text{NOP}$ por espectrometria de massas, utilizando um Analisador Automático de Carbono e Nitrogênio modelo ANCA-GSL Sercon Hidra 20-20, acoplado com um sistema de cromatografia gasosa.

Os resultados foram expressos em δ (‰) em relação ao padrão PeeDee Belemnite (PDB) para a razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e o padrão N_2 atmosférico para a razão $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, de acordo com a equação 8:

$$\delta X (\text{‰}) = \left[\frac{(R)_{\text{amostra}} - (R)_{\text{padrão}}}{(R)_{\text{padrão}}} \right] \cdot 1000 \quad (8)$$

onde, X representa o ^{13}C ou ^{15}N e R a relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ na amostra e no padrão.

4.2.2.4 Solos

As amostras dos principais solos presentes nas bacias de drenagem dos rios rios Jundiá e Capivari: PVA 22, PVA 52, PVA102 (Argissolo Vermelho-Amarelo), CX1 (Cambissolo), LV (Latosolo Vermelho) e LVA (Latosolo Vermelho-Amarelo)

foram coletados para a determinação da densidade média dos solos e a composição química e isotópica do Carbono Orgânico Particulado (COP) e do Nitrogênio Orgânico Particulado (NOP), conforme descrito no item 4.2.1.4.

Para a determinação da densidade, em laboratório, as amostras foram previamente secas em estufa a 105°C, por 24 horas e pesadas (g), possibilitando o cálculo das densidades em função dos volumes internos dos cilindros (Figura 30).

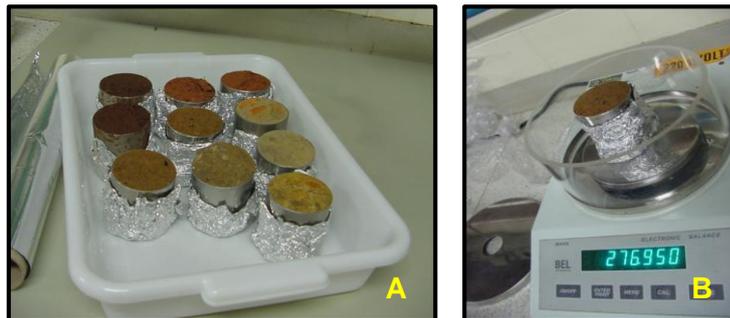


Figura 30 - Determinação densidade dos solos: amostras após secagem em estufa (A) e amostra sendo pesada (B).

Para a determinação da composição química e isotópica do Carbono Orgânico Particulado (COP) e do Nitrogênio Orgânico Particulado (NOP) dos principais solos das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, as amostras coletadas foram secas ao ar, maceradas em almofariz de ágata, peneiradas em peneiras de nylon (partículas menores que 63 μm) e posteriormente analisadas no espectrômetro de massa ANCA-GSL Sercon Hidra 20-20.

4.3 Aspecto hidrológico das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari

A compreensão dos processos hidrológicos é fundamental em estudos ambientais principalmente para a gestão dos recursos hídricos (SCHULER et al., 2003). Para as bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, o principal aspecto hidrológico avaliado foi o escoamento superficial rápido.

4.3.1 Determinação do escoamento superficial rápido

O estudo fluviométrico dos rios Jundiá e Capivari foi enriquecido com a análise da separação do hidrograma de cheia em modelo de dois reservatórios, com ênfase na separação do escoamento superficial rápido e a análise de sua variabilidade.

No presente estudo, as séries históricas das vazões dos rios Capivari e Jundiá, período de 1958 a 2006, foram utilizados para a aplicação da técnica de separação de hidrogramas de cheia de acordo com o método estatístico de filtros numéricos auto-recursivos de 1ª ordem, desenvolvida por Hino e Hasebe (1984). O mesmo método foi utilizado por Araújo e Dias (1995) e Mortatti et al. (1997), respectivamente para os rios Jangada (PR) e Amazonas (AM).

O método tem como base a utilização de um filtro numérico para a separação das vazões, correspondentes aos sinais de altas frequências permitindo somente a passagem dos sinais de baixa frequência, associados à carga subterrânea. A equação do filtro numérico pode ser observada na Equação 9:

$$Q_n(t) = \alpha \cdot \left[B \cdot Q_{n(t-1)} + A \cdot Q_t \right] \quad (9)$$

sendo: $Q_n(t)$ corresponde à vazão do fluxo de base ou subterrâneo filtrado; α é o fator de ponderação ($0 < \alpha < 1$), de modo a evitar os sinais negativos e que esta associado em termos de sensibilidade de cálculo, ao valor de escoamento superficial rápido mínimo igual a zero; A e B são constantes, expressas nas equações 10 e 11:

$$A = \frac{e^{(-1/Tc)}}{Tc} \quad (10)$$

$$B = \frac{\Delta t}{Tc} \quad (11)$$

onde, Δt = intervalo de tempo da série de vazões e Tc = tempo de corte do filtro.

O T_c pode ser calculado estatisticamente através da análise de séries temporais de Fourier, como mostra a equação 12:

$$T_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c} \quad (12)$$

onde, f_c é a frequência de separação determinada pela análise do periodograma da série de vazões estudadas.

Como em um modelo de dois compartimentos o escoamento total representa a soma dos escoamentos, superficial rápido e subterrâneo, conforme Equação 13, sendo possível determinar o escoamento superficial rápido (Q_r) a partir de uma série temporal de dados anuais do escoamento total (Q_t), conhecido o Q_n .

$$Q_t = Q_n + Q_r \quad (13)$$

Os coeficientes de escoamento superficial (K_r) e subterrâneo (K_n), podem ser expressos de acordo com as equações 14 e 15, respectivamente.

$$K_r = \frac{Q_r}{Q_t} \quad (14)$$

$$K_n = \frac{Q_n}{Q_t} \quad (15)$$

A variabilidade do escoamento superficial rápido (ΔQ_r), em base anual, foi calculada em relação ao valor médio de Q_r para o passado estudado ($\overline{Q_r}$) conforme equação 16:

$$\Delta Q_r = \frac{Q_r - \bar{Q}_r}{\bar{Q}_r} \quad (16)$$

4.3.2 Cálculo das vazões nas estações de amostragem

As vazões ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) foram obtidas a partir do produto entre a área úmida da seção transversal do canal (m^2) e a velocidade média do fluxo de água que passou por essa seção (m s^{-1}), medidas a cada excursão nas respectivas estações de amostragens dos rios Jundiá e Capivari conforme descrito 4.2.1.3.

4.4. Erosão mecânica

Muitos autores têm considerado a geoquímica das águas fluviais como resultante de interações entre atmosfera, biosfera e a litosfera. Os processos erosivos mecânicos são exemplos dessa interação e suas ações, promovidas principalmente pelo impacto das gotas de chuva em solos sem cobertura vegetal adequada, que desagregam fisicamente as partículas do solo e rochas reduzindo suas espessuras, sendo as mesmas carregadas para os rios via processos associados à erosão hídrica, promovendo assoreamentos em rios e lagos e alimentando a sedimentação oceânica (MORTATTI; PROBST, 1998). Pode-se dizer desta forma, que os mecanismos de transferência de material sólido entre continente e oceano correspondem à erosão média dos continentes, o que leva à modificação do relevo.

A importância desse processo físico na morfologia das paisagens e na estrutura do ecossistema se apresenta de forma incontestável, apesar do mesmo ser de difícil estimativa. Uma das maneiras mais eficazes de se avaliar a intensidade da erosão mecânica quer seja na escala global, como na escala de bacia de drenagem, é por meio do monitoramento do transporte de material sólido em suspensão, através dos rios e cursos d'água até os oceanos (PROBST, 1992).

O transporte de material em suspensão medido em um ponto fluvial de uma bacia de drenagem, num determinado instante, é o resultado do conjunto dos mecanismos de erosão e sedimentação que a afetam à montante deste local. Sendo assim, a determinação da magnitude da erosão mecânica em bacias de drenagem

assume grande importância para o entendimento do grau de degradação, devido à ocorrência de processos naturais e possíveis influências antrópicas no uso e ocupação do solo da bacia de drenagem (MORTATTI; PROBST, 2012).

De acordo com Ferraz e Mortatti (2002), a intensidade da erosão mecânica pode ser avaliada pelo estudo da dinâmica do FSS, com monitoramento do fluxo desses sedimentos, em conjunto com a observação do seu comportamento dinâmico em um determinado período de tempo.

4.4.1 Dinâmica dos sedimentos finos em suspensão (FSS)

Os sedimentos finos em suspensão caracterizam-se por partículas menores que 63 μm , ou seja, o ponto de transição entre a areia muito fina e o silte grosseiro (MORTATTI; PROBST, 1998). Tais sedimentos por serem mais leves movem-se rio abaixo, assumindo a mesma velocidade das águas de escoamento (FERNANDES, 2012).

A quantificação dos sedimentos finos em suspensão (FSS) presentes nos rios Jundiá e Capivari foi determinado a partir do procedimento descrito no item 4.2.2.3. As concentrações médias de FSS foram calculadas após normalização pelas vazões instantâneas expressas de acordo com o proposto por Kattan (1989) e Probst (1992) pela equação 17.

$$C_{MNQ(FSS)} = \frac{\sum(Q_i \cdot C_i)}{\sum Q_i} \quad (17)$$

onde, $C_{MNQ(FSS)}$ é a concentração média de FSS normalizado pela vazão (mg L^{-1}); Q_i a vazão medida em cada dia de amostragem ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); C_i a concentração de FSS para cada dia de amostragem e $\sum Q_i$ o somatório das vazões medidas nos dias de amostragens ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

O cálculo dos desvios padrão (DP) desses resultados também foi calculado considerando os valores normalizados pelas vazões instantâneas (Equação 18).

$$DP_{MNQ(FSS)} = \sqrt{\frac{\sum(C_i \cdot C_{MNQ(FSS)})^2 \cdot Q_i}{\sum(Q_i - 1)}} \quad (18)$$

onde, $DP_{MNQ(FSS)}$ é o desvio padrão da concentração média de FSS normalizada pela vazão $C_{MNQ(FSS)}$ (mg L^{-1}).

4.4.2 Relacionamento entre concentração de sedimentos finos em suspensão e vazão

A avaliação do relacionamento entre as concentrações dos sedimentos finos e as vazões permitiu de forma mais detalhada observar a dinâmica desse material em bacias de drenagem. De acordo com Mortatti (1995), tanto para a bacia Amazônica quanto para a maioria dos rios do mundo, as concentrações de sedimentos em suspensão aumentam em função do aumento das vazões. O modelo que mais se ajustou a esse tipo de relacionamento, para esse estudo foi o linear, representado pela Equação 19:

$$FSS = a.Q + b \quad (19)$$

onde, FSS representa os sedimentos finos em suspensão (mg L^{-1}) e Q a vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$). Os valores a e b desta equação podem variar de uma bacia de drenagem à outra, em função de características físicas, climatológicas e hidrológicas (BORTOLETTO JÚNIOR, 2004).

4.4.3 Transporte fluvial de sedimentos finos em suspensão

A avaliação da dinâmica de FSS nas águas fluviais dos rios Jundiá e Capivari compreendeu a metodologia do fluxo instantâneo e também a estimativa dos transportes total e médio anual de FSS, utilizando o método estocástico e

determinístico, para as quatro estações de amostragem ao longo das bacias dos rios Jundiá e Capivari. Sendo também calculada, pelos dois métodos, a sazonalidade nos transportes de FSS nos períodos chuvosos e de estiagem.

4.4.3.1 Método estocástico

O método estocástico, proposto por Probst (1992) e utilizado por Messaïtfa (1997) na bacia do rio Ill e Mortatti et al. (2003; 2008) na bacia do rio Amazonas e do rio Tietê e Fernandes (2012) na bacia do rio Sorocaba, permitiu o cálculo do transporte de FSS, envolvendo a concentração normalizada e as vazões diárias do período de amostragem, de acordo com a equação 20:

$$T_{(FSS)} = C_{MNQ} \cdot \bar{Q} \cdot f \quad (20)$$

Onde, $T_{(FSS)}$ é o transporte fluvial do FSS ($t \text{ ano}^{-1}$), C_{MNQ} é a concentração média do sedimento fino em suspensão (mg L^{-1}) normalizada pela vazão, de acordo com a equação 17, \bar{Q} é a vazão média do período estudado, considerando sua representatividade ao longo da hidrógrafa; e o fator f corresponde à correção de massa e tempo no cálculo do transporte fluvial médio, sendo igual a 31,536 para resultados em toneladas por ano.

O transporte fluvial específico médio anual (T_E), definido como transporte fluvial total por unidade de área da bacia de drenagem ($t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$), foi calculado de acordo com a equação 21:

$$T_E = T \cdot A^{-1} \quad (21)$$

onde, A é a área da bacia de drenagem a montante da estação de amostragem considerada, em km^2 .

4.4.3.2 Método determinístico

O método determinístico proposto por Kattan et al., (1987) tem por base modelos gerados pelo relacionamento concentração x vazão para os sedimentos finos em suspensão.

O cálculo do transporte dos sedimentos finos em suspensão (T_{FSS}) para as bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari utilizando o método determinístico, foi realizado a partir da correlação linear entre as concentrações de FSS e respectivas vazões (Q), observados durante o período estudado, conforme equação 22, sendo que a função linear determinada foi integrada, como ser verificado na equação 23.

$$T_{FSS} = a.Q + b \quad (22)$$

$$T_{FSS} = \left\{ \left[\left(\frac{a.(Q_{máx})^2}{2} \right) - \left(\frac{a.(Q_{mín})^2}{2} \right) \right] + [(b.Q_{máx}) - (b.Q_{mín})] \right\} - \{[(Q_{máx} - Q_{mín}).C_{mín}]\}.f \quad (23)$$

onde, $Q_{máx}$ e $Q_{mín}$ é a maior e a menor vazão observada no período de estudo, f é o fator de correção da massa e do tempo no cálculo do transporte fluvial, sendo igual a 31,536 para resultados em ($t a^{-1}$).

O transporte fluvial específico médio ($T_{E(FSS)}$), definido como o transporte fluvial total por unidade de área da bacia de drenagem ($t km^{-2} a^{-1}$), foi calculado de acordo com a Equação 24:

$$T_{E(FSS)} = T.A^{-1} \quad (24)$$

onde, A é a área de drenagem a montante da estação de amostragem considerada, em km^2 .

4.4.4 Degradação física específica

O grau de degradação física das bacias de drenagem dos Jundiá e Capivari foi expresso em função do transporte específico dos sedimentos em suspensão e da densidade média dos solos das bacias de drenagem, de acordo com o descrito por Mortatti et al., (1997), que utilizaram tal método para o estudo do balanço de alteração e erosão química na bacia amazônica, e também utilizado por Boeglin e Probst (1998) na bacia do rio Níger, na África, de acordo com a Equação 25.

$$EM = \frac{T_{E(FSS)}}{d} \quad (25)$$

sendo, EM a degradação física específica ($m Ma^{-1}$), $T_{E(FSS)}$ o transporte específico do sedimento fino em suspensão ($t km^{-2} a^{-1}$) e d a densidade média dos solos da bacia de drenagem ($t m^{-3}$) obtida na conforme item 4.2.2.4.

4.4.5 Concentrações de carbono e nitrogênio orgânicos particulados e respectivas assinaturas isotópicas dos sedimentos finos em suspensão

As caracterizações químicas e isotópicas do nitrogênio total particulado (NOP), e do carbono orgânico particulado (COP), presentes nas amostras de FSS foram obtidas conforme descrito no item 4.2.1.2, nas quatro estações de amostragem dos rios Jundiá (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1) e analisadas conforme descrito no item 4.2.2.3.

Para a investigação das possíveis origens da matéria orgânica presente nas amostras de sedimentos finos em suspensão nas bacias dos rios Jundiá e Capivari, foi feita a comparação da caracterização isotópica ($\delta^{13}C$) e a razão entre o carbono orgânico particulado e o nitrogênio orgânico particulado (C/N) em relação aos parâmetros de referências (end-members) (Tabela 2), obtidos na literatura, por Kendall et al. (2001), para as plantas C3, C4 e fitoplâncton; por Krusche et al. (2002); por Evangelista (2003) para os esgotos domésticos e para os principais solos das bacias de drenagem (PVA52, PVA 102, LV, LVA e CX1) determinados no presente estudo conforme descrito no item 4.2.2.4.

Tabela 2 - Parâmetros de referência de Carbono Orgânico Particulado (COP), $\delta^{13}\text{C}$ (‰), Nitrogênio Orgânico Particulado (NOP) e razão C/N para os principais solos das bacias de drenagem (CX1, PVA, LV e LVA), para as plantas C3 e C4, fitoplâncton e esgoto doméstico obtidos na literatura.

Parâmetros de Referência (End-Members)				
	COP	$\delta^{13}\text{C}$	NOP	C/N
	%	(‰)	%	
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA52)	1,34	-15,6	0,16	8,6
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA102)	1,12	-14,6	0,03	34,0
Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	1,77	-19,8	0,12	14,8
Latossolo Vermelho (LV)	5,80	-13,0	6,10	27,6
Cambissolos (CX1)	2,14	-17,8	0,12	18,3
Plantas C3 ¹		-28		26,3
Plantas C4 ¹		-13,3		37,1
Fitoplancton ²		-29,3		5,4
Esgotos Domésticos ³		-23,3		9,8

¹Kendall, Silva e Kelly (2001), ²Meyers & Ishiwatari (1993) e ³Evangelista (2003)

4.5 Caracterização hidroquímica fluvial

A caracterização hidroquímica dos rios Jundiá e Capivari compreendeu a avaliação dos principais parâmetros físico-químicos, das medidas de vazão; e quantificação das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas, expressas pelas concentrações dos cátions e ânions majoritários e SiO_2 .

4.5.1 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos associados à qualidade da água, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) foram medidos em campo, direto nos corpos hídricos, durante as coletas das águas fluviais, conforme ilustrado na Figura 31 utilizando equipamentos digitais portáteis.



Figura 31 - Aparelhos portáteis para medição dos parâmetros físico-químicos (pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura) utilizados em campo (A), medição em campo(B).

Foram avaliadas as variações temporais dos parâmetros físico-químicos, buscando observar possíveis efeitos sazonais, principalmente associados aos períodos chuvosos e secos.

A demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$) das águas dos rios Jundiá e Capivari foi coletada conforme descrito no 4.2.1.1 e determinada em laboratório, de acordo com o método de ensaio padronizado L5.120 (CETESB, 1991) no qual consiste na diferença entre as concentrações do oxigênio dissolvido medido no início e no fim do período de incubação de 200 mL de amostra fluvial bruta por 5 dias em ambiente com ausência de luz e a uma temperatura média de 20°C.

As concentrações de $DBO_{5,20}$ foram utilizadas para classificar as águas dos rios Jundiá e Capivari, por estação de amostragem, de acordo com a resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005). Segundo essa resolução as águas foram classificadas em: Classe 1 (ao abastecimento humano após tratamento simplificado; recreação; irrigação de hortaliças e frutas a serem consumidas cruas), Classe 2 (ao abastecimento humano, após tratamento convencional; recreação; irrigação de hortaliças e aquicultura), Classe 3 (ao abastecimento humano, após tratamento convencional a avançado; irrigação de culturas arbóreas; dessedentação de animais) e Classe 4 (navegação e harmonia paisagística).

4.5.2 Principais espécies inorgânicas dissolvidas nos rios Jundiaí e Capivari

As concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas nas águas fluviais das quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), foram determinadas conforme item 4.2.2.2. Tais concentrações foram normalizadas pelas respectivas vazões instantâneas ($C_{MNQ(EQ)}$, em mg L^{-1}), e calculado os respectivos desvios padrão, utilizando as equações 17 e 18, utilizadas para o FSS (item 4.4.1).

A partir dos valores médios de C_{MNQ} para cada uma das espécies químicas inorgânicas dissolvidas foi possível estabelecer a distribuição percentual das espécies químicas (X%) nessas águas, em relação total de sólidos dissolvidos (TDS) conforme metodologia descrita por Peray (1998) e expressa na equação 26:

$$X\% = \frac{C_{MNQ}}{TDS} \cdot 100 \quad (26)$$

onde, X (%) é a abundância relativa de cada espécie química; C_{MNQ} é a concentração média da espécie química normalizada pela vazão (mg L^{-1}) e TDS representa a concentração dos sólidos dissolvidos totais (soma de íons maiores e SiO_2 , em mg L^{-1})

4.5.3 Variabilidade temporal e espacial das concentrações das espécies químicas inorgânicas dissolvidas

As concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas dos rios Jundiaí e Capivari referentes às amostragens realizadas foram utilizadas para análises das variações temporais e espaciais ao longo das bacias de drenagem, associadas às vazões instantâneas.

4.5.4 Modelo hidroquímico Concentração x Vazão: Aportes difusos e pontuais

Para um melhor entendimento da dinâmica das principais espécies químicas dissolvidas nas águas dos rios Jundiá e Capivari foram avaliados as possíveis origens desses íons em relação a aportes difusos e pontuais, onde foi verificado o relacionamento das concentrações iônicas com as respectivas vazões instantâneas, para o período estudado.

O modelo de potência (clássicos para rios de médio porte) entre as concentrações das espécies químicas inorgânicas dissolvidas, e as respectivas vazões instantâneas, foi ajustado para os rios Jundiá e Capivari visando identificar o comportamento dessas espécies químicas (Equação 27).

$$C = a \cdot Q^b \quad (27)$$

onde, C é a concentração de determinada espécie química (mg L^{-1}), a é uma constante da função, Q é a vazão fluvial determinada no momento da coleta ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e b é o coeficiente de diluição.

A identificação dos aportes difusos e pontuais foi realizada em função da comparação com as curvas teóricas (Equação 28), de acordo com procedimento descrito por Kattan et al., (1986), Probst et al., (1992) e utilizado por Mortatti (1995) e Vendramini et al., (2013).

$$C_i = \frac{C_{\text{máx}} \cdot Q_{\text{mín}}}{Q_i} \quad (28)$$

onde C_i representa a concentração de uma determinada espécie química na curva de diluição (mg L^{-1}); $C_{\text{máx}}$ é a concentração máxima observada da espécie química (mg L^{-1}); $Q_{\text{mín}}$ é a vazão mínima observada no período estudado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e Q_i é a vazão do dia de amostragem ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

De acordo com Mortatti et al. (2008), tais curvas modelam as diluições teóricas das espécies químicas inorgânicas dissolvidas nas águas fluviais, associando as concentrações mais baixas com as maiores vazões. O deslocamento

da curva de diluição teórica em relação à curva determinada nas amostragens pode evidenciar os aportes dessas espécies químicas dissolvidas nas águas fluviais ocorrem de maneira pontual (despejo de efluentes domésticos) ou difusa (intemperismo de rochas, aportes pluviais e resíduos agrícolas).

4.5.5 Matriz dos coeficientes de correlação

As análises de correlações lineares simples entre as concentrações das diferentes espécies químicas fluviais dissolvidas permitem também evidenciar os principais fatores que controlam a composição química das águas fluviais, sendo que as mesmas podem variar por região de estudo devido a fatores como: regimes hidrológicos, climatológicos; características geológicas, geomorfológicas e pedológicas da região de estudo; bem como uso e ocupação do solo e atividades antropogênicas (MEYBECK, 1970; FERNANDES, 2012).

Para o presente estudo a matriz dos coeficientes de correlação linear simples foi estabelecida para evidenciar os relacionamentos entre as concentrações molares das principais espécies químicas e TDS com os principais parâmetros físico-químicos e vazões obtidos durante o período de amostragem de um ano hidrológico, onde foram destacados os coeficientes com alto grau de significância ($p < 0,01$).

4.5.6 Diagramas ternários aplicados às águas fluviais

Segundo Fernandes (2012), a caracterização hidroquímica fluvial pode ser complementada através da disposição das concentrações de determinadas espécies químicas em diagramas ternários, que são aplicações gráficas de um triângulo equilátero, na qual cada um dos vértices indicam 100% de determinada espécie química, demonstrando a porcentagem das espécies químicas analisadas nas amostras fluviais, fornecendo as principais características minerais das águas fluviais.

Para as bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari foram construídos com a ajuda do Software Orangin 6.0., diagramas ternários a partir das concentrações molares dos cátions Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} e dos ânions HCO_3^- , Cl^- e

SO₄²⁻ determinados nas quatro estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, como descrito no item 4.2.2.1.

4.5.7 Transporte fluvial das principais espécies químicas dissolvidas

A avaliação do transporte fluvial das principais espécies químicas dissolvidas nos rios Jundiá e Capivari se deu utilizando o método estocástico e determinístico, para as quatro estações de amostragem localizadas ao longo dos rios Jundiá e Capivari.

4.5.7.1 Método estocástico

O método estocástico utilizado foi o proposto por Probst (1992) e Mortatti et al. (1997) que permite o cálculo do transporte fluvial para as principais espécies químicas dissolvidas, associado as concentrações normalizadas pelas vazões e as vazões instantâneas, de acordo com a equação 29:

$$T_S = C_{MNQ} \cdot \bar{Q} \cdot f \quad (29)$$

onde, T_S é o transporte fluvial da espécie química (kg d⁻¹), C_{MNQ} é a concentração média de uma espécie química dissolvida normalizada pela vazão (mg L⁻¹), \bar{Q} é a vazão média do período estudado (m³ s⁻¹), e o fator f corresponde à correção da massa e do tempo no cálculo do transporte fluvial médio, sendo igual a 86,377 para resultados em Kg por dia.

O transporte fluvial específico médio anual (T_E), definido como transporte fluvial total por unidade de área da bacia de drenagem (kg km⁻² d⁻¹), foi calculado de acordo com a Equação 30:

$$T_E = T_S \cdot A^{-1} \quad (30)$$

onde A é a área da bacia de drenagem a montante da estação de amostragem considerada, em km².

4.5.7.2 Método determinístico

As quantificações dos transportes fluviais totais das principais espécies químicas dissolvidas (T_D) nas águas dos rios Jundiá e Capivari foram realizadas de acordo com o método determinístico proposto por Messaïtfa (1997), o mesmo utilizado para o cálculo dos sedimentos finos em suspensão, variando apenas o modelo, que nesse caso é o de potência.

O método determinístico tem por base os modelos gerados pelo relacionamento concentração x vazão para as principais espécies químicas. Para no presente estudo o relacionamento concentração x vazão seguiu o modelo de potência, de acordo com a equação 31:

$$C = a \cdot Q^b \quad (31)$$

onde, C é a concentração para uma determinada espécie química (mg L^{-1}), a é uma constante da função, Q é a vazão fluvial determinada no momento da coleta ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e b é o coeficiente de diluição.

O cálculo do transporte fluvial das espécies químicas dissolvidas (T_D), de acordo com o método determinístico, foi realizado a partir da integração das 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 equação 32:

$$T_D = \left\{ a \int_{Q_{\text{mín}}}^{Q_{\text{máx}}} Q^b dQ - C_{\text{mín}} \cdot (Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}) \right\} \cdot f \quad (32)$$

onde, T_D é o transporte fluvial da espécie química dissolvida (T a^{-1}), $Q_{\text{máx}}$ e $Q_{\text{mín}}$ é a maior e a menor vazão observada no período de estudo e f é o fator de correção da massa e do tempo no cálculo do transporte fluvial, sendo igual a 86,377 para resultados em (kg d^{-1}).

A resolução da equação 32, em kg d^{-1} , pode ser observada na Equação 33:

$$T_D = a \cdot \left\{ \frac{(Q_{m\acute{a}x}^{b+1} - Q_{m\acute{i}n}^{b+1})}{b + 1} - C_{m\acute{i}n} \cdot (Q_{m\acute{a}x} - Q_{m\acute{i}n}) \right\} \cdot 86,377 \quad (33)$$

Os transportes fluviais específicos (T_E), em $\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$, foram calculados conforme Equação 34:

$$T_E = T_S \cdot A^{-1} \quad (34)$$

onde, T_E é o transporte fluvial específico e A são as áreas a montante das estações de amostragem

4.5.8 Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) e respectivas assinaturas isotópicas

A determinação da composição química e isotópica do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e do Nitrogênio Orgânico Dissolvido (NOD) nas águas dos rios Jundiá e Capivari foi realizada com a utilização de um espectrômetro de massas acoplado com um sistema de cromatografia gasosa ANCA-GSL, após concentração das amostras preservadas, conforme estabelecido no protocolo analítico descrito no item 4.2.2.2, sendo as concentrações expressas em termos percentuais e posteriormente convertidas em mg L^{-1} , utilizando a Equação 35.

$$C = C_P \cdot \frac{V_f}{V_i} \cdot \beta \quad (35)$$

onde, C é a concentração de COD e NOD em mg L^{-1} ; C_P representa a concentração percentual de COD e NOD; V_f o volume final de amostra após processo de concentração; V_i o volume inicial de amostra encaminhada para concentração e β o

fator de correção de massa e volume, correspondendo a 10^{-4} para resultados em mg L^{-1} .

As amostras concentradas também foram analisadas isotopicamente, em termos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, sendo as razões isotópicas determinadas de acordo com a Equação 8 (item 4.2.2.3).

A partir dos resultados obtidos nas 15 excursões, nas quatro estações de amostragem foram avaliados a partir das distribuições temporais das concentrações químicas e isotópicas de carbono e nitrogênio, procurando identificar suas possíveis origens.

4.5.9 Outras espécies químicas dissolvidas de interesse

As concentrações de Al, Fe, Mn e Sr e de alguns elementos potencialmente tóxicos (Cu, Cr, Zn, Ni, Cd e Pb) dissolvidos nas águas dos rios Jundiaí e Capivari, para as quatro estações de amostragem, durante o período estudado, foram determinadas por ICP-OES (item 4.2.2.2), expressas em mg L^{-1} , sendo as concentrações médias normalizadas pelas vazões, e os respectivos desvios padrão calculados de acordo com as Equações 17 e 18, anteriormente definidas no item 4.4.1.

4.6. Erosão Química: balanço da alteração de rochas

A identificação dos processos envolvidos no balanço da alteração química das rochas das bacias dos rios Jundiaí e Capivari foi realizada com a aplicação de um modelo geoquímico conceitual simples desenvolvido por Garrels e Mackenzie (1971) e utilizado por vários autores como Amiotte-Suchet e Probst (1993), Gaillardet et al. (1997), Kim, Hunter e Reid (1999) e Mortatti e Probst (2003). Tal modelo associa um pequeno número de fontes externas e internas bem definidas, como a precipitação e os minerais, respectivamente, sendo responsáveis pela composição química das águas fluviais, porém no presente estudo dos rios Jundiaí e Capivari, o modelo foi ampliado com a correção dos aportes antrópicos.

O modelo simples de alteração de rochas baseou-se na subtração de 7 fontes externas e internas, em termos de transporte fluvial total dos solutos (T a^{-1}).

Inicialmente foi realizada a determinação dos aportes atmosféricos utilizando dados pluviiais determinadas por Vendramini (2013) calculadas em termos percentuais para cada espécie química: HCO_3^- (10,3%), SO_4^{2+} (6,4%), Cl^- (5,1%), Ca^{2+} (19,5%), Mg^{2+} (10,5%), Na^+ (1,7%), K^+ (7,7%), e SiO_2 (8,9%) em relação ao total transportado pelos rios. Após determinado os valores do fluxo médio das espécies químicas pluviiais, esses foram subtraídos do fluxo médio das espécies químicas dissolvidas dos rios Jundiá e Capivari, obtendo-se um componente residual, ou seja, sem contribuição atmosférica. Vale destacar que a chuva é considerada um aporte natural e sua composição média é utilizada para definir a entrada de aportes atmosféricos que podem alterar a composição iônica da água de um rio (MORTATTI, et al., 2012).

Na etapa seguinte foi subtraída a influência antrópica, do componente sem influência pluvial, obtendo-se outro componente residual. A influência antrópica, para esse estudo, foi equivalente aos efluentes brutos domésticos, dos rios Jundiá e Capivari, lançados sem tratamento prévio. Os valores utilizados, para determinação desse componente antrópico, foram os resultados das influências percentuais dos efluentes brutos domésticos para HCO_3^- (34,5%), SO_4^{2+} (55,2%), Cl^- (42,7%), Ca^{2+} (29,4%), Mg^{2+} (41,6%), Na^+ (40,0%), K^+ (19,2%), e SiO_2 (2,1%) obtido por Mortatti, et al., (2012), em relação ao total determinado nos rios Jundiá e Capivari no presente estudo.

Em seguida foram subtraídos do componente residual (componente que já havia sido subtraído os aportes atmosféricos e antrópicos) os fluxos dos íons Cl^- , dissolvidos nas águas dos rios Jundiá e Capivari, na razão de 1:1 para o equivalente em Na^+ . A ocorrência de NaCl em bacias de drenagem podem ser provenientes da dissolução da rocha evaporítica halita (NaCl), ou de depósitos de NaCl em soluções concentradas que formam filmes salinos em solos.

Da mesma forma, na sequência subtraiu-se o SO_4^{2-} do componente residual (aportes atmosféricos – antrópicos – NaCl), sendo corrigido pelo equivalente em Ca^{2+} , atribuídos à agricultura ou à dissolução da gipsita (CaSO_4). Pelo modelo geoquímico proposto, quantidades equivalentes dos íons de Ca^{2+} são geradas simultaneamente e desta maneira, fluxos de Ca^{2+} foram subtraídas de igual valor de SO_4^{2-} , quando constatado a existência de excesso de Ca^{2+} , nas águas dos rios Jundiá e Capivari.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Aspecto hidrológico das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari

5.1.1 Determinação do escoamento superficial rápido

O somatório das contribuições dos componentes: escoamento superficial rápido, escoamento sub-superficial e escoamento subterrâneo representam o escoamento total de um rio em uma bacia de drenagem. O conhecimento desses componentes na contribuição do escoamento fluvial total é de fundamental importância para o conhecimento das relações entre as precipitações, vazões e materiais dissolvidos e particulados transportados fluvialmente (MORTATTI et al., 2004)

O escoamento superficial rápido é regulado principalmente pela recarga pluvial, e por consequência associado ao transporte de material particulado oriundo de processos erosivos que ocorrem nas bacias de drenagem. Segundo Fernandes et al., (2010) e Vendramini (2013) a ocorrência desse escoamento pode ser durante ou imediatamente após a precipitação, limitados pelos aspectos geomorfológicos e de cobertura vegetal da bacia de drenagem em estudo.

Como descrito por Cassol et al., (2008) o escoamento superficial integra o processo erosivo mecânico real em uma bacia de drenagem, é onde ocorre a desagregação de partículas do solo, ocasionadas pela ação das gotas de chuva, o transporte e a eventual deposição desse material nos corpos hídricos.

Para análise da separação do hidrograma de cheia em um modelo de dois reservatórios (superficial e subterrâneo) utilizando o método de filtros numéricos auto-recursivos de 1ª ordem, foram utilizados dados diários de vazão e precipitação dos rios Jundiá e Capivari do período de 1958 a 2006, conforme descrito no item 4.3.1.

As Figuras 32 e 33 ilustram as separações dos hidrogramas de cheias estabelecido para os rios Jundiá e Capivari, respectivamente, onde o escoamento total (Q_t) foi representado pela linha cheia mais escura, a área cinza representa a contribuição do escoamento de base ou subterrâneo (Q_n) no escoamento total

e a área branca representou a contribuição do escoamento superficial rápido (Q_r) no escoamento total.

Os resultados obtidos para as separações dos hidrogramas de cheia dos rios Jundiá e Capivari, em base média mensal, para o período de 1958 a 2006, apresentaram coeficientes de escoamento superficiais rápidos (K_r) semelhantes, de 0,4141 e 0,4471, respectivamente, ou seja, cerca de 41 % e 45 % do escoamento total observado são de origem superficial, estando associado a entradas de chuva nas bacias de drenagem em estudo. Valores próximos foram determinados por Mortatti et al., (2004) para o rio Tietê (30%), por Fernandes (2012) para o rio Sorocaba (38%) e Vendramini (2013) para o rio Piracicaba (38%), que demonstraram que tais valores são típicos de bacias com predomínio agrícola, onde o uso e manejo dos solos interferem diretamente nos processos erosivos mecânicos.

Já os coeficientes subterrâneos foram de 0,5859 e 0,5529, respectivamente, para os rios Jundiá e Capivari, ou seja, cerca de 58% do escoamento total do rio Jundiá tem origem da recarga subterrânea e cerca de 55% do escoamento total do rio Capivari é também subterrânea. O escoamento médio total para o período estudado do rio Capivari foi de $6,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (desvio padrão de 4,8 e coeficiente de variação de 74%) e para o rio Jundiá obteve-se a média de $8,19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (desvio padrão de 5,0 e coeficiente de variação de 61%).

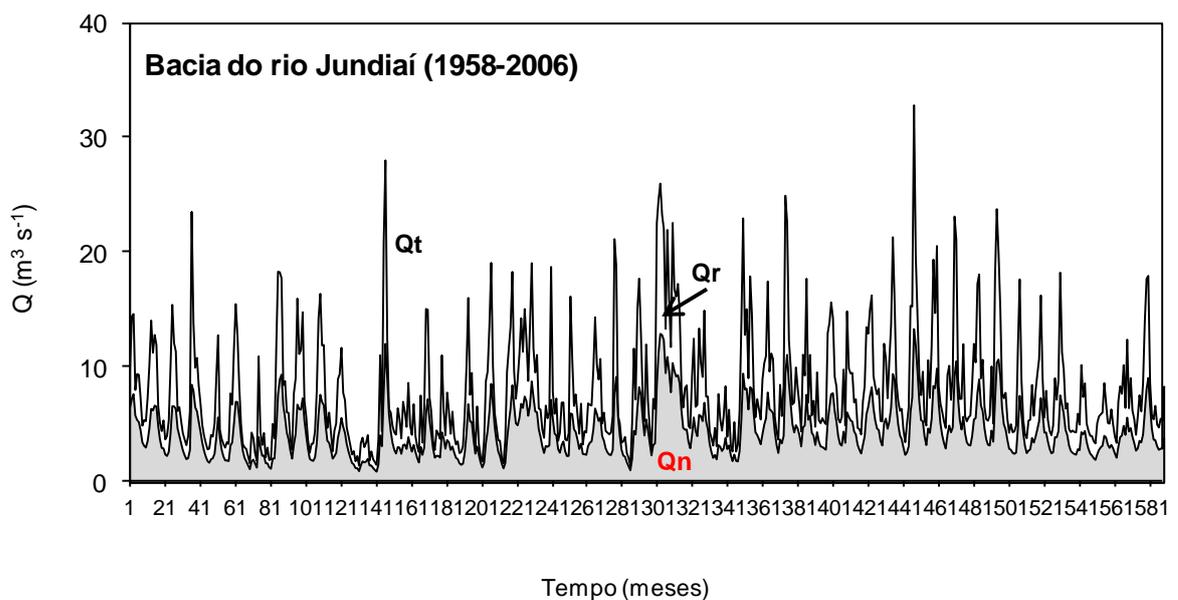


Figura 32 - Separação dos hidrogramas de cheia do rio Jundiá para os reservatórios do escoamento total (Q_t) e escoamento subterrâneo (Q_n), no período de 1958 a 2006.

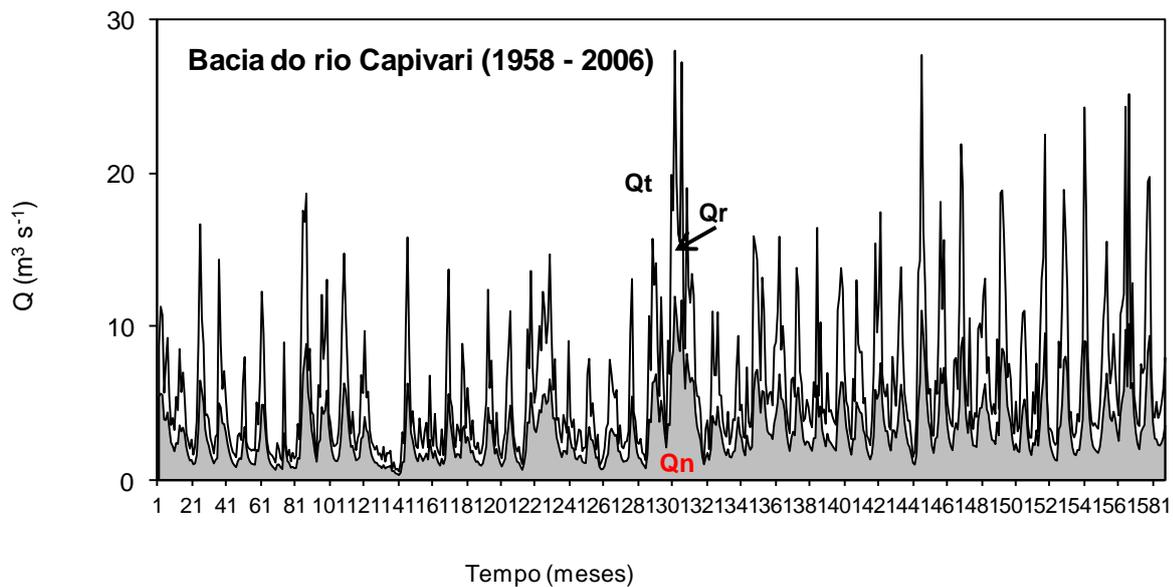


Figura 33 - Separação dos hidrogramas de cheia do rio Capivari para os reservatórios do escoamento total (Q_t) e escoamento subterrâneo (Q_n), no período de 1958 a 2006.

Os coeficientes de escoamentos superficiais rápidos (K_r) médios para os distintos períodos estudados foram sempre maior para o rio Capivari do que o rio Jundiáí indicando maior processo erosivo mecânico na bacia (Figura 34). Em três décadas sucessivas (1958 a 1967, 1968 a 1977 e 1978 a 1987) foram observados a tendência de acréscimo do K_r médio para ambas as bacias de drenagem, com um decréscimo na década seguinte (1988 a 1997) já para o período de 1998 a 2006 os valores médios ocorridos nas décadas anteriores foram mantidos. Tal variabilidade observada de K_r pode ser atribuída a um aumento da atividade agrícola existente nas bacias de drenagem, onde o manejo do solo interfere diretamente nos processos erosivos mecânicos.

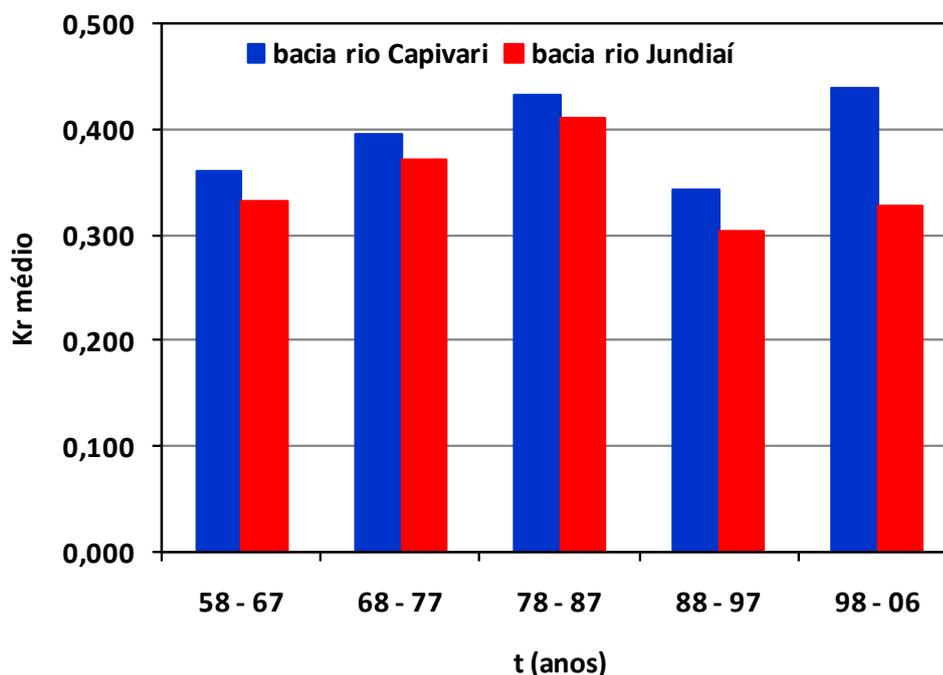


Figura 34 - Coeficientes de escoamento rápido (Kr) médios, calculados de acordo com o modelo de dois reservatórios para as bacias dos rios Capivari e Jundiáí, nos períodos de 1958 a 1967, 1968 a 1977 e 1978 a 1987.

As Figuras 35 e 36 ilustram a variabilidade da precipitação e do escoamento superficial rápido (ΔQ_r) em bases mensais ocorridos nas bacias dos rios Jundiáí e Capivari, respectivamente, para os períodos de 1958 a 1967, 1968 a 1977, 1978 a 1987, 1988 a 1997 e 1998 a 2006, onde os valores positivos de ΔQ_r indicam valores acima da média enquanto os valores negativos de ΔQ_r a ocorrência de períodos secos nas bacias estudadas. Pode ser observado que a tendência dos valores de ΔQ_r oscilou sempre em consonância com as amplitudes das precipitações mostrando estarem diretamente relacionadas com os mecanismos de recarga do sistema fluvial pelas precipitações.

Os valores de Q_r positivos observados podem estar associados aos períodos de maior potencial erosivo estando diretamente dependente dos mecanismos de recarga do sistema fluvial pela precipitação, o que já havia sido observado anteriormente por Mortatti et al., (2004) para as bacias de drenagem dos rios Tietê e Piracicaba, como também por Fernandes (2012) para o rio Sorocaba.

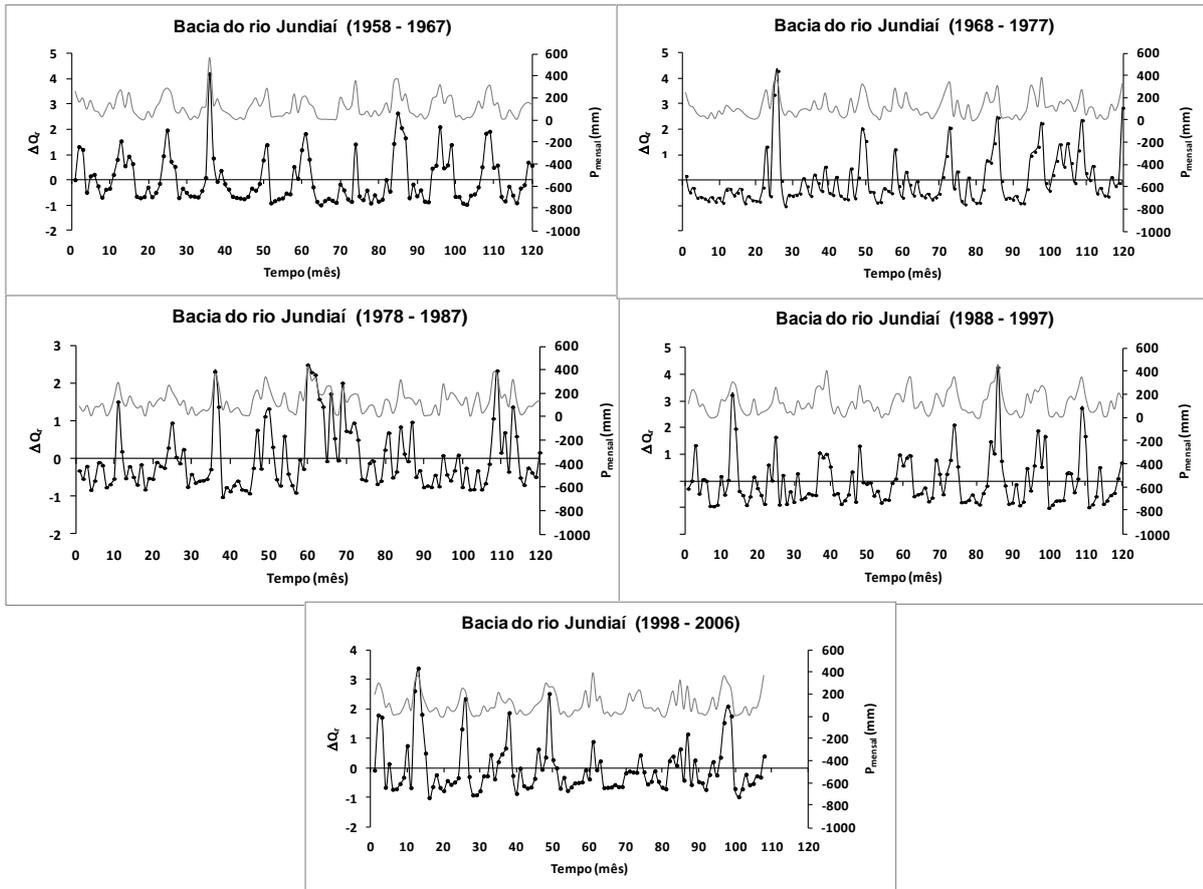


Figura 35 - Variabilidade da precipitação (P em mm) e do escoamento superficial rápido (ΔQ_r) em bases mensais ocorridos na bacia do rio Jundiá para os períodos de 1958 a 1967, 1968 a 1977, 1978 a 1987, 1988 a 1997 e 1998 a 2006.

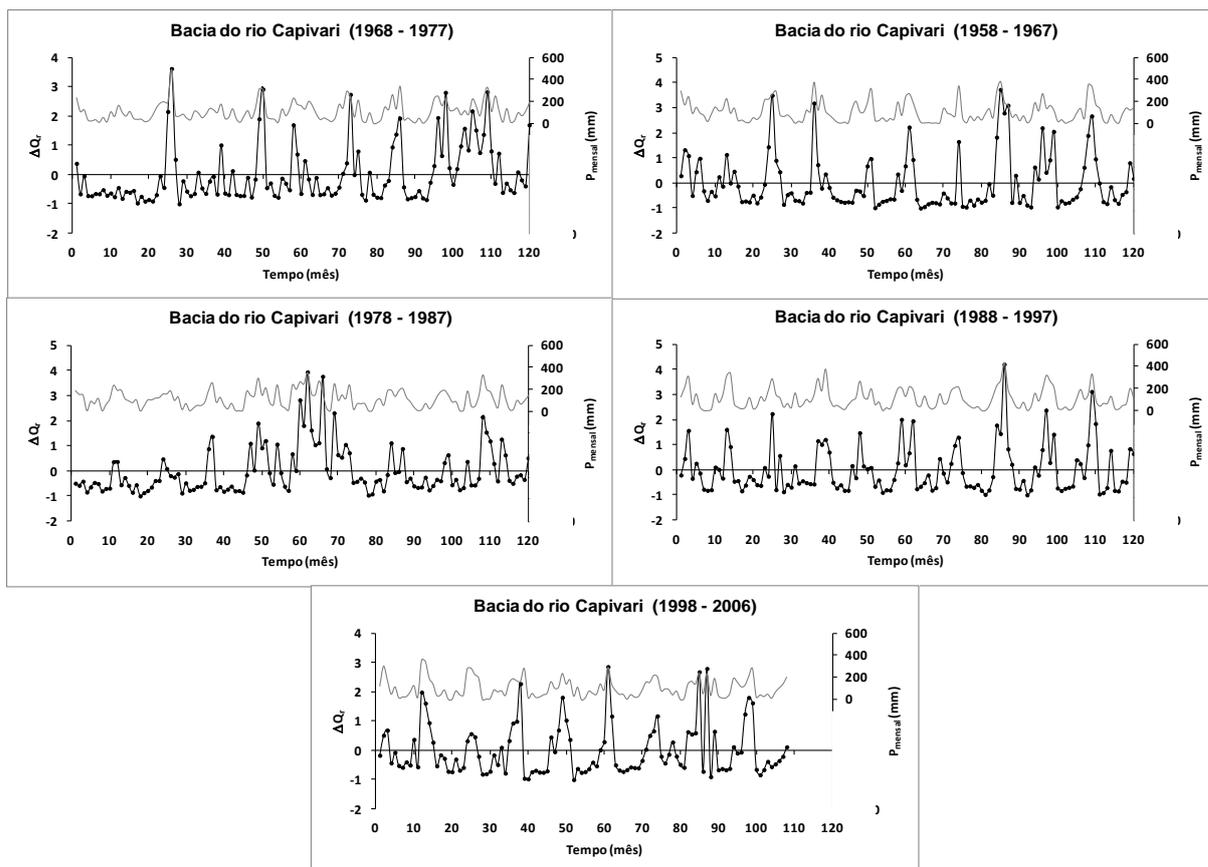


Figura 36 - Variabilidade da precipitação (P em mm) e do escoamento superficial rápido (ΔQ_r) em bases mensais ocorridos na bacia do rio Capivari para os períodos de 1958 a 1967, 1968 a 1977, 1978 a 1987, 1988 a 1997 e 1998 a 2006.

Os relacionamentos entre os escoamentos totais (Q_t) e escoamentos superficiais rápidos (Q_r) para as bacias dos rios Jundiá e Capivari (Figura 37) no período de 1958 a 2006 apresentaram correlações linear altamente significativa ($p < 0,01$) entre as variáveis.

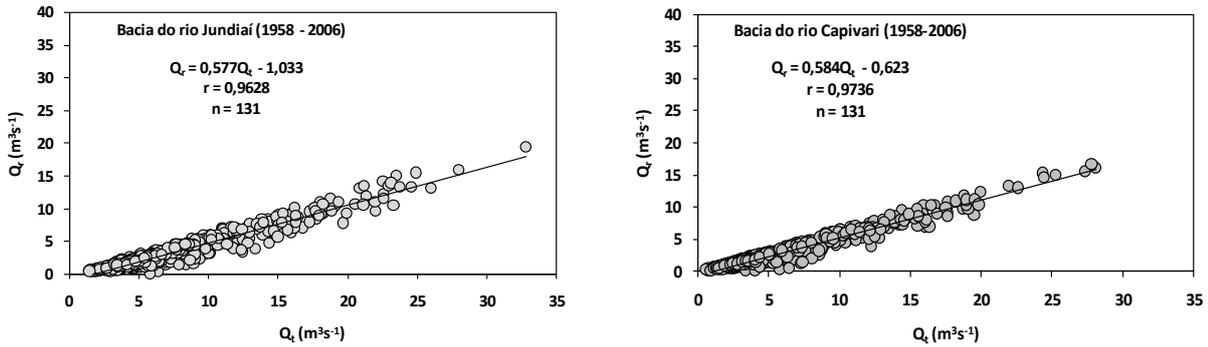


Figura 37 - Os relacionamentos entre os escoamentos totais (Q_t) e escoamentos superficiais rápidos (Q_r) para as bacias dos rios Jundiá e Capivari no período de 1958 a 2006.

5.1.2 Cálculo das vazões nas estações de amostragens dos rios Jundiá e Capivari

As vazões instantâneas obtidas no presente estudo foram determinadas para cada estação de amostragem por meio de medidas diretas no campo realizadas durante as excursões de coleta, de acordo com os procedimentos descritos no item 4.2.1.3 e calculados de acordo com o item 4.3.2.

As Figuras 38 a 40 apresentam, a título de exemplo, a planilha de cálculo da área da seção transversal úmida, das estações de amostragem JUN0, JUN1 e CAP1, com emprego do software WinXPRO 3.0 (USDA, 2005) utilizando os dados obtidos por batimetria feitas em campo.

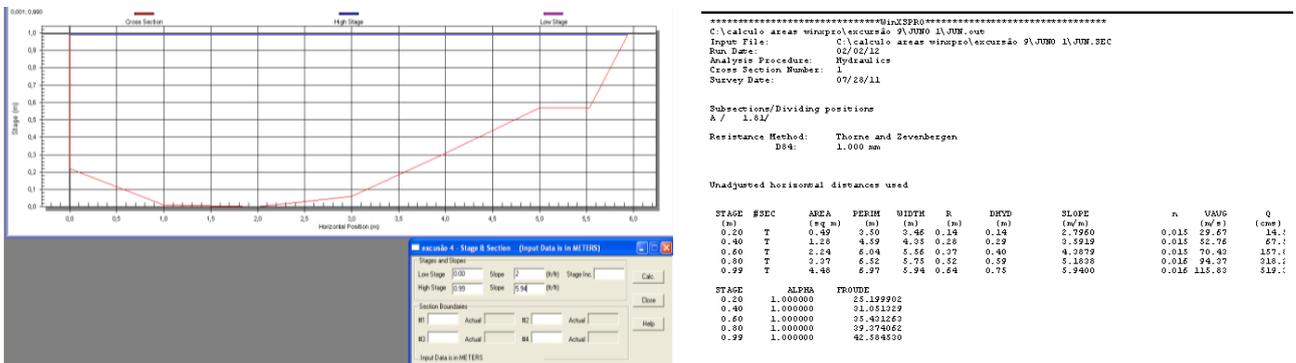


Figura 38 - Seção transversal do canal considerada para a estação de amostragem JUN0 (Nascente do rio Jundiá) e respectiva área (software WinXPRO).

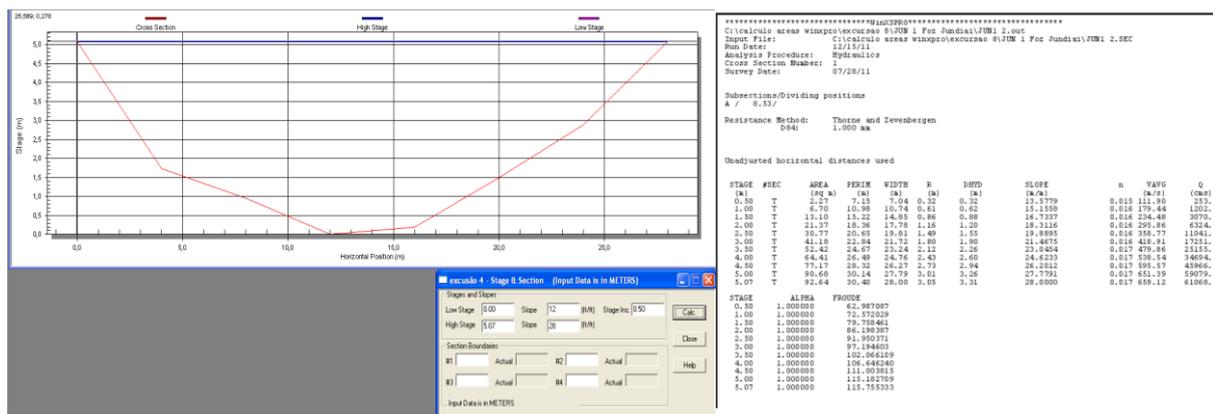


Figura 39 - Seção transversal do canal considerada para a estação de amostragem JUN1 (Foz do rio Jundiaí) e respectiva área (software WinXPRO).

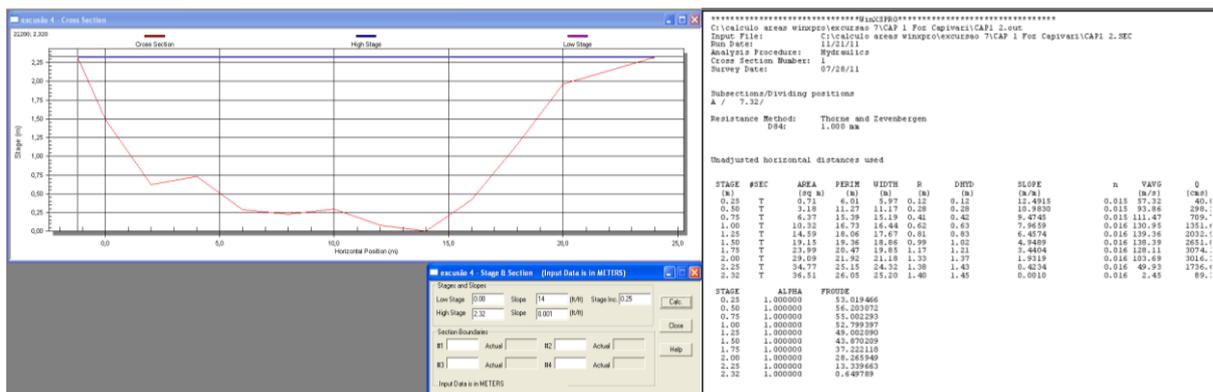


Figura 40 - Seção transversal do canal considerada para a estação de amostragem CAP1 (Foz do rio Capivari) e respectiva área (software WinXPRO).

Para a estação de amostragem CAP0 (nascente do rio Capivari) a área da seção transversal foi calculada conforme item 4.3.2, não sendo utilizado o software WinXPRO.

A Tabela 3 apresenta as vazões instantâneas obtidas para as estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1) nas 15 excursões realizadas ao longo do período estudado, calculadas de acordo com o procedimento descrito anteriormente no item 4.3.3.

Tabela 3 - Vazões ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) para os rios Jundiaí e Capivari nas estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, por excursão ao longo do período de estudo e respectivas vazões médias e desvios padrão.

Data	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)			
	Jundiaí Nascente (JUN0)	Jundiaí Foz (JUN1)	Capivari Nascente (CAP0)	Capivari Foz (CAP1)
19/04/2011	2,09	21,00	0,07	23,30
17/05/2011	3,50	29,30	0,06	20,90
14/06/2011	2,30	26,91	0,09	32,40
19/07/2011	1,90	21,00	0,05	14,04
30/08/2011	1,30	18,00	0,05	15,99
20/09/2011	1,10	14,10	0,04	10,36
01/11/2011	1,47	23,80	0,04	45,30
11/12/2011	2,58	64,38	0,15	117,83
17/01/2012	4,30	76,40	0,08	105,10
18/01/2012	13,50	71,30	0,08	167,20
16/02/2012	1,60	41,20	0,06	131,48
20/06/2012	6,60	75,70	0,32	141,50
28/08/2012	1,30	26,80	0,10	16,10
26/11/2012	1,45	27,80	0,05	18,80
16/12/2012	9,47	150,00	0,18	280,00
Q Médio	3,63	45,85	0,09	76,02
Desvio Padrão	3,58	36,36	0,08	78,90

Foi possível observar uma similaridade em termos de evolução, onde as maiores vazões determinadas no rio Jundiaí também foram observadas no rio Capivari, principalmente nos períodos chuvosos, compreendendo os meses de dezembro e janeiro.

A distribuição temporal das vazões, por estação de amostragem, nas datas coletadas, em comparação com a precipitação do período permitiu verificar que a programação das 15 excursões de amostragem contemplou as quatro fases sazonais de drenagem (estiagem, subida das águas, cheia e descida das águas) abrangendo toda a hidrografa dos rios Jundiaí e Capivari (Figura 41).

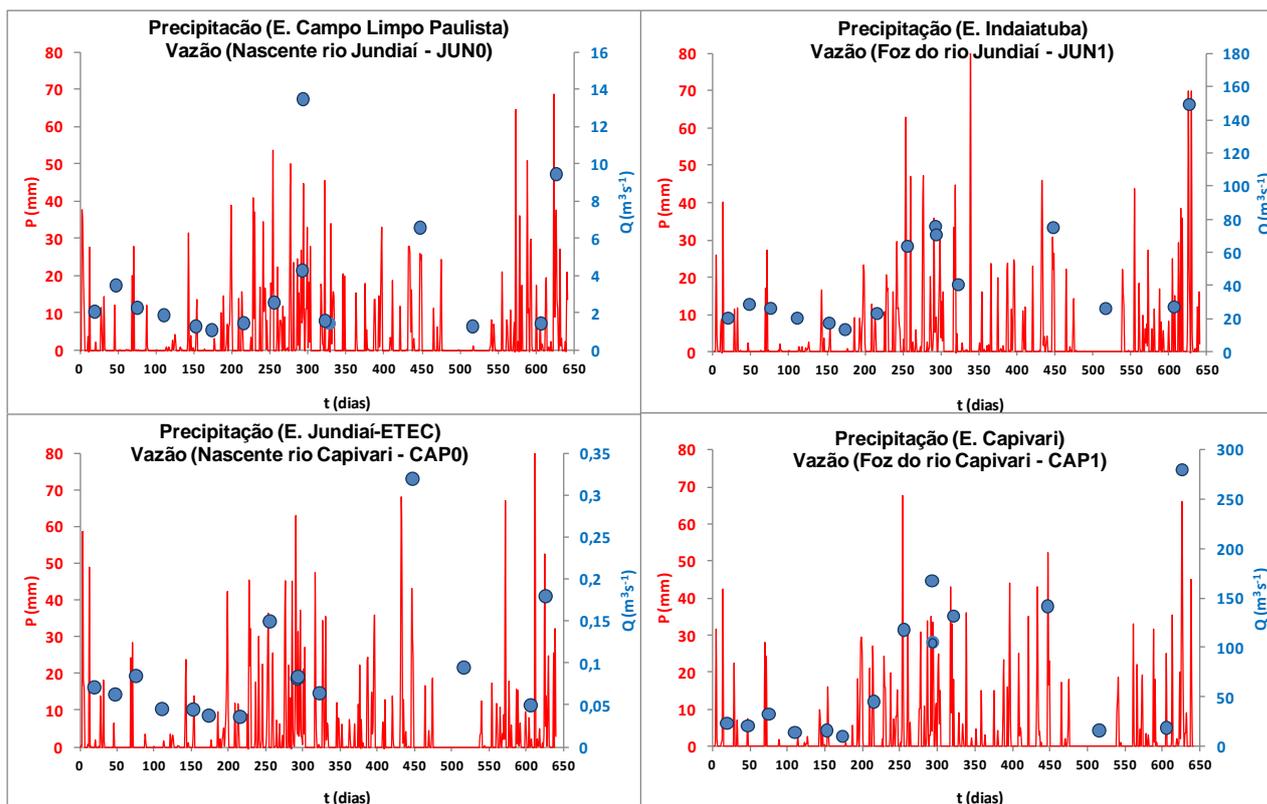


Figura 41 - Variabilidade da precipitação diária (P (mm)) e das vazões instantâneas ($m^3 s^{-1}$), correspondente as 15 excursões de amostragem durante o período estudado, nas quatro estações de amostragem (JUN0 e JUN1) e (CAP0 e CAP1), dos rios Jundiá e Capivari, respectivamente.

Verificou-se que as 15 excursões de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, realizadas nas regiões de nascente e foz, foram representativas em relação à hidrógrafa, pois abrangeram todo regime hidrológico relacionando os altos e baixos valores de precipitação com as vazões instantâneas determinadas nas bacias de drenagem, no momento da coleta.

5.2. Erosão mecânica

De acordo com Mortatti e Probst (1998; 2012), em uma bacia de drenagem, a redução da espessura dos solos e das rochas é regulada fisicamente pela erosão mecânica, que está associada aos processos de degradação física dos solos, arrancando partículas sólidas, transportando-as em solução por meio do escoamento superficial para os rios. O fluxo de material em suspensão medido em um determinado instante é o resultado do conjunto dos mecanismos de erosão e sedimentação que ocorre à montante desse local.

A melhor forma de se avaliar os processos de perda dos solos é através do estudo da dinâmica do sedimento fino em suspensão (FSS) em um determinado período de tempo (TARDY, 1986).

No presente estudo foi feita a quantificação do FSS, nas quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí e Capivari, onde foram avaliados pelos aspectos da variabilidade temporal entre as concentrações de FSS e as vazões; pelo estabelecimento do modelo de correlação com a vazão; pelo cálculo dos transportes, total e específico durante o período estudado; pelo cálculo do transporte médio e nos períodos chuvosos e de estiagem; bem como pela estimativa da degradação física específica das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, o que permitiu verificar com maior detalhamento a dinâmica da erosão mecânica das bacias de drenagem.

5.2.1. Dinâmica dos sedimentos finos em suspensão (FSS)

A quantificação das concentrações de FSS ao longo do período estudado foi realizada, conforme descrito no item 4.2.2.3. Os resultados podem ser observados nas Tabelas de 4 a 5, que também apresentam as vazões instantâneas determinadas em cada dia de amostragem e a concentração média de FSS normalizadas pela vazão e respectivos desvios padrão, calculados pelas Equações 17 e 18 (item 4.4.1).

Tabela 4 - Resultados das concentrações dos sedimentos finos em suspensão (FSS, mg L⁻¹), vazões instantâneas (m³ s⁻¹) para as águas das nascente (JUN0) e foz (JUN1) do rio Jundiáí, e concentração média de FSS normalizada pela vazão e respectivo desvio padrão para o período estudado.

Jundiáí Nascente - JUN0				Jundiáí Foz - JUN1			
Excursão	Data	Q (m ³ s ⁻¹)	FSS (mg L ⁻¹)	Excursão	Data	Q (m ³ s ⁻¹)	FSS (mg L ⁻¹)
JUN0-1	19/04/2011	2,1	47,1	JUN1-1	19/04/2011	21,0	77,2
JUN0-2	17/05/2011	3,5	30,2	JUN1-2	17/05/2011	29,3	49,2
JUN0-3	14/06/2011	2,3	35,6	JUN1-3	14/06/2011	26,9	59,2
JUN0-4	19/07/2011	1,9	13,2	JUN1-4	19/07/2011	21,0	30,1
JUN0-5	30/08/2011	1,3	13,7	JUN1-5	30/08/2011	18,0	49,3
JUN0-6	20/09/2011	1,1	7,6	JUN1-6	20/09/2011	14,1	25,9
JUN0-7	01/11/2011	1,5	18,6	JUN1-7	01/11/2011	23,8	89,0
JUN0-8	11/12/2011	2,6	115,4	JUN1-8	11/12/2011	64,4	405,2
JUN0-9	17/01/2012	4,3	153,1	JUN1-9	17/01/2012	76,4	326,3
JUN0-10	18/01/2012	13,5	573,4	JUN1-10	18/01/2012	71,3	205,5
JUN0-11	16/02/2012	1,6	32,7	JUN1-11	16/02/2012	41,2	279,3
JUN0-12	20/06/2012	6,6	315,1	JUN1-12	20/06/2012	75,7	398,7
JUN0-13	28/08/2012	1,3	8,3	JUN1-13	28/08/2012	26,8	43,9
JUN0-14	26/11/2012	1,5	20,3	JUN1-14	26/11/2012	27,8	73,2
JUN0-15	16/12/2012	9,5	387,9	JUN1-15	16/12/2012	150,0	650,0
		3,6	C _{MNQ} 273,7			45,8	C _{MNQ} 315,2
		3,6	DP _{MNQ} 256,1			36,4	DP _{MNQ} 220,8

Tabela 5 - Resultados das concentrações dos sedimentos finos em suspensão (FSS, mg L⁻¹), vazões instantâneas (m³ s⁻¹) para as águas da nascente (CAP0) e foz (CAP1) do rio Capivari, e concentração média de FSS normalizada pela vazão e respectivo desvio padrão para o período estudado.

Capivari Nascente - CAP0				Capivari Foz - CAP1			
Excursão	Data	Q (m ³ s ⁻¹)	FSS (mg L ⁻¹)	Excursão	Data	Q (m ³ s ⁻¹)	FSS (mg L ⁻¹)
CAP 0-1	19/04/2011	0,07	17,6	CAP 1-1	19/04/2011	23,3	48,0
CAP 0-2	17/05/2011	0,06	9,2	CAP 1-2	17/05/2011	20,9	79,0
CAP 0-3	14/06/2011	0,09	15,7	CAP 1-3	14/06/2011	32,4	54,7
CAP 0-4	19/07/2011	0,05	7,3	CAP 1-4	19/07/2011	14,0	16,7
CAP 0-5	30/08/2011	0,05	8,9	CAP 1-5	30/08/2011	16,0	20,9
CAP 0-6	20/09/2011	0,04	3,3	CAP 1-6	20/09/2011	10,4	33,4
CAP 0-7	01/11/2011	0,04	8,3	CAP 1-7	01/11/2011	45,3	372,5
CAP 0-8	11/12/2011	0,15	95,0	CAP 1-8	11/12/2011	117,8	553,4
CAP 0-9	17/01/2012	0,08	27,1	CAP 1-9	17/01/2012	105,1	495,6
CAP 0-10	18/01/2012	0,08	20,4	CAP 1-10	18/01/2012	167,2	600,9
CAP 0-11	16/02/2012	0,06	13,7	CAP 1-11	16/02/2012	131,5	425,3
CAP 0-12	20/06/2012	0,32	159,0	CAP 1-12	20/06/2012	141,5	751,9
CAP 0-13	28/08/2012	0,10	5,7	CAP 1-13	28/08/2012	16,1	10,6
CAP 0-14	26/11/2012	0,05	13,3	CAP 1-14	26/11/2012	18,8	36,6
CAP 0-15	16/12/2012	0,18	82,3	CAP 1-15	16/12/2012	280,0	935,0
		0,09	C _{MNQ} 64,4			76,0	C _{MNQ} 583,2
		0,1	DP _{MNQ} 43,7			78,9	DP _{MNQ} 282,1

De forma geral, tanto na bacia do rio Jundiá quanto no rio Capivari, as concentrações de FSS aumentaram da região das nascentes em direção à foz. A concentração mais alta de FSS observada na região próxima a nascente do rio Jundiá (JUN0) foi no período chuvoso tendo um valor de 573,4 mg L, coincidindo com a maior vazão que foi de 13,5 m³ s⁻¹ e no período de estiagem verificou-se os menores valores de FSS e vazão sendo de 7,6 mg L⁻¹ e 1,1 m³ s⁻¹, respectivamente. O mesmo foi observado para a região de foz do rio Jundiá (JUN1), sendo que no período chuvoso foi verificada a maior concentração de FSS (650,0 mg L⁻¹) e a maior vazão (150,0 m³ s⁻¹) e no período de estiagem a menor concentração de FSS (25,9 mg L⁻¹) e menor vazão (14,1 m³ s⁻¹).

Para a região de nascente do rio Capivari (CAP0) as concentrações de FSS foram menores do que os determinados na nascente do rio Jundiá, sendo que no período chuvoso a maior concentração de FSS foi de 159,0 mg L⁻¹ e vazão máxima de 0,32 m³ s⁻¹ e mínima concentração de FSS de 3,3 e menor vazão de 0,04, observados nos períodos de estiagem. A foz do rio Capivari (CAP1) foi onde determinou-se o maior valor de FSS e vazão (935,0 mg L⁻¹ e 280,0 m³ s⁻¹, respectivamente) para o período chuvoso. Para o período de estiagem a menor concentração de FSS foi de 10,6 mg L⁻¹ e vazão de 16,1 m³ s⁻¹. Desta forma além da diferença entre regiões de nascente e foz dos rios Jundiá e Capivari, pode-se verificar a grande influencia dos períodos chuvosos e de estiagem na variação das concentrações de FSS e vazão para as duas bacias de drenagem estudadas.

A Figura 42 ilustra a distribuição temporal das concentrações de sedimentos finos em suspensão (FSS) e respectivas vazões, buscando um melhor entendimento da dinâmica das concentrações de FSS nas bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari. Foi possível observar durante o período estudado que as variações das concentrações dos sedimentos em suspensão (FSS) medidos próximos as áreas de nascente e foz dos rios Jundiá e Capivari seguiram as variações das vazões se mostrando em fase, sendo observadas maiores concentrações de FSS durante os períodos de maiores chuvas e menores concentrações de FSS concomitantemente com as menores vazões em períodos de estiagem. Esse comportamento é considerado característico dos processos dinâmicos de remobilização e sedimentação em rios de pequeno e médio porte, conforme observado Mortatti, Probst e Bortoletto Júnior (2003) e Vendramini (2013) para o rio Piracicaba e Fernandez (2012) para o rio Sorocaba.

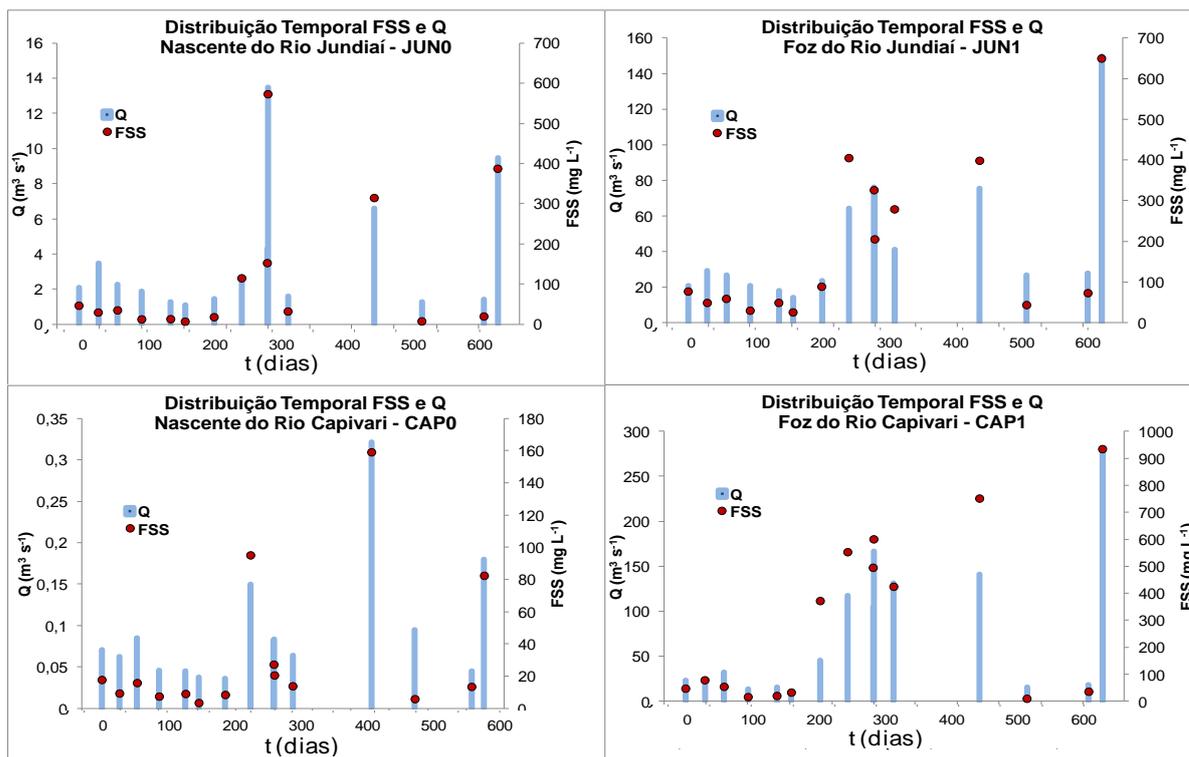


Figura 42 - Distribuição temporal de FSS (mg L^{-1}) e vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) dos rios Jundiá (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período de abril de 2011 a dezembro de 2012, correspondente as 15 excursões de amostragem.

As concentrações de FSS também foram analisadas em termos das variabilidades temporais associadas às variações das vazões instantâneas, conforme podem ser observadas na Figura 43. As variações observadas tanto das concentrações (ΔFSS) como as das vazões (ΔQ) foram normalizadas pela média dos valores conforme as equações 41 e 42, respectivamente.

$$\Delta Q = \frac{Q_i - \bar{Q}}{\bar{Q}} \cdot 100 \quad (41)$$

onde, Q_i é a vazão instantânea e \bar{Q} é a vazão média.

$$\Delta\text{FSS} = \frac{C_{\text{FSS}i} - \bar{C}_{\text{FSS}}}{\bar{C}_{\text{FSS}}} \cdot 100 \quad (42)$$

onde, $C_{\text{FSS}i}$ é a concentração do FSS determinado nas águas fluviais e \bar{C}_{FSS} é a concentração média do FSS calculado.

Conforme pode ser visto na Figura 43, nas estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, tanto nas regiões de nascente como na foz, as variações das concentrações de FSS apresentaram um déficit (Δ negativo) de concentração para períodos com déficit de vazão (Δ negativo) e o inverso também foi verificado, onde períodos com excesso de vazão (Δ positivo) observou-se excesso de concentração de FSS (Δ positivo), demonstrando uma relação direta das concentrações com o regime hídrico.

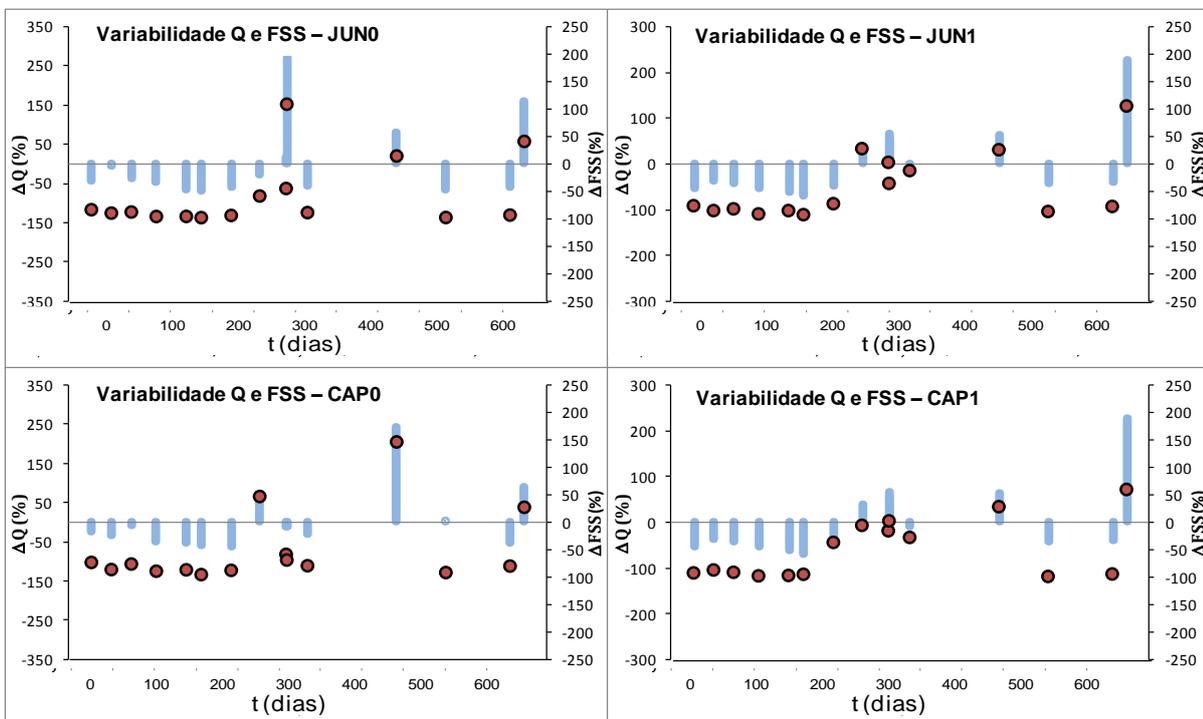


Figura 43 - Variabilidade temporal das concentrações de FSS para as estações de amostragem dos rios Jundiá (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), ao longo do período estudado em função das variações das vazões instantâneas.

Com os valores de C_{FSS} e utilizando os modelos lineares obtidos entre o escoamento total e o escoamento superficial, dos rios Jundiá e Capivari, demonstrados anteriormente no item 5.1.2, foram determinadas as concentrações de material particulado dos escoamentos superficial rápido (C_r) em função do escoamento total diretamente medido nos canais fluviais, calculado pelas equações 43 e 44, para os rios Jundiá e Capivari, respectivamente:

$$C_{r(\text{Jundiaí})} = \frac{FSS \cdot Q}{0,577 \cdot Q - 1,033} \quad (43)$$

$$C_{r(\text{Capivari})} = \frac{FSS \cdot Q}{0,584 \cdot Q - 0,623} \quad (44)$$

onde, Cr são as concentrações dos materiais particulados transportados fluvialmente pelos escoamentos superficiais rápidos, Q são as vazões instantâneas medidas e FSS são os sedimentos finos em suspensão.

Nas Tabelas 6 e 7 podem ser verificadas as concentrações de FSS, em mg L^{-1} , vazões (Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)) e concentrações do material particulado Cr (mg L^{-1}) obtidos pelo modelo de correlação linear entre Q e FSS, calculados para as regiões de foz dos rios Jundiaí e Capivari, durante o período de amostragem estudado.

Tabela 6 - Concentrações de material particulado (Cr) junto à foz da bacia do rio Jundiaí (JUN1), para o período estudado, calculados em função das vazões (Q) e as concentrações de FSS.

Estimativa da Carga Sólida do Escoamento Superficial Rápido - Rio Jundiaí				
Data	Excursão	Q	FSS	Cr
		($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
19/04/2011	JUN1-1	21,0	77,2	146,3
17/05/2011	JUN1-2	29,3	49,2	90,8
14/06/2011	JUN1-3	26,9	59,2	109,9
19/07/2011	JUN1-4	21,0	30,1	57,0
30/08/2011	JUN1-5	18,0	49,3	94,9
20/09/2011	JUN1-6	14,1	25,9	51,4
01/11/2011	JUN1-7	23,8	89,0	166,8
11/12/2011	JUN1-8	64,4	405,2	722,3
17/01/2012	JUN1-9	76,4	326,3	579,1
18/01/2012	JUN1-10	71,3	205,5	365,3
16/02/2012	JUN1-11	41,2	279,3	506,0
20/06/2012	JUN1-12	75,7	398,7	707,7
28/08/2012	JUN1-13	26,8	43,9	81,5
26/11/2012	JUN1-14	27,8	73,2	135,6
16/12/2012	JUN1-15	150,0	650,0	1140,1

Tabela 7 - Concentrações de material particulado (Cr) junto à foz da bacia do rio Jundiá (JUN1), para o período estudado, calculados em função das vazões (Q) e as concentrações de FSS.

Estimativa da Carga Sólida do				
Escoamento Superficial Rápido - Rio Capivari				
Data	Excursão	Qt	FSS	Cr
		(m ³ s ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
19/04/2011	CAP1-1	23,3	48,0	86,1
17/05/2011	CAP1-2	20,9	79,0	142,6
14/06/2011	CAP1-3	32,4	54,7	96,9
19/07/2011	CAP1-4	14,0	16,7	30,9
30/08/2011	CAP1-5	16,0	20,9	38,3
20/09/2011	CAP1-6	10,4	33,4	63,8
01/11/2011	CAP1-7	45,3	372,5	653,2
11/12/2011	CAP1-8	117,8	553,4	956,3
17/01/2012	CAP1-9	105,1	495,6	857,3
18/01/2012	CAP1-10	167,2	600,9	1035,5
16/02/2012	CAP1-11	131,5	425,3	734,2
20/06/2012	CAP1-12	141,5	751,9	1297,3
28/08/2012	CAP1-13	16,1	10,6	19,4
26/11/2012	CAP1-14	18,8	36,6	66,4
16/12/2012	CAP1-15	280,0	935,0	1607,2

Foi possível verificar que as concentrações de Cr determinadas para os rios Jundiá e Capivari, nos meses de novembro a janeiro (época de maiores vazões), se mostraram bastante superiores a rios como o Sorocaba (154,7 mg L⁻¹) (FERNANDEZ, 2012) e ao rio Lena- Rússia (90,0 mg L⁻¹), porém próximo ao valor de 1000 mg L⁻¹ proposto por Probst et al. (1989).

5.2.2 Relacionamento entre concentração de sedimentos finos em suspensão e vazão

A avaliação do relacionamento entre as concentrações dos sedimentos finos em suspensão em função das vazões, nas águas dos rios Jundiá e Capivari, para o período total e para os períodos chuvosos e de estiagem foi realizada pelo estabelecimento de modelos lineares, conforme descrito no item 4.4.2., sendo apresentado na Figura 44, no qual foi possível observar que para todas as estações

de amostragem os coeficientes de correlação foram altamente significativos ($p < 0,01$).

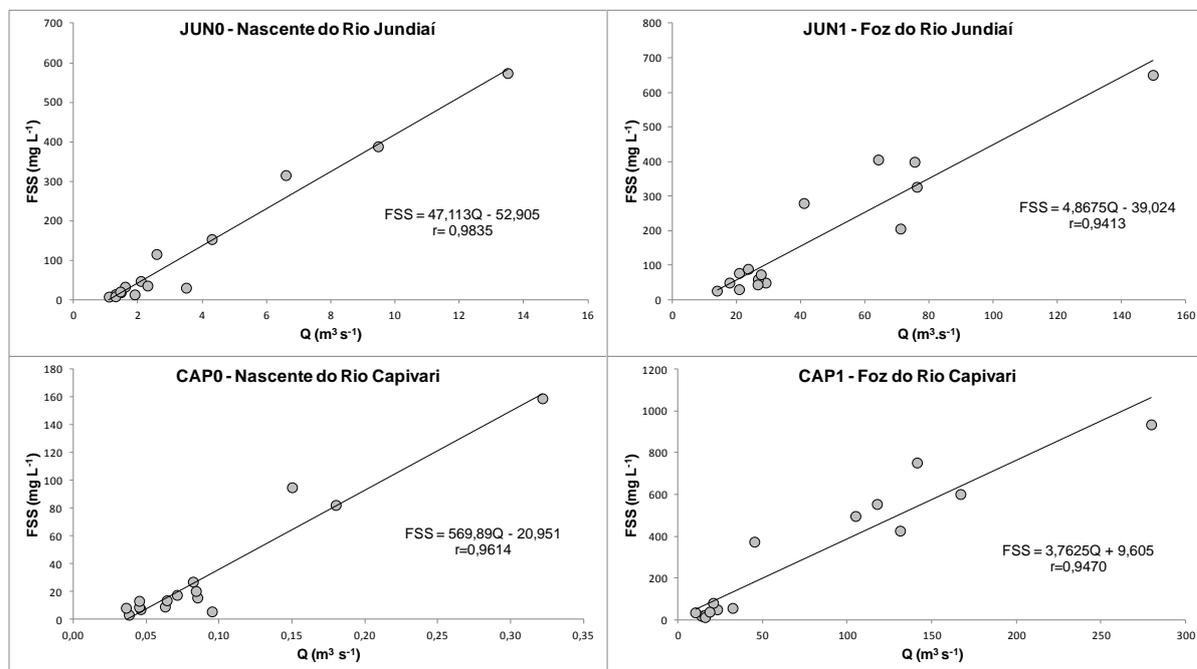


Figura 44 - Relações entre vazão ($m^3 s^{-1}$) e concentração do sedimento fino em suspensão (FSS ($mg L^{-1}$)) para as quatro estações de amostragem das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari, para o período estudado.

Os modelos de lineares determinados entre as concentrações de FSS e as vazões estabelecidas nas estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, regiões de nascente e foz apresentaram semelhanças aos estabelecidos para rios de pequeno e médio porte. Para as estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, tanto nas regiões de nascente como na foz, os modelos obtidos apresentaram coeficientes de correlação significativos, demonstrando que a dinâmica do FSS foi influenciada diretamente pelas variações das vazões. A Figura 45 apresenta as relações lineares entre as vazões ($m^3 s^{-1}$) e as concentrações de FSS ($mg L^{-1}$) para as foz dos rios Jundiá e Capivari.

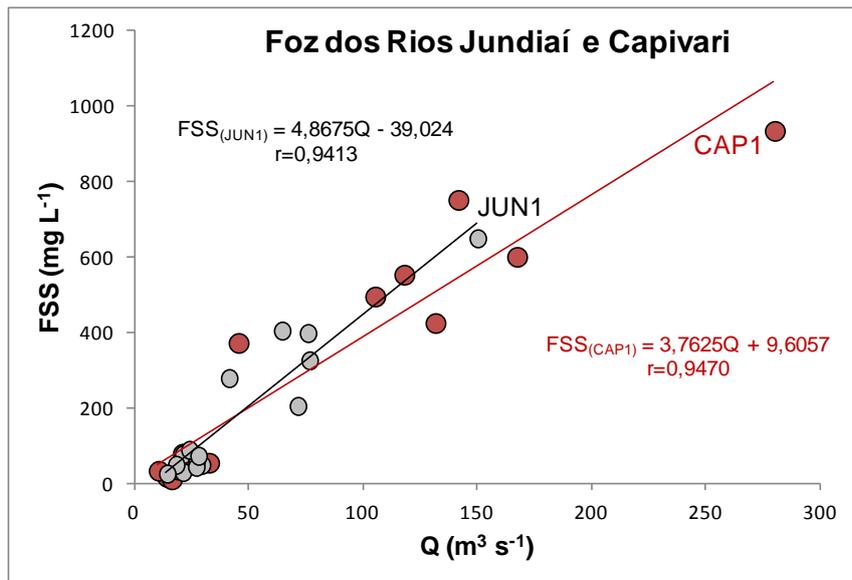


Figura 45 - Relações entre vazões (m³ s⁻¹) e concentrações de FSS (mg L⁻¹) para as foz dos rios Jundiá (JUN1) e Capivari (CAP1), para o período estudado.

Verificou-se, pelo modelo de equação linear, que a estação JUN1, foz do rio Jundiá apresenta um coeficiente angular de 4,8675, sendo superior ao verificado na estação CAP1 (3,7625), foz do rio Capivari, indicando que para semelhantes vazões o rio Jundiá apresentou maiores concentração de FSS.

5.2.3 Transporte fluvial de sedimentos finos em suspensão

As cargas particuladas transportadas pelos rios variam enormemente ao longo do ano, principalmente em função do regime hídrico, estado de saturação do solo e cobertura vegetal (MORTATTI; PROBST, 2012). De acordo com Walling et al., (2003), a melhor maneira de se avaliar a intensidade da erosão mecânica quer seja na escala global ou na escala de uma bacia de drenagem, é através do monitoramento do transporte de material sólido, em suspensão, assumindo-se que esse material representa aproximadamente 90% da carga total de sólidos escoados nos rios e cursos d'água.

Os transportes totais e específicos dos sedimentos finos em suspensão das amostras de águas dos rios Jundiá e Capivari foram calculados pelo método de estocástico (Equação 20), conforme descrito no item 4.4.3.1, e pelo método determinístico (Equação 23), conforme descrito no item 4.4.3.2, para o período de

abril de 2011 a dezembro de 2012. Os resultados dos transportes médios específicos (T_E), anuais e diários, dos sedimentos finos em suspensão, para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí e Capivari, calculados pelos métodos estocástico e determinístico podem ser vistos nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

De forma geral, os resultados de transporte fluvial de FSS obtidos pelos dois métodos tiveram grande diferença entre os valores calculados. Os valores de transporte de sedimentos finos em suspensão, para as bacias dos rios Jundiaí e Capivari determinados pelo método estocástico foram muitos superiores aos calculados pelo método determinístico, sendo que essa diferença ocorreu devido a quantidade de coletas feitas durante o período estudado, resultando em valores superestimados para o método estocástico. Para esse trabalho o método determinístico se mostrou mais representativo para o cálculo de FSS.

Tabela 8 - Transporte médio anual dos sedimentos finos em suspensão específico (T_E), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, calculado pelo método estocástico.

Método Estocástico				
Estação de Amostragem	Área (km ²)	Q médio (m ³ s ⁻¹)	T_E (t km ⁻² a ⁻¹)	T_E (t km ⁻² d ⁻¹)
Jundiaí Nascente (JUN0)	211,23	3,63	64,03	0,18
Jundiaí Foz (JUN1)	1114,03	45,85	238,99	0,65
Capivari Nascente (CAP0)	85,05	0,09	1,08	0,00
Capivari Foz (CAP1)	1620,92	76,02	437,25	1,20

Tabela 9 - Transporte médio anual dos sedimentos finos em suspensão específico (T_E), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, calculado pelo método determinístico.

Método Determinístico				
Estação de Amostragem	Área (km ²)	Q médio (m ³ s ⁻¹)	T_E (t km ⁻² a ⁻¹)	T_E (t km ⁻² d ⁻¹)
Jundiaí Nascente (JUN0)	211,23	3,63	16,64	0,05
Jundiaí Foz (JUN1)	1114,03	45,85	40,80	0,11
Capivari Nascente (CAP0)	85,05	0,09	0,26	0,00
Capivari Foz (CAP1)	1620,92	76,02	90,70	0,25

Em relação ao método determinístico, durante todo o período estudado foi possível verificar que a erosão mecânica, avaliada em relação ao transporte específico de FSS, se mostrou da ordem de $16,64 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$, para a nascente do rio Jundiaí. Já para a foz (JUN1) o transporte específico foi de $40,80 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$, mostrando-se superior ao da nascente, evidenciando que há uma contribuição significativa da erosão mecânica nos materiais particulados presentes nas águas do rio Jundiaí.

O T_E de FSS, para a nascente do rio Capivari, quando calculado pelo método determinístico, apresentou um transporte específico de $0,26 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$, sendo esse valor inferior se comparado com a bacia do rio Jundiaí, porém para a foz do rio Capivari, o transporte específico de FSS determinado foi de $90,70 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$, valor muito superior quando comparado a nascente do mesmo rio, como também em relação ao rio Jundiaí, possivelmente associado à produção agrícola que é mais intensa na bacia do rio Capivari.

Comparadas com bacias de drenagem regionais de mesmas características de uso e ocupação do solo, a erosão mecânica principalmente da bacia do rio Capivari, na estação de amostragem CAP1 se mostrou significativamente superior às observadas para o rio Tietê ($59,60 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) por Bortoletto Júnior (2004) e a bacia do rio Sorocaba ($55,70 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) (FERNANDES, 2012), mas similar ao determinado por Vendramini (2013) para o rio Piracicaba ($88,07 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$).

Em termos globais, as erosões mecânicas observadas na foz das bacias dos rios Jundiaí e Capivari foram superiores aos rios africanos, considerados naturais, como as do rio Congo, na República do Congo com $12,6 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (NKOUNKOU; PROBST, 1987), do rio Niger, em Mali, com $8 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (MEYBECK et al., 2003). Já quando comparadas às bacias de drenagem dos rios Garone e Lot, ambos na França (MEYBECK et al., 2003) o rio Capivari apresentou erosão mecânica ligeiramente superior. Na tabela 10 pode ser vista a classificação da erosão mecânica para os rios do mundo, proposta por Meybeck et al. (2003), em termos de transporte específico de FSS.

Tabela 10 - Critérios estabelecidos para a classificação da variabilidade global dos sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados em 60 estações de amostragens em alguns dos principais rios do mundo (MEYBECK et al., 2003).

Variabilidade Global dos FSS	
Classes	(t km ⁻² a ⁻¹)
muito baixo	<3,65
baixo	de 3,65 a 18,25
médio	de 18,25 a 73
alto	de 73 a 365
muito alto	de 365 a 1825
extremamente alto	>1825

(Extraído e adaptado de Meybeck et al., 2003)

De acordo com essa classificação, a erosão mecânica, calculada pelo método determinístico, para a bacia do rio Jundiaí, apresentou uma erosão média e o rio Capivari uma erosão considerada alta, bastante semelhante às bacias de drenagem muito maiores, em termos de extensão, como as dos rios Mississipi (EUA), de 3.221.000 km² e Peace (Canadá), de 186.000 km², que receberam a mesma classificação, o que configura um alto potencial de perda de solos (MEYBECK et al., 2003). Isso mostra que, apesar dos rios Jundiaí e Capivari apresentarem características de rios de pequeno a médio porte, suas contribuições nos transportes de FSS, ao rio Tietê, são bastante significativas.

As causas principais dos altos transportes, principalmente na bacia do rio Capivari, apontam para o desordenado uso e ocupação do solo, principalmente relacionada às práticas agrícolas utilizadas para o cultivo da cana-de-açúcar, que ocupam grandes áreas da bacia de drenagem. (FERRAZ; MORTATTI, 2002; MORTATTI; PROBST; BORTOLETTO JÚNIOR, 2003; BORTOLETTO JÚNIOR, 2004; FERNANDES, 2012; VENDRAMINI, 2013).

Os transportes médios específicos anuais (T_E), dos sedimentos finos em suspensão, calculados pelo método determinístico, para as bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, nos períodos chuvoso e seco (estiagem) podem ser visualizados na Tabela 11.

Tabela 11 - Transporte médio anual dos sedimentos finos em suspensão específico (T_E), calculados pelo método determinístico, para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, nos períodos chuvoso e seco (estiagem).

Estação de Amostragem	Período Chuvoso	Período Seco
	T_E ($t.km^{-2}.a^{-1}$)	T_E ($t.km^{-2}.a^{-1}$)
Jundiá Nascente (JUN0)	21,31	0,56
Jundiá Foz (JUN1)	34,71	2,10
Capivari Nascente (CAP0)	0,31	0,01
Capivari Foz (CAP1)	66,00	1,59

Na bacia do rio Jundiá, as variações entre os transportes específicos nos períodos chuvosos e de estiagem foram muito significativas e determinantes na avaliação da dinâmica da carga particulada transportada fluvialmente. Na nascente do rio Jundiá (JUN0) o transporte específico foi de $21,31 t km^{-2} a^{-1}$ para o período chuvoso e de $0,56 t km^{-2} a^{-1}$ para o período de seca. Mesmo sendo considerada área de nascente foi possível observar um aumento de aproximadamente 38 vezes, entre os períodos de estiagem e chuvoso, associado ao uso e ocupação do solo, como a retirada da mata ciliar. Já para a foz do rio Jundiá (JUN1) o transporte específico de FSS foi de $34,71 t km^{-2} a^{-1}$ no período chuvoso e de $2,10 t km^{-2} a^{-1}$ no período de estiagem, evidenciando a influência da chuva no transporte de FSS para o rio estudado, material esse associado principalmente às erosões que ocorrem ao longo da bacia.

Situação semelhante foi observada na bacia do rio Capivari, onde na área de nascente (CAP0) o transporte específico de FSS determinado foi de $0,31 t km^{-2} a^{-1}$ para o período chuvoso e de $0,01 t km^{-2} a^{-1}$ para o período de estiagem (seca). Na foz (CAP1) o transporte específico foi de $66,00 t km^{-2} a^{-1}$ no período chuvoso e $1,59 t km^{-2} a^{-1}$ no período de seca, evidenciando um aumento significativo de aproximadamente 33 vezes entre os períodos de estiagem e chuvoso. Para ambos os períodos (chuvoso e estiagem) o transporte de FSS no rio Capivari foi mais elevado do que o observado no rio Jundiá, o que já era esperado, por ser uma bacia bastante influenciada por culturas agrícolas.

5.2.4 Degradação física específica

Os graus de degradação física específica ou também chamado de taxas de erosão mecânica das bacias dos rios Jundiá e Capivari foram calculados de acordo com a Equação 25 descrita no item 4.4.4, para as estações JUN0 e CAP0 próxima das regiões de nascentes e JUN1 e CAP1 para as regiões da foz, dos rios Jundiá e Capivari, considerando os transportes específicos médios de FSS determinados para o período estudado. As densidades médias dos principais solos presentes nas bacias dos rios Jundiá e Capivari foram determinadas conforme o descrito no item 4.2.2.4.

Os resultados das densidades de solos próximos a nascente do rio Jundiá foram de $1,56 \pm 0,09 \text{ t m}^{-3}$ para o Cambissolo (CX1) e $1,24 \pm 0,01 \text{ t m}^{-3}$ para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e $1,60 \pm 0,05 \text{ t m}^{-3}$ para o Argissolo Vermelho Amarelo (PVA52), encontrado na região central e foz da bacia do rio Jundiá.

Para a bacia de drenagem do rio Capivari os valores de densidade dos solos foi de, $1,66 \pm 0,03 \text{ t m}^{-3}$ na região de nascente, com predomínio do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA22), na região central da bacia do rio Capivari os valores determinados foram de $1,49 \pm 0,04 \text{ t m}^{-3}$ para Latossolo Vermelho (LV) e $1,24 \pm 0,01 \text{ t m}^{-3}$ para Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), e próxima a foz o valor foi de $1,67 \pm 0,01 \text{ t m}^{-3}$ para o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA102).

A partir desses resultados foi possível estimar a densidade média dos solos das bacias dos rios Jundiá e Capivari, considerando as áreas de abrangência de cada solo existente nas mesmas, sendo de $1,43 \pm 0,30 \text{ t m}^{-3}$ e $1,49 \pm 0,20 \text{ t m}^{-3}$, respectivamente, valores esses considerados similar aos apresentados por Brasil (1983) para a densidade média do saprólio na bacia do Médio Tietê ($1,47 \text{ t m}^{-3}$), por Bortoletto Junior (2004) para a densidade média dos solos das bacias dos rios Tietê ($1,4 \text{ t m}^{-3}$) e Piracicaba ($1,5 \text{ t m}^{-3}$) e por Fernandes (2012) para a densidade média dos solos do rio Sorocaba ($1,47 \text{ t m}^{-3}$).

As taxas de erosão mecânica obtidas junto a nascente do rio Jundiá (JUN0) foi de $11,32 \text{ m Ma}^{-1}$, já para a foz (JUN1) essa taxa foi de $27,76 \text{ m Ma}^{-1}$, indicando que o grau de degradação física específica aumentou de duas vezes, da nascente para a foz. Para o rio Capivari a taxa de erosão mecânica determinada na estação CAP0 (região de nascente) foi de $0,17 \text{ m Ma}^{-1}$, já para a região de foz (CAP1) o valor foi de $59,67 \text{ m Ma}^{-1}$, evidenciando uma evolução no processo de perdas de solos, da

nascente para a foz, possivelmente associado a práticas agrícolas que são mais intensas na bacia do rio Capivari do que na bacia do rio Jundiaí. Valor similar da ordem de $61,58 \text{ m Ma}^{-1}$ já havia sido determinado por Vendramini (2013) para a bacia do rio Piracicaba, que apresenta características agrícolas muito similares à bacia do rio Capivari.

5.2.5. Concentrações de carbono e nitrogênio orgânicos particulados e respectivas assinaturas isotópicas dos sedimentos finos em suspensão

Nas Tabelas 12 a 15 podem ser observados os resultados determinados de carbono orgânico particulado (COP), nitrogênio orgânico particulado (COP), assinaturas isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) e razão C/N, nas amostras de sedimentos finos em suspensão coletadas nas estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), conforme descrito no item 4.4.5.

Tabela 12 - Resultados de Q, COP, NOP, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na nascente do rio Jundiáí (JUN0), para o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COP, NOP e C/N.

Nascente Rio Jundiáí- JUN0							
Amostras	Excursão	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	COD		NOD		C/N
			mg L^{-1}	$\delta^{13}\text{C}$	mg L^{-1}	$\delta^{15}\text{N}$	
JUN0-1	19/04/2011	2,10	1,19	-25,25	0,11	6,31	10,84
JUN0-2	17/05/2011	3,50	1,10	-25,95	0,09	5,00	11,96
JUN0-3	14/06/2011	2,30	1,14	-25,52	0,10	5,80	11,75
JUN0-4	19/07/2011	1,90	0,57	-25,48	0,05	4,52	10,94
JUN0-5	30/08/2011	1,30	0,46	-25,35	0,04	5,62	10,67
JUN0-6	20/09/2011	1,10	0,37	-25,92	0,03	4,79	11,60
JUN0-7	01/11/2011	1,50	0,64	-25,17	0,06	5,12	10,21
JUN0-8	11/12/2011	2,60	2,71	-24,41	0,25	8,09	10,93
JUN0-9	17/01/2012	4,30	3,46	-24,45	0,30	7,17	11,42
JUN0-10	18/01/2012	13,50	10,81	-23,53	0,93	5,50	11,56
JUN0-11	16/02/2012	1,60	0,91	-25,02	0,09	7,20	10,73
JUN0-12	20/06/2012	1,30	5,48	-23,67	0,66	7,43	8,36
JUN0-13	28/08/2012	6,60	-----	-----	-----	-----	-----
JUN0-14	26/11/2012	1,50	0,54	-24,35	0,06	8,68	9,83
JUN0-15	16/12/2012	9,50	8,69	-23,93	0,49	7,03	17,78
		C_{MNQ}	4,98	-24,86	0,39	6,30	11,33
		DP_{MNQ}	3,29	0,80	0,28	1,30	2,07
		Máximo	10,81	-23,53	0,93	8,68	17,78
		Mínimo	0,37	-25,95	0,03	4,52	8,36

Tabela 13 - Resultados de Q, COP, NOP, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na foz do rio Jundiá (JUN1), para o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COP, NOP e C/N.

Foz Rio Jundiá- JUN1							
Amostras	Excursão	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	COP		NOP		C/N
			mg L^{-1}	$\delta^{13}\text{C}$	mg L^{-1}	$\delta^{15}\text{N}$	
JUN1-1	19/04/2011	21,00	2,36	-22,78	0,30	4,08	7,92
JUN1-2	17/05/2011	29,30	2,55	-22,92	0,32	2,14	7,93
JUN1-3	14/06/2011	26,90	1,81	-22,69	0,29	2,68	6,24
JUN1-4	19/07/2011	21,00	3,45	-23,12	0,44	-0,48	7,89
JUN1-5	30/08/2011	18,00	2,94	-23,54	0,49	1,58	6,03
JUN1-6	20/09/2011	14,10	2,78	-23,51	0,40	1,75	6,98
JUN1-7	01/11/2011	23,80	4,58	-23,22	0,37	3,21	12,33
JUN1-8	11/12/2011	64,40	7,42	-22,56	0,78	5,57	9,48
JUN1-9	17/01/2012	76,40	6,85	-22,91	0,70	5,51	9,77
JUN1-10	18/01/2012	71,30	4,42	-23,11	0,46	6,12	9,52
JUN1-11	16/02/2012	41,20	6,31	-23,02	0,62	3,78	10,14
JUN1-12	20/06/2012	75,70	6,82	-21,45	0,69	4,21	9,88
JUN1-13	28/08/2012	26,80	-----	-----	-----	-----	-----
JUN1-14	26/11/2012	27,80	2,15	-22,02	0,23	4,40	9,46
JUN1-15	16/12/2012	150,00	13,62	-22,45	0,49	5,93	27,57
		C_{MNQ}	6,75	-22,81	0,51	3,61	10,08
		DP_{MNQ}	3,18	0,56	0,17	1,92	5,31
		Máximo	13,62	-21,45	0,78	6,12	27,57
		Mínimo	1,81	-23,54	0,23	-0,48	6,03

Tabela 14 - Resultados de Q, COP, NOP, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na nascente do rio Capivari (CAP0), para o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COP, NOP e C/N.

Nascente Rio Capivari - CAP0							
Amostras	Excursão	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	COP		NOP		C/N
			mg L^{-1}	$\delta^{13}\text{C}$	mg L^{-1}	$\delta^{15}\text{N}$	
CAP0-1	19/04/2011	0,07	0,80	-23,92	0,09	8,91	9,40
CAP0-2	17/05/2011	0,06	0,32	-25,40	0,06	8,88	5,41
CAP0-3	14/06/2011	0,09	0,93	-23,67	0,07	7,78	12,90
CAP0-4	19/07/2011	0,05	0,16	-25,57	0,02	9,04	10,33
CAP0-5	30/08/2011	0,05	0,50	-25,23	0,06	7,85	8,75
CAP0-6	20/09/2011	0,04	0,20	-25,24	0,02	8,18	9,27
CAP0-7	01/11/2011	0,04	0,61	-23,86	0,06	8,62	10,01
CAP0-8	11/12/2011	0,15	2,85	-21,63	0,29	7,67	9,73
CAP0-9	17/01/2012	0,08	0,83	-22,75	0,09	8,6	9,00
CAP0-10	18/01/2012	0,08	0,83	-24,66	0,10	6,94	8,43
CAP0-11	16/02/2012	0,06	0,78	-24,54	0,07	7,54	11,74
CAP0-12	20/06/2012	0,32	3,42	-22,07	0,45	8,47	7,61
CAP0-13	28/08/2012	0,10	-----	-----	-----	-----	-----
CAP0-14	26/11/2012	0,05	0,51	-21,35	0,07	8,14	7,38
CAP0-15	16/12/2012	0,18	2,98	-21,43	0,18	8,05	16,67
		C_{MNQ}	1,77	-23,67	0,19	8,19	9,76
		DP_{MNQ}	1,10	1,55	0,12	0,60	2,70
		Máximo	3,42	-21,35	0,45	9,04	16,67
		Mínimo	0,16	-25,57	0,02	6,94	5,41

Tabela 15 - Resultados de Q, COP, NOP, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na foz do rio Capivari (CAP1), para o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COP, NOP e C/N.

Foz Rio Capivari - CAP1							
Amostras	Excursão	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	COP		NOP		C/N
			mg L^{-1}	$\delta^{13}\text{C}$	mg L^{-1}	$\delta^{15}\text{N}$	
CAP1-1	19/04/2011	23,30	2,13	-23,81	0,17	4,32	12,30
CAP1-2	17/05/2011	20,90	1,93	-21,84	0,21	10,19	9,18
CAP1-3	14/06/2011	32,40	1,37	-22,42	0,15	9,58	8,98
CAP1-4	19/07/2011	14,00	0,87	-24,10	0,09	5,18	9,24
CAP1-5	30/08/2011	16,00	1,11	-26,99	0,17	2,73	6,66
CAP1-6	20/09/2011	10,40	4,15	-28,46	0,63	4,52	6,59
CAP1-7	01/11/2011	45,30	22,16	-25,01	0,94	4,7	23,60
CAP1-8	11/12/2011	117,80	11,17	-21,31	0,95	5,14	11,81
CAP1-9	17/01/2012	105,10	9,89	-21,22	0,92	7,36	10,73
CAP1-10	18/01/2012	167,20	9,42	-21,22	0,97	6,67	9,67
CAP1-11	16/02/2012	131,50	6,40	-21,66	0,59	7,29	10,90
CAP1-12	20/06/2012	141,50	7,62	-19,27	1,03	6,98	7,40
CAP1-13	28/08/2012	16,10	-----	-----	-----	-----	-----
CAP1-14	26/11/2012	18,80	0,84	-22,87	0,11	11,95	7,75
CAP1-15	16/12/2012	280,00	15,03	-19,34	1,37	9,96	10,94
		C_{MNQ}	9,90	-22,82	0,92	6,90	10,41
		DP_{MNQ}	6,13	2,65	0,44	2,69	4,21
		Máximo	22,16	-19,27	1,37	11,95	23,60
		Mínimo	0,84	-28,46	0,09	2,73	6,59

Para a nascente do rio Jundiá (JUN0), as concentrações isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ variaram entre 4,52 a 8,68‰, porém os mesmos valores não foram verificados para a região de foz (JUN1) onde os valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ variaram entre -0,48 a 6,12‰. A nascente do rio Capivari (CAP0) apresentou valores similares $\delta^{15}\text{N}$ aos valores da nascente do rio Jundiá, variando as concentrações isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ entre 6,94 a 9,04‰. Já a foz do rio Capivari (CAP1) os valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ variaram de 2,73 a 11,95‰. Com relação ao nitrogênio é importante salientar que as diferentes formas de nitrogênio encontradas na natureza são oriundas de diferentes transformações químicas e biológicas, resultando em fracionamentos distintos para o $\delta^{15}\text{N}$. Em relação aos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$, a literatura propõe que valores entre -2 a 4‰ são característicos de fertilizantes comerciais, de 3 a 8‰ relacionados ao NO_3^- do solo e de 10 a 20‰ indicativo do NO_3^- dos rejeitos humanos e de animais (ARAVENA et al., 1993).

Para uma melhor interpretação dos resultados de $\delta^{13}\text{C}$, em relação à origem da matéria orgânica, a Figura 46 ilustra a relação entre as concentrações isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e a razão C/N (carbono orgânico particulado/nitrogênio orgânico particulado) das amostras dos sedimentos finos em suspensão coletados nas bacias dos rios Jundiá e Capivari, determinados de acordo com o item 4.4.3, incluindo os parâmetros de referência isotópicos, obtidos a partir da literatura para as plantas C3, C4, (KENDALL, 2001), fitoplanctons (MEYERS; ISHIWATARI, 1993), esgoto doméstico (EVANGELISTA, 2003) e análises dos principais solos das bacias (PVA, LVA, LV e CX).

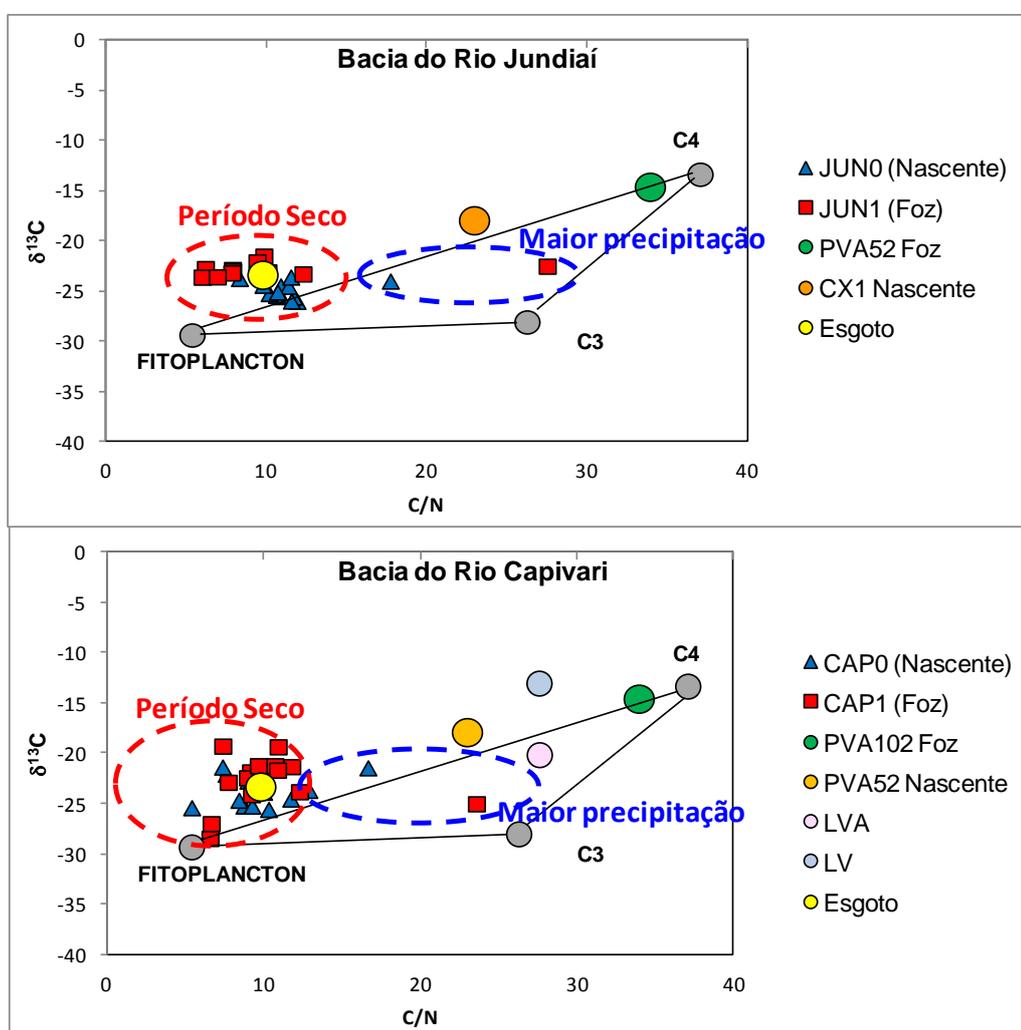


Figura 46 - Relacionamento entre $\delta^{13}\text{C}$ COP e C/N dos sedimentos finos em suspensão das estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, e os parâmetros de referência C3, C4 e fitoplancton, incluindo os principais solos das bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari, Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Latossolo Vermelho (LV) e Cambissolo (CX1).

Foi possível verificar que para a nascente do rio Jundiaí (JUN0) ocorreu à influência direta dos efluentes domésticos ($\delta^{13}\text{C}$ de -23‰ e C/N de 10) na matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão e também se verificou à influência direta da sazonalidade na origem dos sedimentos, sendo que no período de maior chuva seus valores de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N foram de -25‰ e 18, respectivamente, demonstrando a contribuição do solo (CX1 nascente) na origem da matéria orgânica presente no sedimento fino em suspensão. Para o período de seca intenso o predomínio foi de valores próximos ao parâmetro de referência dos esgotos domésticos. Para a foz do rio Jundiaí (JUN1) o mesmo comportamento da nascente foi observado, sendo que no período de maiores chuvas, o valor foi de $\delta^{13}\text{C}$ de -21‰ e C/N de 27, demonstrando novamente a contribuição da erosão mecânica nos sedimentos finos em suspensão coletados na bacia do rio Jundiaí.

Com respeito a nascente do rio Capivari (CAP0), ocorre à influência direta dos efluentes domésticos ($\delta^{13}\text{C}$ de -23‰ e C/N de 10) na matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão, já que os pontos referentes à nascente estão agrupados próximos ao padrão de referência para esgotos domésticos. Foi possível observar também a influência da sazonalidade na origem dos sedimentos, onde no período com maiores chuvas os valores foram de -21‰ para $\delta^{13}\text{C}$ e razão C/N de 17, determinando que a origem da matéria orgânica possivelmente estivesse associada ao processo da erosão mecânica dos solos representativos da nascente (PVA52).

Por outro lado, no período de seca intenso, em CAP0, os valores isotópicos apresentados de $\delta^{13}\text{C}$ foram iguais a -23‰ , podendo dizer que a origem da matéria orgânica esteve relacionada principalmente com efluentes domésticos. Alguns valores obtidos também ficaram próximos ao valor estabelecidos para o fito plâncton, porém com razão C/N de 6, caracterizando que a matéria orgânica já foi degradada pelos microrganismos. O mesmo comportamento pôde ser observado junto à foz do rio Capivari (CAP1), que na época de seca, apresentou o predomínio de características de esgotos domésticos e nas altas precipitações uma tendência aos parâmetros dos fitoplanctons e as plantas C3.

Valores muito próximos aos dos rios Capivari e Jundiaí foram observados por Boutton (1996), Krusche et al., (2002) e Mortatti et al., (2004), os quais também associaram tais valores isotópicos aos esgotos domésticos e observaram o efeito da sazonalidade.

Os relacionamentos obtidos entre COP e NOP, para as estações de amostragem do rio Jundiá e Capivari (Figura 47) evidenciaram que a razão C/N presente nos sedimentos finos em suspensão, de uma maneira geral, representou o produto final da degradação da matéria orgânica dos solos. Os modelos lineares propostos foram altamente significativos ($p < 0,01$), para as quatro estações, observando-se um coeficiente angular de 11,505 (JUN0), 9,8206 (JUN1), 8,4881 (CAP0) e 12,105 (CAP1), indicando os estágios de mineralização do material orgânico particulado.

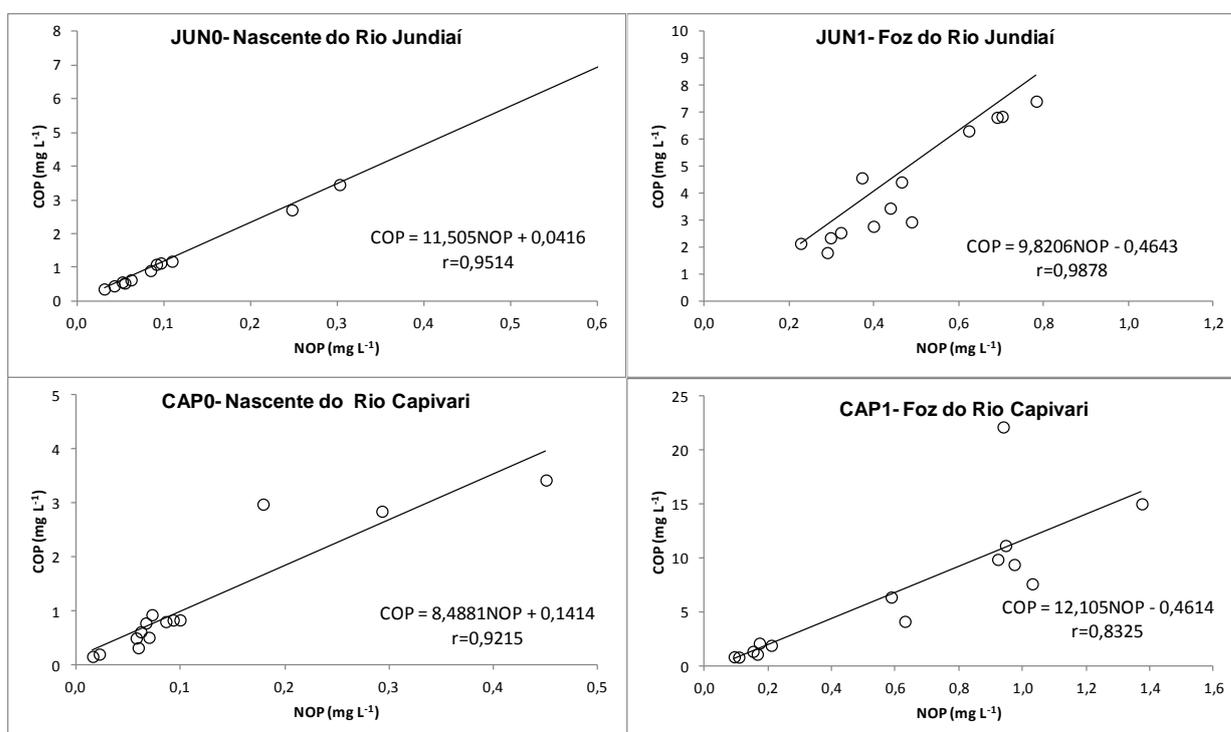


Figura 47 - Relacionamentos entre COP e NOP dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.

A avaliação do relacionamento entre as concentrações do COP e NOP em função das vazões instantâneas nas águas dos rios Jundiá e Capivari, podem ser observados nas Figuras 48 e 49, para o período estudado.

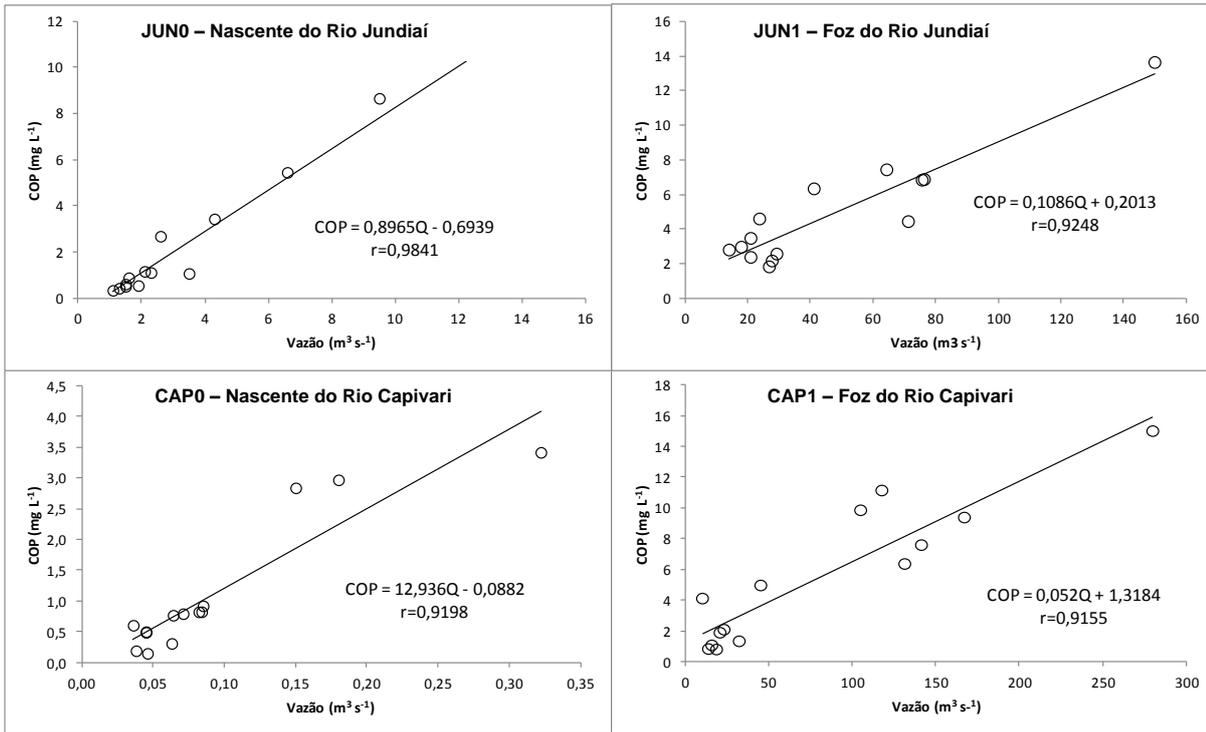


Figura 48 - Relacionamentos entre COP (mg L^{-1}) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.

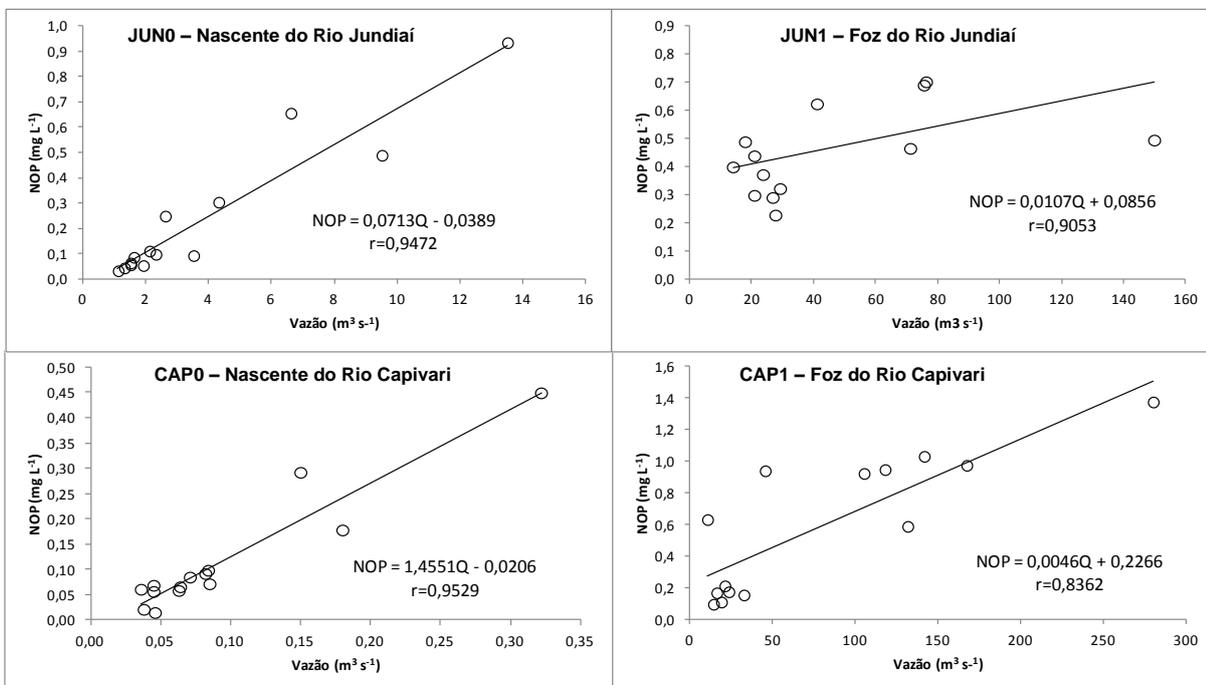


Figura 49 - Relacionamentos entre NOP (mg L^{-1}) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.

Foi possível verificar que os relacionamentos lineares entre COP e NOP com as vazões instantâneas, obtidos para as bacias dos rios Jundiá e Capivari mostraram-se significativos ($p < 0,01$), também ficou evidente que as amostras coletadas durante eventos de maiores vazões, ou seja, períodos chuvosos, onde os processos mecânicos das bacias apresentaram expressiva contribuição de sedimentos finos em suspensão (FSS) os valores de COP e NOP foram maiores, devido à contribuição do escoamento superficial rápido que ocorrem nas bacias estudadas.

A Figura 50 ilustra os relacionamentos entre as concentrações de carbono orgânico particulado (COP) e os isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ determinados nas águas fluviais das estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari.

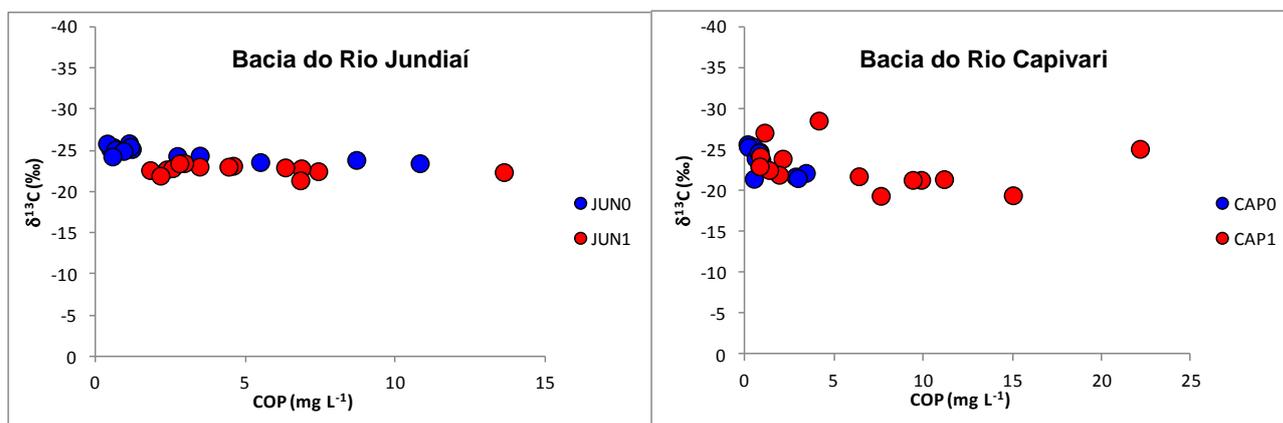


Figura 50 - Relacionamentos entre COP (mg L^{-1}) e $\delta^{13}\text{C}$ (‰) dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.

Os valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$, para JUN0 apresentaram-se enriquecidos quando as concentrações de COP foram mais altas, indicando um processo de fracionamento isotópico durante o período mais erosivo, e conseqüentemente mais chuvoso, com reposição de material orgânico dos solos. Já para a foz, JUN1, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ praticamente não variaram em função das concentrações de COP, ficando em torno de -23‰ , mostrando uma associação com a influência antrópica.

Para a nascente do rio Capivari (CAP0) o comportamento de $\delta^{13}\text{C}$ foi similar ao observado a nascente do rio Jundiá, enquanto que para CAP1 nenhum comportamento em especial pode ser definido.

Os relacionamentos entre as concentrações de nitrogênio orgânico particulado (NOP) e os isótopos de $\delta^{15}\text{N}$ determinados nas águas fluviais das estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, podem ser verificados na Figura 51.

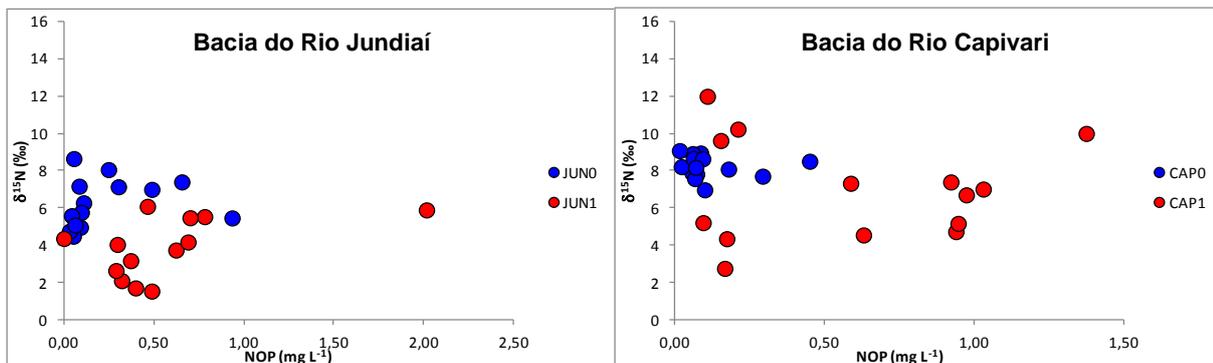


Figura 51 - Relacionamentos entre NOP (mg L^{-1}) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos sedimentos finos em suspensão para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.

Para as estações JUN0 e JUN1, bacia do rio Jundiá, os valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ variaram significativamente em relação ao NOP, porém nenhum comportamento pode ser definido, o mesmo ocorreu para as estações CAP0 e CAP1, na bacia do rio Capivari.

5.3 Caracterização hidroquímica fluvial

A caracterização hidroquímica fluvial foi fundamental para o entendimento da dinâmica da carga dissolvida dos rios Jundiá e Capivari, sendo para isso avaliado os principais parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido e $\text{DBO}_{5,20}$) e as concentrações das principais espécies químicas dissolvidas como os cátions e ânions majoritários e sílica dissolvida (SiO_2) sendo avaliadas ao longo do período estudado mediante a aplicação da modelagem de suas distribuições temporais, relações concentração x vazão, matriz dos coeficientes de correlação linear simples e os transportes fluviais totais e específicos da carga dissolvida. Também foi realizada a avaliação das concentrações químicas e isotópicas do carbono e nitrogênio orgânicos dissolvidos.

5.3.1. Parâmetros físico-químicos

Os principais parâmetros físico-químicos e vazões das águas fluviais dos rios Jundiáí e Capivari, obtidos nas quatro estações de amostragem (JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1), durante o período de estudado, assim como as suas respectivas médias ponderadas pela vazão e desvios padrões, calculadas de acordo com as equações 17 e 18 descritas no item 4.5.1, podem ser observados nas Tabelas de 16 a 19.

Tabela 16 - Resultados dos principais parâmetros físico-químicos e medidas de vazões para as águas fluviais na nascente do rio Jundiáí (JUN0), no período estudado.

Parâmetros Físicos-Químicos - Rio Jundiáí							
Estação JUN0- Nascente							
Amostra	Data de coleta	Q (m ³ s ⁻¹)	pH	CE (μS cm ⁻¹)	T °C	OD (mg L ⁻¹)	
JUN 0-1	19/04/2011	2,1	7,7	75,0	21,1	3,8	
JUN 0-2	17/05/2011	3,5	7,2	76,2	16,2	7,0	
JUN 0-3	14/06/2011	2,3	7,3	74,5	12,5	7,9	
JUN 0-4	19/07/2011	1,9	7,4	73,2	15,5	6,5	
JUN 0-5	30/08/2011	1,3	7,5	79,0	20,6	6,6	
JUN 0-6	20/09/2011	1,1	7,5	85,5	19,5	6,3	
JUN 0-7	01/11/2011	1,5	7,6	81,5	17,1	4,3	
JUN 0-8	11/12/2011	2,6	7,5	73,8	20,5	3,5	
JUN 0-9	17/01/2012	4,3	7,3	70,1	21,5	4,2	
JUN 0-10	18/01/2012	13,5	7,6	67,8	21,0	4,3	
JUN 0-11	16/02/2012	1,6	7,6	80,6	22,0	3,8	
JUN 0-12	20/06/2012	6,6	7,7	61,7	16,3	6,9	
JUN 0-13	28/08/2012	1,3	7,5	79,4	17,2	6,3	
JUN 0-14	26/11/2012	1,5	7,1	93,2	20,7	4,1	
JUN 0-15	16/12/2012	9,5	7,1	72,6	21,3	4,5	
		3,6	C _{MNQ}	7,4	72,0	18,9	5,1
		13,5	Máximo	7,7	93,2	22,0	7,9
		1,1	Mínimo	7,1	61,7	12,5	3,5
		3,6	DP _{MNQ}	0,2	7,6	2,8	1,5

C_{MNQ}: concentração média normalizada pela vazão; DP_{MNQ}: Desvio padrão da média normalizada pela vazão.

Tabela 17 - Resultados dos principais parâmetros físico-químicos e medidas de vazões para as águas fluviais na foz do rio Jundiá (JUN1), no período estudado.

Parâmetros Físicos-Químicos - Rio Jundiá							
Estação JUN1- Foz							
Amostra	Data de coleta	Q (m ³ .s ⁻¹)	pH	CE (μS cm ⁻¹)	T °C	OD (mg L ⁻¹)	
JUN 1-1	19/04/2011	21,0	7,4	225,0	25,2	6,0	
JUN 1-2	17/05/2011	29,3	6,8	205,0	19,3	7,8	
JUN 1-3	14/06/2011	26,9	7,3	205,0	17,6	5,2	
JUN 1-4	19/07/2011	21,0	7,4	239,0	18,9	3,8	
JUN 1-5	30/08/2011	18,0	7,3	269,0	24,0	5,7	
JUN 1-6	20/09/2011	14,1	7,4	467,0	24,5	4,9	
JUN 1-7	01/11/2011	23,8	7,4	200,0	21,3	4,3	
JUN 1-8	11/12/2011	64,4	6,9	130,3	22,6	4,1	
JUN 1-9	17/01/2012	76,4	7,4	135,3	23,9	4,3	
JUN 1-10	18/01/2012	71,3	7,3	139,9	23,7	3,6	
JUN 1-11	16/02/2012	41,2	7,3	188,6	26,5	3,4	
JUN 1-12	20/06/2012	75,7	7,5	159,8	18,8	6,2	
JUN 1-13	28/08/2012	26,8	7,4	273,0	20,6	4,6	
JUN 1-14	26/11/2012	27,8	7,2	248,0	24,5	4,9	
JUN 1-15	16/12/2012	150,0	7,1	97,9	23,4	4,8	
		45,8	C _{MNQ}	7,2	167,1	22,3	4,8
		150,0	Máximo	7,5	467,0	26,5	7,8
		14,1	Mínimo	6,8	97,9	17,6	3,4
		36,4	DP _{MNQ}	0,2	68,0	2,7	1,1

C_{MNQ}: concentração média normalizada pela vazão; DP_{MNQ}: Desvio padrão da média normalizada pela vazão.

Tabela 18 - Resultados dos principais parâmetros físico-químicos e medidas de vazões para as águas fluviais na nascente do rio Capivari (CAP0), no período estudado.

Parâmetros Físicos-Químicos - Rio Capivari							
Estação CAP0- Nascente							
Amostra	Data de coleta	Q (m ³ .s ⁻¹)	pH	CE (μS cm ⁻¹)	T °C	OD (mg L ⁻¹)	
CAP 0-1	19/04/2011	0,07	7,4	65,2	23,5	4,6	
CAP 0-2	17/05/2011	0,06	7,1	67,6	17,0	7,1	
CAP 0-3	14/06/2011	0,08	7,3	62,2	14,1	9,0	
CAP 0-4	19/07/2011	0,05	7,4	68,2	17,8	7,0	
CAP 0-5	30/08/2011	0,04	7,4	74,4	22,1	6,4	
CAP 0-6	20/09/2011	0,04	7,5	73,6	21,1	6,5	
CAP 0-7	01/11/2011	0,04	7,8	85,7	18,9	4,6	
CAP 0-8	11/12/2011	0,15	7,4	61,9	22,4	5,3	
CAP 0-9	17/01/2012	0,08	7,3	62,7	22,6	5,0	
CAP 0-10	18/01/2012	0,08	7,4	70,2	27,7	4,9	
CAP 0-11	16/02/2012	0,06	7,8	67,3	23,7	4,0	
CAP 0-12	20/06/2012	0,32	8,0	61,8	17,3	5,5	
CAP 0-13	28/08/2012	0,10	7,3	61,8	19,1	6,5	
CAP 0-14	26/11/2012	0,05	7,1	72,8	21,9	3,2	
CAP 0-15	16/12/2012	0,18	7,1	65,0	22,7	5,3	
		0,09	C _{MNQ}	7,4	65,4	20,8	5,6
		0,32	Máximo	8,0	85,7	27,7	9,0
		0,04	Mínimo	7,1	61,8	14,1	3,2
		0,07	DP _{MNQ}	0,3	1,6	3,4	0,4

C_{MNQ}: concentração média normalizada pela vazão; DP_{MNQ}: Desvio padrão da média normalizada pela vazão.

Tabela 19 - Resultados dos principais parâmetros físico-químicos e medidas de vazões para as águas fluviais na foz do rio Capivari (CAP1), no período estudado.

Parâmetros Físicos-Químicos - Rio Capivari							
Estação CAP1- Foz							
Amostra	Data de coleta	Q (m ³ s ⁻¹)	pH	CE (μS cm ⁻¹)	T °C	OD (mg L ⁻¹)	
CAP 1-1	19/04/2011	23,3	7,3	189,1	25,2	4,1	
CAP 1-2	17/05/2011	20,9	7,1	209,0	19,1	6,9	
CAP 1-3	14/06/2011	32,4	7,2	176,8	15,7	5,0	
CAP 1-4	19/07/2011	14,0	7,3	247,0	17,5	3,9	
CAP 1-5	30/08/2011	16,0	7,5	227,0	21,6	4,8	
CAP 1-6	20/09/2011	10,4	7,4	300,0	24,0	5,4	
CAP 1-7	01/11/2011	45,3	7,4	173,1	21,4	3,2	
CAP 1-8	11/12/2011	117,8	7,1	123,6	22,8	4,5	
CAP 1-9	17/01/2012	105,1	7,3	145,9	23,0	4,3	
CAP 1-10	18/01/2012	167,2	7,1	96,4	23,8	5,3	
CAP 1-11	16/02/2012	131,5	7,5	105,1	23,8	4,5	
CAP 1-12	20/06/2012	141,5	7,2	152,9	17,8	5,5	
CAP 1-13	28/08/2012	16,1	7,4	230,0	19,8	4,8	
CAP 1-14	26/11/2012	18,8	7,1	202,0	23,9	3,5	
CAP 1-15	16/12/2012	280,0	7,3	102,4	23,7	5,2	
		76,0	C _{MNQ}	7,3	131,7	21,5	4,9
		280,0	Máximo	7,5	300,0	25,2	6,9
		10,4	Mínimo	7,1	96,4	15,7	3,2
		78,9	DP _{MNQ}	0,1	40,6	2,9	0,7

C_{MNQ}: concentração média normalizada pela vazão; DP_{MNQ}: Desvio padrão da média normalizada pela vazão.

Na nascente do rio Jundiá (JUN0) foi observado o valor médio de pH de $7,4 \pm 0,2$ sendo similar a foz do rio Jundiá (JUN1) o qual o valor médio de pH foi de $7,2 \pm 0,2$. O mesmo foi verificado no rio Capivari onde o valor médio foi de $7,4 \pm 0,3$ e $7,3 \pm 0,1$ para a nascente (CAP0) e foz (CAP1), respectivamente. Valores semelhantes foram observados por Bortoleto Junior (2004) para a bacia do rio Tietê (6,9 a 7,5) por Mortatti et al. (2006) para a bacia do rio Piracicaba (6,8 a 7,4) e por Fernandes (2012) para o rio Sorocaba (6,9 a 7,5).

Vale destacar que para a nascente do rio Capivari o dia de maior vazão (Coleta CAP0-12) o valor de pH medido em campo foi de 8,0, ou seja mais alcalino, possivelmente associado a uma remobilização das águas proveniente do represamento existente antes da estação de amostragem da nascente, sendo que essa medida de pH mais alcalino após reservatório já foi observado por Sardinha et al. (2008), no rio Sorocaba após o Reservatório de Itupaparanga, os quais atribuíram o fato a intensa fotossíntese realizada pelas algas nos reservatórios.

De uma maneira geral foi possível verificar que os valores de pH, para as estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, estiveram próximos da neutralidade ou ligeiramente alcalinos, com pouca variabilidade durante todo período estudado, como pode ser visto na Figura 52. Os valores médios de pH, medidos em campo, em comparação com os valores pH (6,0 a 9,0) estabelecidos pelo CONAMA357/05 para águas fluviais doces, os rios Jundiá e Capivari foram enquadrados como rios de classe 1, podendo ser destinados ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, porém é apenas um dos padrões e condições para ser enquadrados em tal classe.

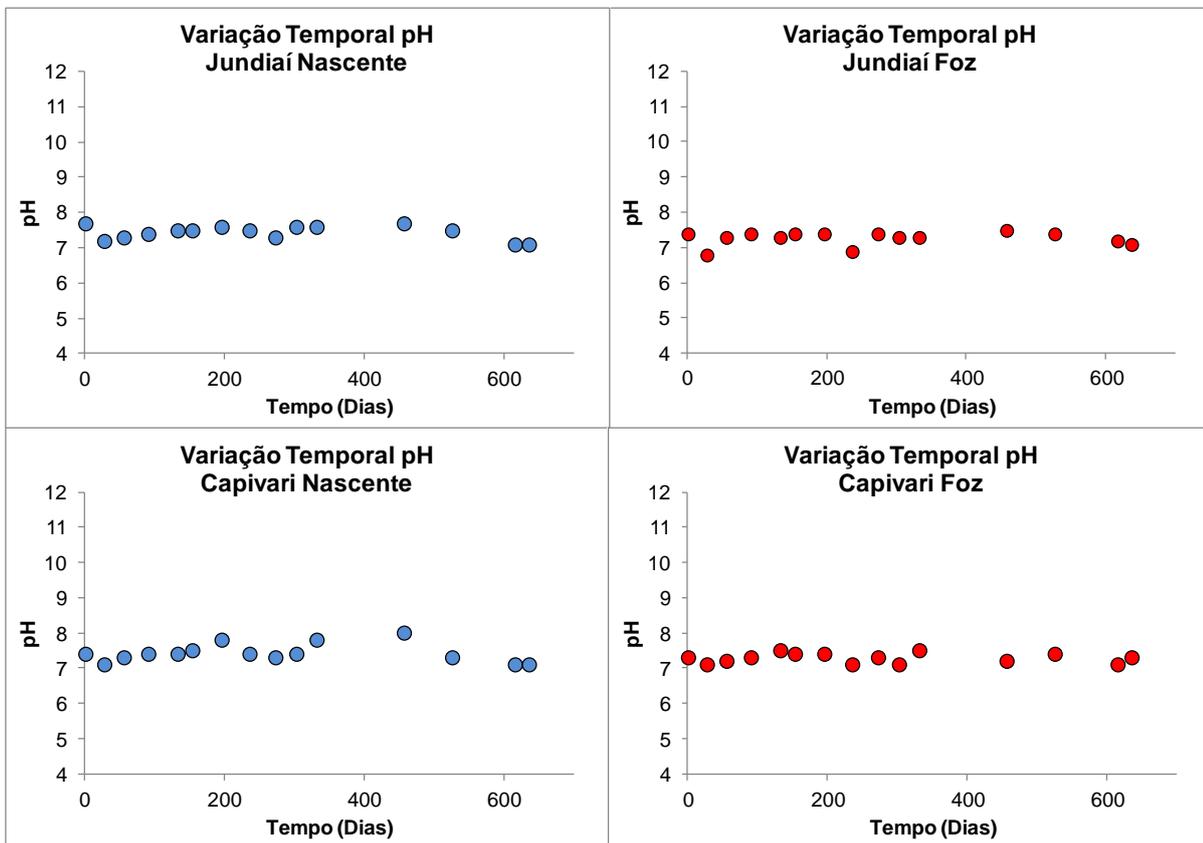


Figura 52 - Variabilidade temporal dos pH determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiá (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), no período estudado.

A Figura 53 ilustra a sazonalidade das temperaturas nas águas fluviais, ao longo do período estudado, podendo ser observado que tanto nas nascentes como na foz, dos rios Jundiaí e Capivari, uma variabilidade sazonal. Sendo que para as quatro estações de amostragem as temperaturas foram mais baixas nos meses de maio, junho e julho, o que já era esperado, pois segundo a classificação de Köppen (1948) é o período de inverno para as duas bacias de drenagem.

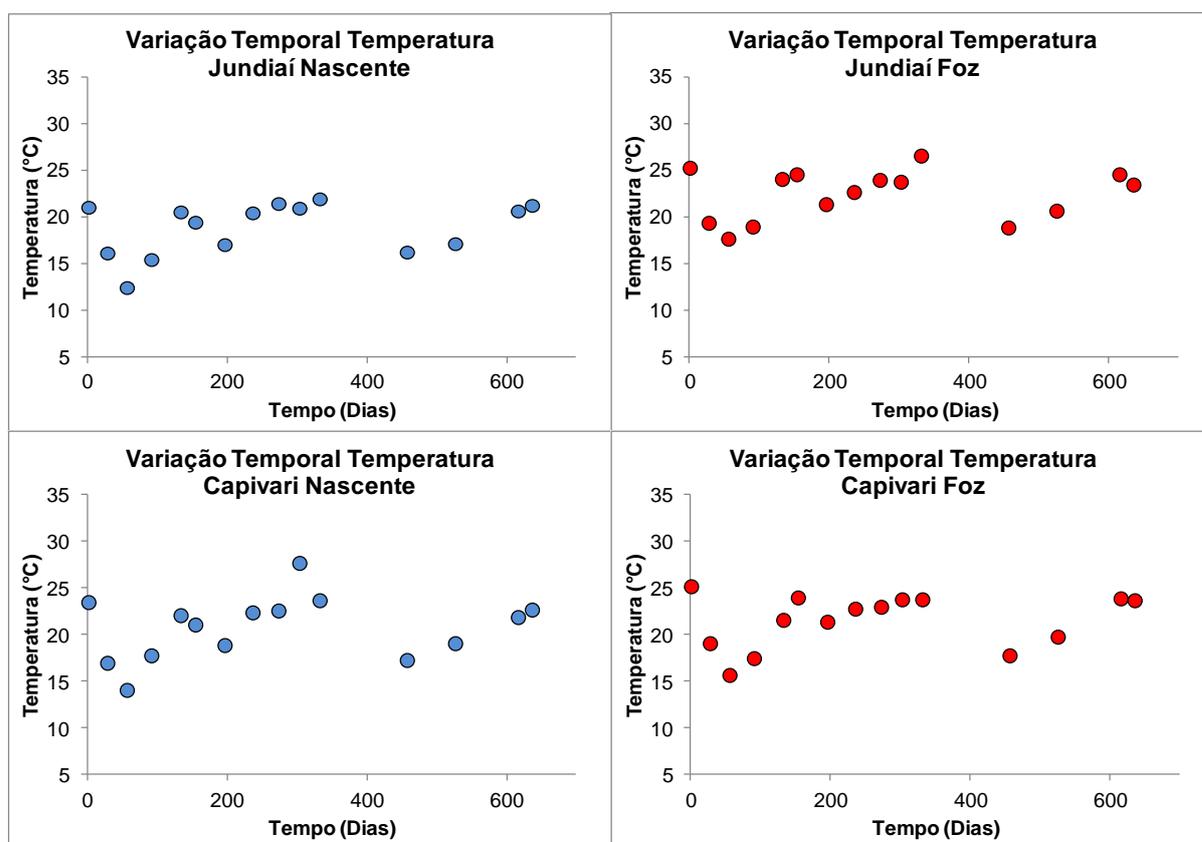


Figura 53 - Variabilidade temporal da Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e das vazões ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1).

A temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) das águas fluviais, para a nascente do rio Jundiaí (JUN0), no período estudado, foi de $18,9 \pm 2,8^{\circ}\text{C}$ e para a foz (JUN1) foi de $22,3 \pm 2,7^{\circ}\text{C}$. Provavelmente a nascente do rio Jundiaí apresentou valores de temperatura menor por ser uma região que ainda tem mata ciliar no entorno favorecendo esse resfriamento da água. Já para o rio Capivari, o mesmo não foi observado, sendo a temperatura média das águas fluviais, para a nascente (CAP0), de $20,8 \pm 3,4^{\circ}\text{C}$ e $21,5 \pm 2,9^{\circ}\text{C}$ para a foz (CAP1).

A condutividade elétrica média das águas fluviais próxima à nascente do rio Jundiaí (JUN0) foi de $72,0 \pm 7,6 \mu\text{S cm}^{-1}$, sendo que não houve variabilidade significativa da condutividade elétrica ao longo do período estudado como pode ser visto na Figura 44. Entretanto para a foz do rio Jundiaí (JUN1) a condutividade elétrica média foi de $167,1 \pm 68,0 \mu\text{S cm}^{-1}$, superior à verificada nas águas próximas a nascente, e com variabilidade sazonal expressiva, apresentando o valor mínimo de $97,9 \mu\text{S cm}^{-1}$, no período chuvoso (alta vazão – $150,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e valor máximo de $467,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ para o período de seca (baixa vazão – $14,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Na bacia do rio Capivari, a condutividade elétrica média das águas fluviais para a nascente (CAP0) foi de $65,4 \pm 1,6 \mu\text{S cm}^{-1}$, mostrando o mesmo comportamento da nascente do rio Jundiaí, não apresentando variabilidade significativa da condutividade elétrica ao longo do tempo (Figura 54). Na foz do rio Capivari (CAP1) foi verificado um valor médio de condutividade elétrica das águas fluviais de $131,1 \pm 40,6 \mu\text{S cm}^{-1}$, sendo superior ao observado na nascente (CAP0) e valor semelhante ao observado na foz do rio Jundiaí (JUN1). Vale destacar que ao longo do período estudado também houve uma variabilidade sazonal expressiva, variando do valor mínimo de $96,5 \mu\text{S cm}^{-1}$, para o período chuvoso (alta vazão – $167,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) para o valor máximo de $300,1 \mu\text{S cm}^{-1}$ (baixa vazão – $14,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

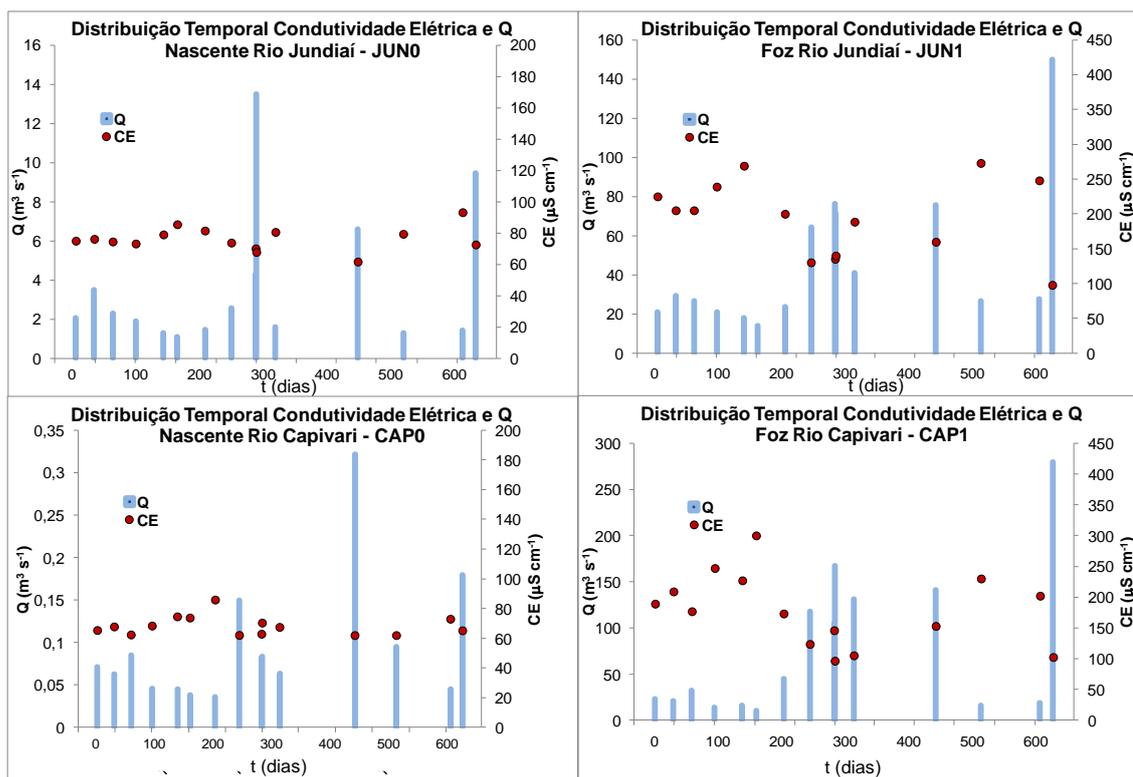


Figura 54 - Variabilidade temporal da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) e das vazões ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiá (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1).

Em comparação com o valor de referência de condutividade $100 \mu\text{S.cm}^{-1}$ proposto por Hermes e Silva (2004), para águas naturais, as nascentes dos rios Jundiá e Capivari se mostraram bastante próximas ao valor estabelecido. Já para as estações de amostragem próximas a foz dos rios Jundiá (JUN1) e Capivari (CAP1), a condutividade elétrica das águas fluviais foram acima do valor de referência, proposto para águas naturais, porém foram bastante similar a outras bacias regionais com significativas influências antrópicas urbanas e agrícolas, como a bacia do rio Tietê (BORTOLETTO JÚNIOR, 2004), rio Una da bacia do alto Sorocaba (SARDINHA et al., 2008), bacia do rio Mogi-Guaçú (CONCEIÇÃO et al., 2010) e bacia do Sorocaba (FERNANDES, 2012).

Ainda em relação à condutividade elétrica, foi possível avaliar sua variabilidade em função das vazões instantâneas dos rios Jundiá e Capivari, desde a nascente até a foz, durante o período estudado, conforme apresentado na Figura 55.

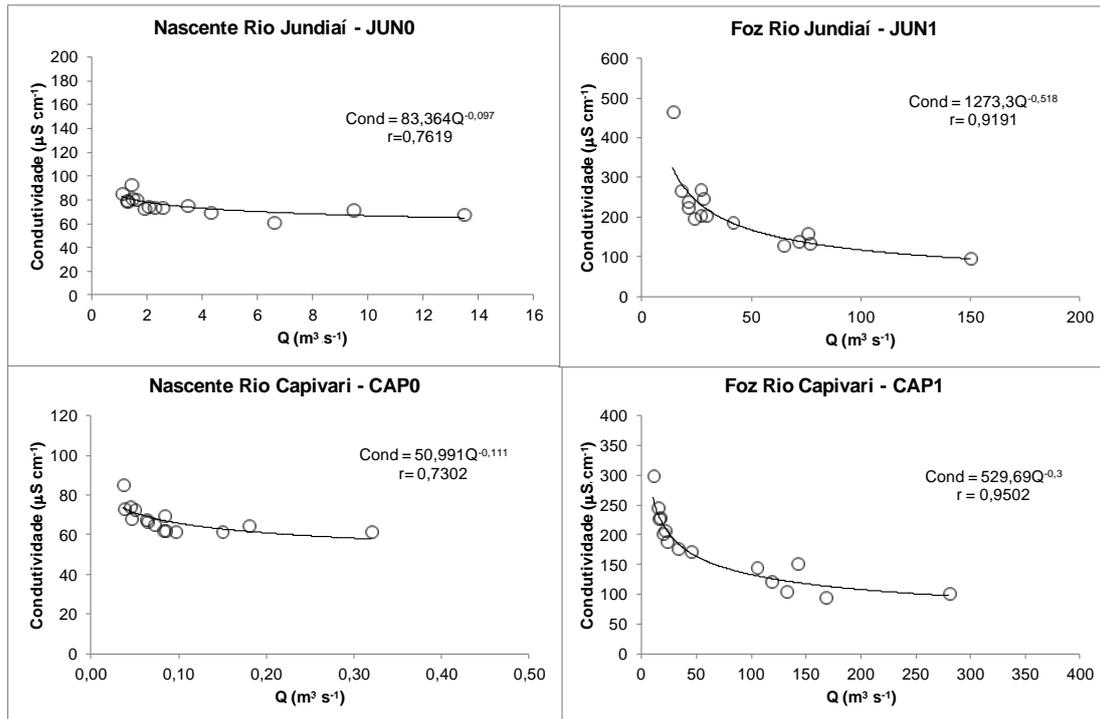


Figura 55 - Variabilidade da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) em função das vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiá (JUN0, JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1) e respectivos modelos de potência.

O relacionamento entre condutividade elétrica e vazão permitiu o ajuste de modelos de potência, clássicos para rios de pequeno porte (PROBST et al., 1986; MORTATTI et al., 1998; 2003).

Os modelos de potência se mostraram significativos ($p < 0,01$) nas estações de amostragem próximas as áreas de nascente e foz dos rios Jundiá e Capivari. Os valores dos expoentes nas áreas das nascentes dos rios Jundiá (-0,097) e Capivari (-0,111), foram próximos a zero indicando a pouca variabilidade das condutividades em relação às vazões. Entretanto, tal coeficiente se mostrou mais elevado na foz do rio Jundiá (-0,518) em comparação com a foz do rio Capivari (-0,300), evidenciando uma maior variação da condutividade elétrica para a mesma faixa de vazão instantânea, caracterizando um elevado grau de mineralização dessas águas podendo estar relacionada com uma possível ação antrópica de origem urbana.

Os expoentes dos modelos de potência, ajustados para as regiões de foz dos rios Jundiá (-0,518) e Capivari (-0,300) se mostraram similares aos observados por Bortoletto Junior (2004) para os rios Tietê e Piracicaba e por Fernandes (2012) para o rio Sorocaba.

Segundo a CETESB (2000) o Oxigênio Dissolvido (OD) é um parâmetro físico-químico importante, pois é um fator limitante para manutenção da vida aquática e de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. A Figura 56 ilustra a variabilidade temporal dos oxigênios dissolvidos (OD) em relação às vazões (Q) determinadas nas estações de amostragem dos rios Jundiáí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado.

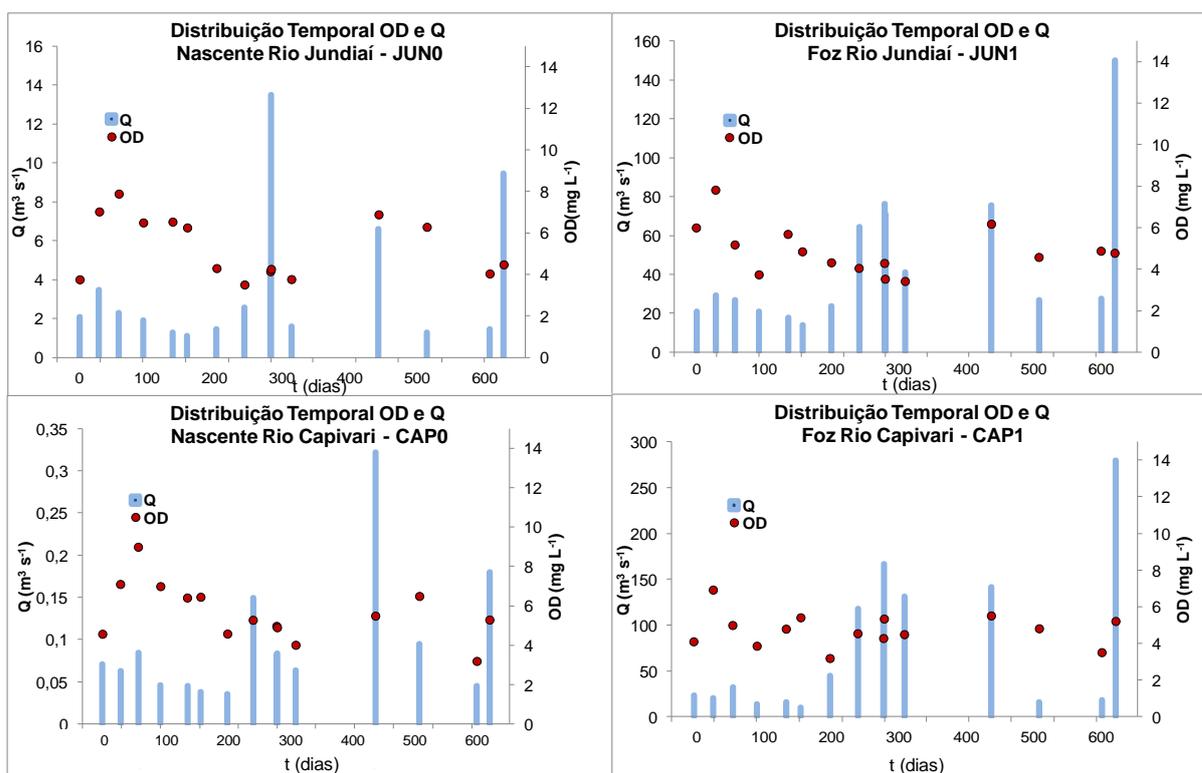


Figura 56 - Variabilidade temporal do Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1}) e das vazões ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiáí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1).

Na nascente do rio Jundiáí (JUN0) o valor médio de oxigênio dissolvido determinado foi de $5,1 \pm 1,5 \text{ mg L}^{-1}$, sendo verificado uma variabilidade sazonal expressiva tendo valores máximo de $7,9 \text{ mg L}^{-1}$ e mínimo de $3,5 \text{ mg L}^{-1}$. O mesmo ocorreu para a foz do rio Jundiáí (JUN1) onde o valor médio do oxigênio dissolvido foi de $4,8 \pm 1,1 \text{ mg L}^{-1}$, sendo o valor máximo de $7,8 \text{ mg L}^{-1}$ e mínimo de $3,4 \text{ mg L}^{-1}$.

Valores similares de oxigênio dissolvido foram obtidos na estação de amostragem CAP0, próxima a área de nascente do rio Capivari, onde o valor médio de OD foi de $5,6 \pm 0,4 \text{ mg L}^{-1}$, com máximo e mínimo de $9,0 \text{ mg L}^{-1}$ e $3,2 \text{ mg L}^{-1}$,

respectivamente, evidenciando também variabilidade sazonal expressiva. Na foz do rio Capivari (CAP1) o valor médio de oxigênio dissolvido foi de $4,9 \pm 0,7 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo o valor máximo de $6,9 \text{ mg L}^{-1}$ e mínimo de $3,2 \text{ mg L}^{-1}$, bastante similar aos valores determinados na foz do rio Jundiaí.

De forma geral é possível verificar que tanto nas nascentes quanto na foz dos rios Jundiaí e Capivari houve uma variabilidade do OD ao longo do período de estudo, sendo influenciado pela vazão (períodos de cheia e seca), esse aspecto já havia sido verificado por Casagrande et al., (2006), para os rios Piracicaba, Içá, Jutaí, Juruá, Purus, Negro e Madeira.

Na Figura 57 é possível observar o relacionamento dos valores de OD determinados nos rios Jundiaí e Capivari com os valores padrões propostos pelo CONAMA 357/05, para classificação de rios (classe 1, 2, 3 ou 4) para todo o período estudado. Foi possível verificar que tanto para as estações dos rios Jundiaí como no Capivari, dependendo do dia amostrado os rios recebem classificações diferentes, sendo que ao longo do período variaram entre as classes 1, 2 e 3, demonstrando a necessidade do monitoramento dos rios para classifica-los. Em comparação com estudos feitos em 1997, 2000 e 2004 por Neves e Cardoso (2006) para as águas do rio Jundiaí, houve uma melhora na qualidade das águas, pois nesses estudos o rio era classificado como classe 4, isso demonstra que está havendo uma recuperação da concentração de oxigênio dissolvido no rio, possivelmente associado a melhora no tratamento ou uma diminuição do esgoto lançado no corpo hídrico.

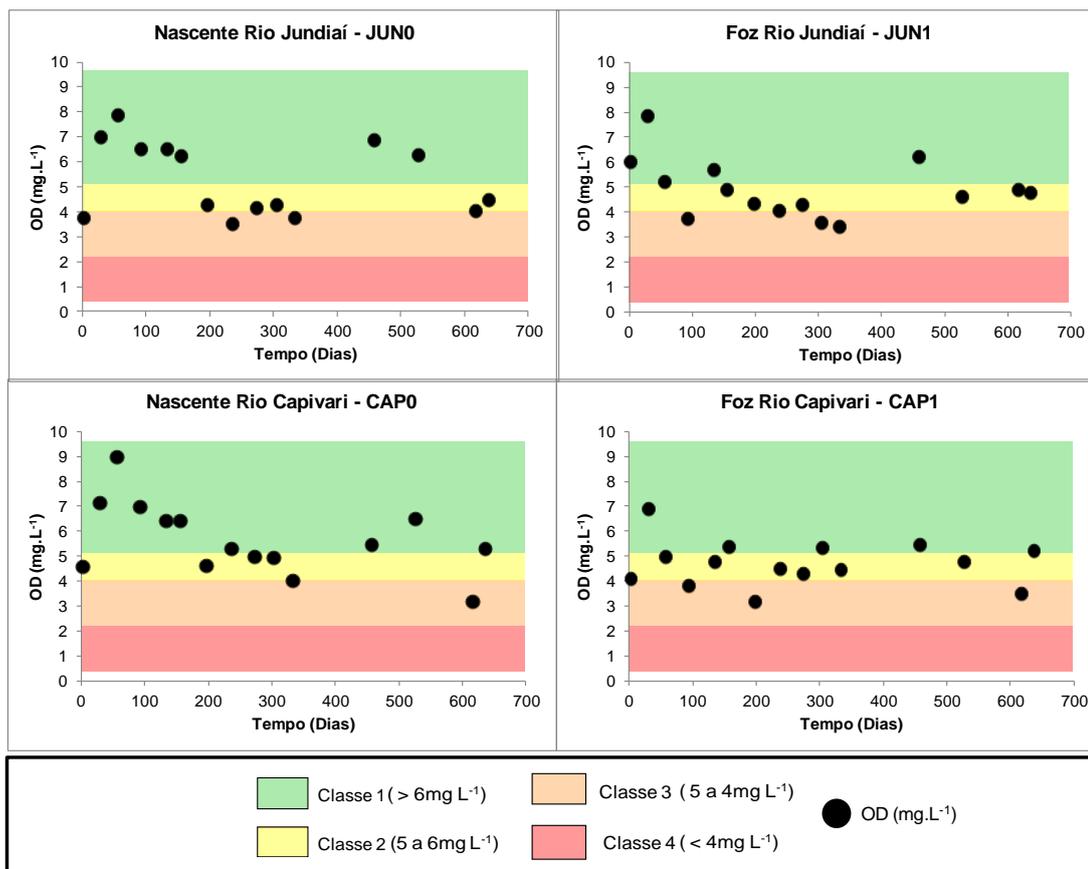


Figura 57 - Variabilidade temporal do oxigênio dissolvido (OD), determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiá (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 2, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.

Foi possível observar um relacionamento entre o oxigênio dissolvido e a temperatura das águas perto das áreas de nascentes dos rios Jundiá e Capivari, como mostra a Figura 58, dentro de um modelo de potência. Tais ajustes podem ser justificados pela solubilidade dos gases em água, que diminuem com a elevação da temperatura, como também devido às perdas de oxigênio dissolvido causadas pelo consumo proveniente da respiração de organismos aquáticos (ESTEVES, 1988). Por outro lado, na foz dos rios Jundiá e Capivari não foram observados relacionamentos significativos entre tais parâmetros devido à elevada decomposição da matéria orgânica proveniente do esgoto doméstico.

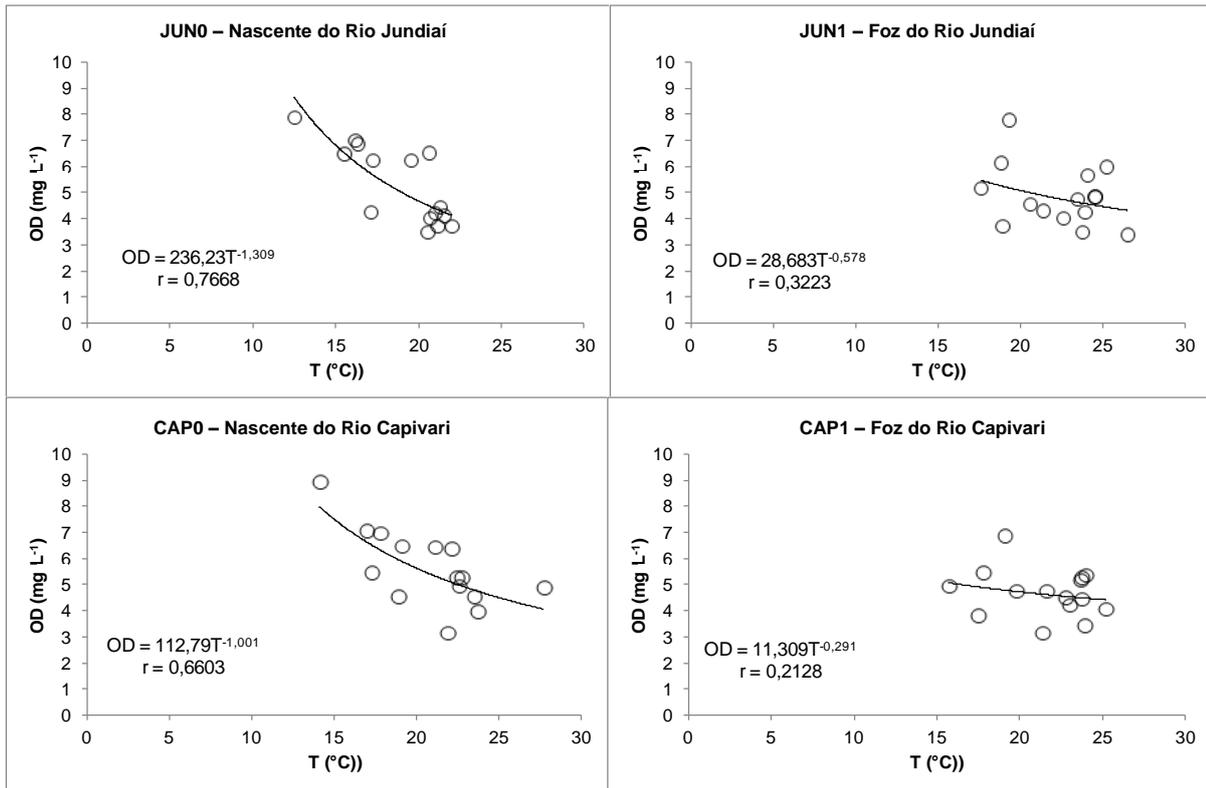


Figura 58 - Variabilidade do oxigênio dissolvido em função da temperatura para as águas das estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1 e respectivos modelos de potência.

A demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$) expressa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável (MAIER, 1978; CETESB, 1991) sendo determinadas de acordo com o item 4.5.1.

A Tabela 20 apresenta os resultados dos valores de $DBO_{5,20}$ determinadas nas estações de amostragem do rio Jundiá (Nascente - JUN0 e Foz - JUN1) e do rio Capivari (Nascente - CAP0 e Foz - CAP1) durante o período estudado.

Tabela 20 - Resultados dos valores de $DBO_{5,20}$ determinadas nas estações de amostragem do rio Jundiáí (Nascente - JUN0 e Foz - JUN1) e do rio Capivari (Nascente – CAP0 e Foz – CAP1) durante o período estudado, incluindo as concentrações médias normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de $DBO_{5,20}$.

Demanda Bioquímica de Oxigênio- $DBO_{5,20}$

Coleta	Data de coleta	Estação de Amostragem			
		JUN0	JUN1	CAP0	CAP1
		($mg L^{-1}$)			
1	19/04/2011	0,07	7,56	0,09	4,74
2	17/05/2011	1,52	2,79	0,63	0,81
3	14/06/2011	0,04	7,04	0,81	5,38
4	19/07/2011	0,39	6,05	1,25	6,00
5	30/08/2011	0,10	6,23	0,15	4,77
6	20/09/2011	0,02	8,05	0,30	8,33
7	01/11/2011	3,98	7,23	2,43	6,84
8	11/12/2011	0,12	0,90	0,12	1,48
9	17/01/2012	0,79	6,07	1,41	4,30
10	18/01/2012	2,87	4,94	1,87	3,76
11	16/02/2012	0,30	1,17	0,20	1,30
12	20/06/2012	2,58	7,21	3,65	6,09
13	28/08/2012	2,56	8,53	3,21	7,64
14	26/11/2012	1,69	7,65	4,24	7,63
15	16/12/2012	0,27	0,06	0,00	2,04
C_{MNQ}		1,20	5,40	1,40	4,70
Máximo		3,98	8,53	4,24	8,33
Mínimo		0,02	0,06	0,00	0,81
DP_{MNQ}		1,30	2,80	1,40	2,50

Foi possível observar junto a estação de amostragem da nascente do rio Jundiáí (JUN0) uma concentração média de $DBO_{5,20}$ de $1,20 \pm 1,30 mg L^{-1}$, sendo o valor mínimo de $0,02 mg L^{-1}$ e o máximo de $3,98 mg L^{-1}$. Na foz do rio Jundiáí (JUN1) o valor médio de $DBO_{5,20}$ foi de $5,40 \pm 8,53 mg L^{-1}$, sendo o mínimo e o máximo de $0,06$ e $8,53 mg L^{-1}$, respectivamente. Foi possível observar um aumento entre as concentrações de $DBO_{5,20}$ da nascente para a foz do rio Jundiáí, esse aumento evidenciou a influência antrópica que ocorre ao longo da bacia de drenagem.

Para a estação de amostragem CAP0, nascente do rio Capivari, observou-se uma concentração média de $DBO_{5,20}$ de $1,40 \pm 1,40 mg L^{-1}$, sendo o valor mínimo de $0,00 mg L^{-1}$ e o máximo de $4,24 mg L^{-1}$. Na foz do rio Capivari (CAP1), assim como no rio Jundiáí, o valor de $DBO_{5,20}$ foi superior ao da nascente, apresentando o valor médio de $4,70 \pm 2,50 mg L^{-1}$, sendo o valor máximo de $8,33 mg L^{-1}$ e mínimo de $0,81 mg L^{-1}$.

Em termos comparativos, o valor médio da foz do rio Jundiá (5,40 mg L⁻¹) mostrou-se similar ao valor médio de DBO_{5,20} do rio Capivari (4,70 mg L⁻¹), valores próximos foram determinados por Groppo et al. (2006) para os rios Piracicaba (3,70 mg L⁻¹), Atibaia (3,17 mg L⁻¹) e por Fernandes (2012) para o rio Sorocaba (3,50 mg L⁻¹). A Figura 59 ilustra a variabilidade temporal do DBO_{5,20}, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiá (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 2 e 3) utilizados no CONAMA 357/05.

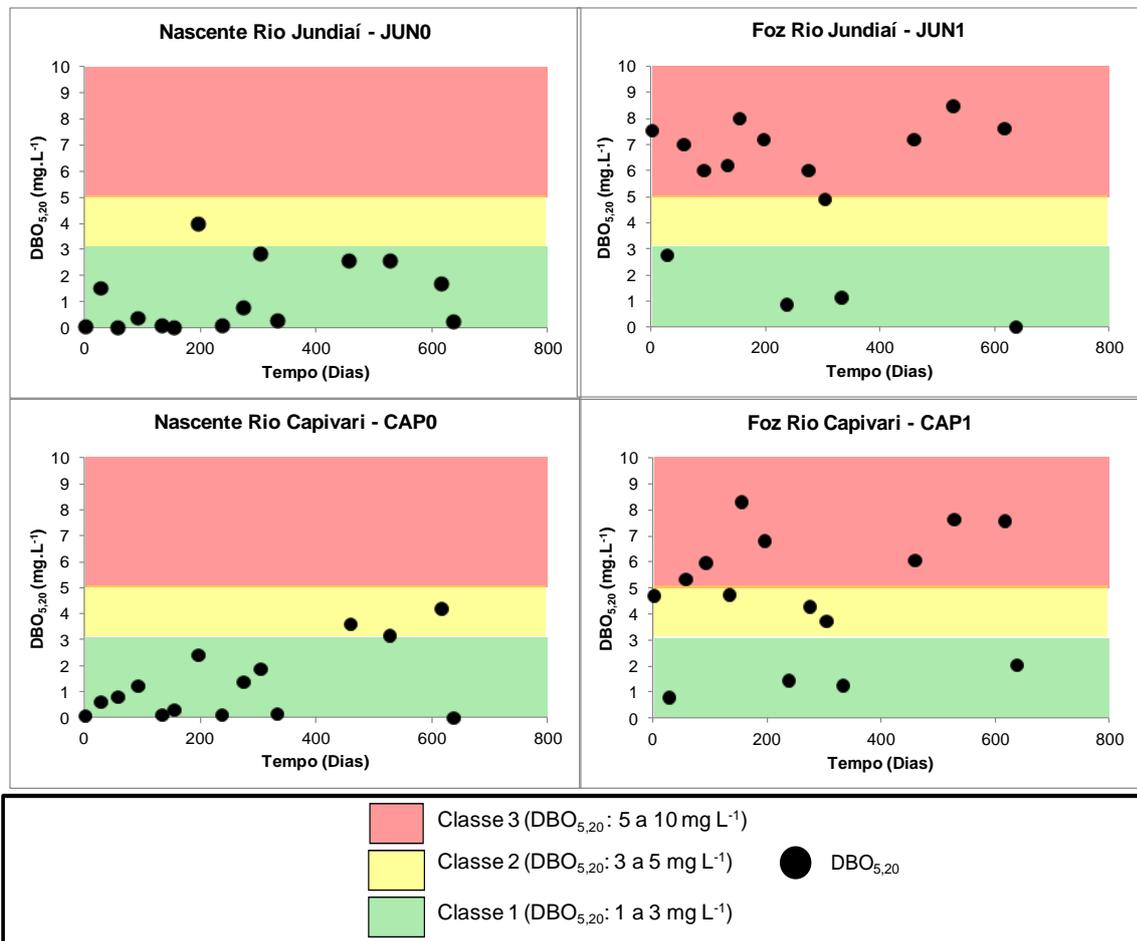


Figura 59 - Variabilidade temporal do DBO_{5,20}, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiá (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 2 e 3) utilizados no CONAMA 357/05.

Foi possível observar uma distribuição sazonal na evolução temporal das concentrações de $DBO_{5,20}$, para as nascentes e foz dos rios Jundiá e Capivari. Nas áreas de nascente, tanto o rio Jundiá (JUN0) como o rio Capivari (CAP0), os valores de $DBO_{5,20}$, na maioria das vezes, ficaram abaixo de 3 mg L^{-1} sendo que segundo a classificação do CONAMA 357/05 suas águas foram enquadradas na Classe 1, que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado. Entretanto, a situação nas áreas de nascentes, do rio Jundiá e Capivari, se mostraram preocupantes em períodos de seca, por apresentarem valores acima de 3 mg L^{-1} evidenciando indícios de poluição antrópica provenientes principalmente de esgotos domésticos que não foram tratados ou tratados de forma não eficiente.

Para as estações de amostragem JUN1 e CAP1, correspondentes a foz dos rios Jundiá e Capivari, foi possível verificar, que nos períodos de seca, as concentrações de $DBO_{5,20}$ foram acima do valor 5 mg L^{-1} , sendo classificados, segundo o CONAMA 357/05, como rios de Classe 3 que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado. Para o período chuvoso as concentrações de $DBO_{5,20}$, determinadas nas águas fluviais das estações de amostragem JUN1 e CAP1 foram inferiores a 5 mg L^{-1} , sendo enquadradas nas Classes 1 e 2, podendo ser destinadas ao abastecimento urbano após tratamento simplificado e convencional, respectivamente.

Essa variabilidade das concentrações de $DBO_{5,20}$, nas estações junto as foz dos rios Jundiá e Capivari, podem estar relacionadas a um possível aumento do consumo de O_2 dissolvido pela atividade microbiana na degradação da matéria orgânica oriunda principalmente de esgotos domésticos provenientes dos municípios existentes nas bacias.

5.3.2. Principais espécies inorgânicas dissolvidas nos rios Jundiá e Capivari

Os resultados analíticos das concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas, presentes nas águas dos rios Jundiá e Capivari obtidas próximas às áreas de nascentes (JUN0 e CAP0) e foz (JUN1 e CAP1), por excursão nas respectivas estações de amostragem, para o período de 19/04/2011 a 16/12/2012, podem ser observadas nas Tabelas de 21 a 24.

Tabela 21 - Concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas (mg L^{-1}), concentrações de SiO_2 e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) presentes nas águas fluviais próximas a área de nascente do rio Jundiá (JUN0), com suas respectivas vazões instantâneas (Q , em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para o período estudado.

Nascente do Rio Jundiá - JUN0													
Amostra	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})													
JUN0-1	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
JUN0-2	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
JUN0-3	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
JUN0-4	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
JUN0-5	1,30	12,40	1,65	6,02	2,94	<LD	15,81	31,21	3,59	2,50	2,91	0,00	79,03
JUN0-6	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
JUN0-7	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
JUN0-8	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
JUN0-9	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
JUN0-10	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
JUN0-11	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
JUN0-12	6,60	9,28	1,41	4,10	3,48	<LD	13,65	26,35	2,97	1,31	1,95	<LD	64,51
JUN0-13	1,30	11,30	1,73	6,83	2,79	<LD	16,03	30,06	3,82	1,80	3,96	<LD	78,32
JUN0-14	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
JUN0-15	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}		10,77	1,48	4,58	3,59	0,00	12,42	27,78	3,07	1,87	2,06	0,12	67,73
Máximo		15,50	1,96	7,35	4,42	0,02	16,03	35,58	4,54	4,04	3,96	0,78	86,60
Mínimo		9,28	1,38	2,79	2,79	0,01	9,31	23,80	2,28	1,30	1,32	0,00	56,65
DP_{MNQ}		1,68	0,15	1,61	0,71	0,00	2,80	3,71	0,82	0,80	0,78	0,18	10,68
$\%X_i$		15,90	2,18	6,77	5,30	0,00	18,35	41,01	4,53	2,75	3,04	0,17	

C_{MNQ} : Concentração média normalizada pela vazão; DP_{MNQ} : Desvio padrão normalizado pela vazão; $\%X$: Porcentagem em relação ao TDS; LD: Limite de detecção.

Tabela 22 - Concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas (mg L^{-1}), concentrações de SiO_2 e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) presentes nas águas fluviais próximas a área de foz do rio Jundiá (JUN1), com suas respectivas vazões instantâneas (Q , em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para o período estudado.

Foz do Rio Jundiá - JUN1													
Amostra	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})											
JUN1-1	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
JUN1-2	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
JUN1-3	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
JUN1-4	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
JUN1-5	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
JUN1-6	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
JUN1-7	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
JUN1-8	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
JUN1-9	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
JUN1-10	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
JUN1-11	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
JUN1-12	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
JUN1-13	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
JUN1-14	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
JUN1-15	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}		17,08	2,71	22,24	5,92	0,84	12,37	52,12	18,72	14,80	5,19	0,16	152,16
Máximo		22,23	3,99	66,61	10,38	4,66	19,43	124,29	55,34	29,89	9,45	0,94	342,79
Mínimo		11,87	1,71	8,25	4,26	0,02	7,11	27,56	7,34	10,30	2,38	0,07	81,59
DP_{MNQ}		3,26	0,69	14,80	1,72	1,14	3,51	25,09	13,92	4,61	2,13	0,20	67,25
$\%X_i$		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; DP_{MNQ} : Desvio padrão normalizado pela vazão; $\%X$: Porcentagem em relação ao TDS; LD: Limite de detecção.

Tabela 23 - Concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas (mg L^{-1}), concentrações de SiO_2 e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) presentes nas águas fluviais próximas a área de nascente do rio Capivari (CAP0), com suas respectivas vazões instantâneas (Q , em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para o período estudado.

Nascente do Rio Capivari- CAP0													
Amostra	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})											
CAP0-1	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
CAP0-2	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
CAP0-3	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
CAP0-4	0,05	6,27	2,60	3,55	2,36	<LD	12,16	33,00	3,33	0,68	1,50	<LD	65,45
CAP0-5	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
CAP0-6	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
CAP0-7	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
CAP0-8	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
CAP0-9	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
CAP0-10	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
CAP0-11	0,06	7,72	2,90	3,78	2,35	<LD	9,77	29,30	2,77	0,52	1,05	<LD	60,16
CAP0-12	0,32	4,16	1,90	2,00	1,80	<LD	7,68	22,48	2,01	1,42	0,61	<LD	44,06
CAP0-13	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
CAP0-14	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
CAP0-15	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}		5,47	2,36	2,75	2,29	0,01	10,01	27,03	2,48	0,91	0,97	0,21	54,49
Máximo		9,22	3,15	4,11	3,69	0,13	12,56	34,83	3,77	1,42	1,81	1,26	71,61
Mínimo		4,16	1,90	2,00	1,72	0,01	7,68	22,48	1,96	0,11	0,56	0,07	44,06
DP_{MNQ}		0,42	0,11	0,23	0,18	0,01	0,56	1,17	0,19	0,12	0,13	0,10	2,60
$\%X_i$		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; DP_{MNQ} : Desvio padrão normalizado pela vazão; $\%X$: Porcentagem em relação ao TDS; LD: Limite de detecção.

Tabela 24 - Concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas (mg L^{-1}), concentrações de SiO_2 e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) presentes nas águas fluviais próximas a área de foz do rio Capivari (CAP1), com suas respectivas vazões instantâneas (Q, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para o período estudado.

Foz do Rio Capivari - CAP1													
Amostra	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)													
CAP1-1	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
CAP1-2	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
CAP1-3	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
CAP1-4	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
CAP1-5	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
CAP1-6	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
CAP1-7	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
CAP1-8	117,83	14,12	4,03	9,78	6,22	0,03	10,35	30,76	8,69	11,75	3,33	0,00	99,06
CAP1-9	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
CAP1-10	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
CAP1-11	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
CAP1-12	141,50	12,42	3,80	10,00	4,87	<LD	13,71	43,77	10,99	12,21	3,67	<LD	115,45
CAP1-13	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
CAP1-14	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
CAP1-15	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_{MNO}		13,78	3,54	10,73	5,74	0,22	11,14	37,49	11,18	13,09	4,11	0,10	111,10
Máximo		37,43	6,21	51,54	10,23	2,62	17,74	111,92	50,35	26,89	11,08	0,31	324,04
Mínimo		7,54	2,35	5,33	4,87	0,01	7,81	22,49	5,82	10,38	2,53	0,00	74,90
DP_{MNO}		6,11	1,06	7,90	0,97	0,57	2,50	18,06	7,13	3,64	1,83	0,12	47,18
$\%X_i$		12,40	3,18	9,66	5,16	0,19	10,03	33,75	10,06	11,78	3,70	0,09	

C_{MNO} : Concentração média normalizada pela vazão; DP_{MNO} : Desvio padrão normalizado pela vazão; $\%X$: Porcentagem em relação ao TDS; LD: Limite de detecção.

Para a nascente do rio Jundiáí foi possível verificar que as espécies químicas dominantes foram o HCO_3^- ($27,78 \text{ mg L}^{-1}$), SiO_2 ($12,42 \text{ mg L}^{-1}$) e Ca^{2+} ($10,77 \text{ mg L}^{-1}$), sendo que essas espécies químicas juntas representam 75% do TDS, com valor médio de $67,73 \text{ mg L}^{-1}$. As demais espécies químicas Na^+ ($4,58 \text{ mg L}^{-1}$), NO_3^- ($3,59 \text{ mg L}^{-1}$), Cl^- ($2,06 \text{ mg L}^{-1}$), K^+ ($3,07 \text{ mg L}^{-1}$), SO_4^{2-} ($1,87 \text{ mg L}^{-1}$), Mg^{2+} ($1,48 \text{ mg L}^{-1}$) e PO_4^{3-} ($0,12 \text{ mg L}^{-1}$) apresentaram as menores concentrações, já o NH_4^+ para a maioria das coletas os valores ficaram abaixo do limite de determinação do cromatógrafo. Já para a foz do rio Jundiáí (JUN1), para o período estudado, as espécies químicas predominante foram o HCO_3^- , Na^+ e Cl^- , com concentrações médias normalizadas pelas vazões de $52,12 \text{ mg L}^{-1}$; $22,24 \text{ mg L}^{-1}$ e $18,72 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, representando 61% do TDS, cujo valor médio foi de $152,16 \text{ mg L}^{-1}$. As demais espécies químicas dissolvidas Ca^{2+} ($17,08 \text{ mg L}^{-1}$), SO_4^{2-} ($14,80 \text{ mg L}^{-1}$), SiO_2 ($12,37 \text{ mg L}^{-1}$), K^+ ($5,92 \text{ mg L}^{-1}$), NO_3^- ($5,19 \text{ mg L}^{-1}$), Mg^{2+} ($2,71 \text{ mg L}^{-1}$), NH_4^+ ($0,84 \text{ mg L}^{-1}$) e PO_4^{3-} ($0,16 \text{ mg L}^{-1}$) foram menos representativas.

Similarmente ao determinado na nascente do rio Jundiáí, as espécies químicas dissolvidas dominantes na nascente do rio Capivari (CAP0) foram o HCO_3^- , SiO_2 e Ca^{2+} , com valor médio normalizado pela vazão de $27,03 \text{ mg L}^{-1}$; $10,01 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,47 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, representando aproximadamente 78% das

concentrações em relação ao TDS, o qual teve uma concentração de $54,49 \text{ mg L}^{-1}$. As outras espécies químicas dissolvidas Na^+ ($2,75 \text{ mg L}^{-1}$), K^+ ($2,29 \text{ mg L}^{-1}$), Cl^- ($2,48 \text{ mg L}^{-1}$), Mg^{2+} ($2,36 \text{ mg L}^{-1}$), NO_3^- ($0,97 \text{ mg L}^{-1}$), SO_4^{2-} ($0,91 \text{ mg L}^{-1}$), PO_4^{3-} ($0,21 \text{ mg L}^{-1}$) e NH_4^+ ($0,01 \text{ mg L}^{-1}$) se mostraram menos representativas. Para a foz do rio Capivari (CAP1) as espécies químicas HCO_3^- , Ca^{2+} e SO_4^{2-} foram que apresentaram maiores concentrações médias normalizadas pela vazão com $37,49 \text{ mg L}^{-1}$, $13,78 \text{ mg L}^{-1}$ e $13,09 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente e representam cerca de 58% do percentual do TDS ($111,01 \text{ mg L}^{-1}$). As demais espécies químicas apresentaram concentrações médias normalizadas de $11,18 \text{ mg L}^{-1}$ para Cl^- , $11,14 \text{ mg L}^{-1}$ para SiO_2 , $10,73 \text{ mg L}^{-1}$ para Na^+ , $5,74 \text{ mg L}^{-1}$ para K^+ , $4,11 \text{ mg L}^{-1}$ para NO_3^- , $3,54 \text{ mg L}^{-1}$ para Mg^{2+} , $0,22 \text{ mg L}^{-1}$ para NH_4^+ e $0,10 \text{ mg L}^{-1}$ para PO_4^{3-} .

De uma maneira geral, tanto na bacia do rio Jundiáí como do rio Capivari, as concentrações médias obtidas para a maioria das espécies químicas inorgânicas dissolvidas estudadas, bem como o Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), evoluíram das regiões de nascentes (JUN0 e CAP0) para as regiões de foz (JUN1 e CAP1). Essa evolução já era esperada, pois já havia sido identificada no parâmetro condutividade elétrica um aumento entre as regiões de nascente em direção à foz.

As contribuições de cada espécie química dissolvida nas águas dos rios Jundiáí e Capivari foram avaliadas em função do TDS, conforme descrito no item 4.5.3 (Figuras 60 e 61).

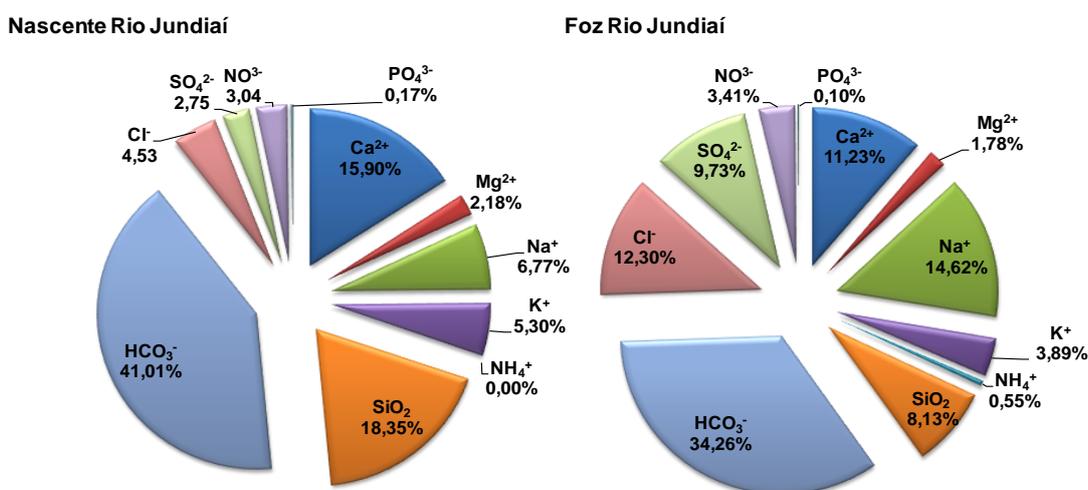


Figura 60 - Distribuição percentual de SiO_2 , ânions e cátions majoritários presentes nas águas fluviais próximas as áreas das nascentes e foz do rio Jundiáí, durante o período estudado.

A Figura 60 ilustra que a espécie química inorgânica mais representativa na carga dissolvida fluvial da nascente e foz do rio Jundiáí foi o ânion HCO_3^- , correspondendo a 41,01% na nascente e 34,26% na foz, do total de espécies dissolvidas. Próximo a nascente do rio Jundiáí o cátion mais representante foi o Ca^{2+} (15,90%), porém teve sua participação diminuída em direção à foz, apresentando uma percentagem de 11,23%, o mesmo comportamento ocorreu com K^+ e o SiO_2 .

Segundo Garrels e Mackenzie (1971) as espécies químicas mais comuns encontradas dissolvidas em águas fluviais são SiO_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} e o HCO_3^- , podendo ter suas origens associadas a processos de intemperismo químico de rochas existentes na região, participando de quase todas as reações de dissolução ou hidrólise de minerais primários e aportes atmosféricos.

Para as espécies químicas Na^+ , NH_4^+ , SO_4^{2-} e Cl^- ocorreu um aumento da nascente para a foz do rio Jundiáí, evidenciando um possível efeito antrópico proveniente de efluentes urbanos lançados sem tratamento prévio. As demais espécies químicas se mostraram pouco variáveis ao longo da bacia do rio Jundiáí.

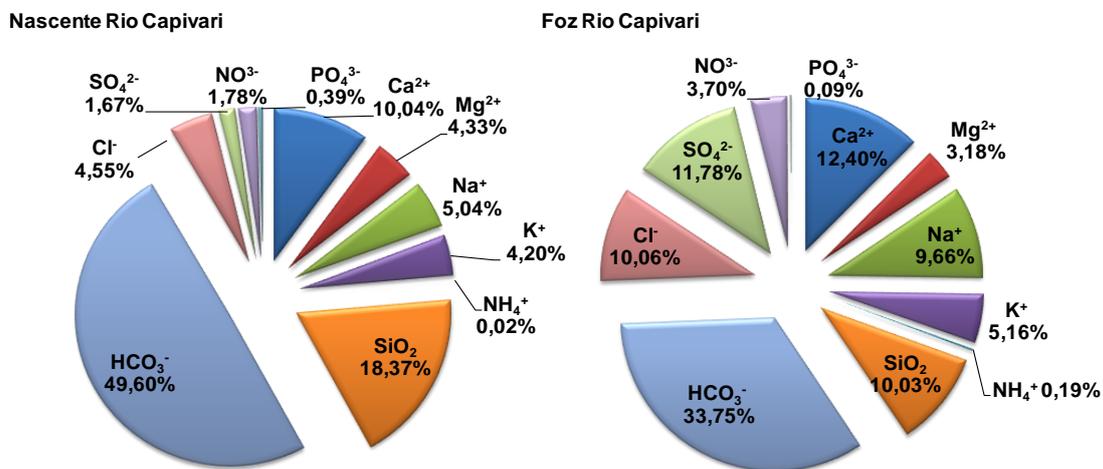


Figura 61 - Distribuição percentual de SiO_2 , ânions e cátions majoritários presentes nas águas fluviais próximas as áreas das nascentes e foz do rio Capivari, durante o período estudado.

O mesmo comportamento foi verificado na bacia do rio Capivari onde o ânion HCO_3^- foi à espécie química mais expressiva, tanto na nascente (CAP0) como na foz (CAP1) correspondendo a 49,60% e 33,75% em relação ao total de sólidos dissolvidos. Principalmente as espécies químicas Na^+ , Cl^- e SO_4^{2-} tiveram um aumento da nascente para a foz do rio Capivari, evidenciando os possíveis efeitos

da contribuição urbana e agrícola. O percentual de SiO_2 diminuiu da nascente para a foz do rio Capivari sendo que em CAP0, representava 18,37% em relação ao total em sólidos dissolvidos enquanto em CAP1 a participação foi de 10,03%.

Foi observado um aumento no aporte de Na^+ , Cl^- e SO_4^{2-} em direção à foz de ambos os rios estudados também já havia sido observado em outras bacias de drenagem com predomínio agrícola e alta densidade populacional causando problemas relacionados à piora da qualidade de água para abastecimento humano, sendo necessário alto grau de tratamento químico para disponibilização para a população (MORTATTI et al., 2012; CONCEIÇÃO et al., 2010; VENDRAMINI, 2013).

As concentrações das principais espécies químicas dissolvidas nas águas dos rios Jundiá e Capivari foram investigadas quanto ao equilíbrio iônico, em base $\mu\text{eq L}^{-1}$, nas respectivas nascentes e foz, de acordo com o descrito no item 4.5.3. A Figura 62 ilustra esse comportamento em função da razão entre a soma de cátions e a soma de ânions.

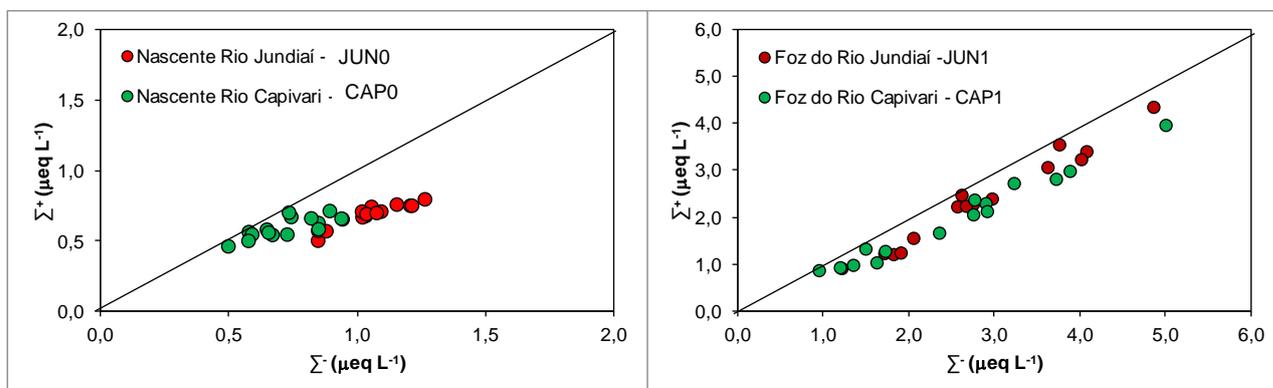


Figura 62 - Balanço de cargas referente às espécies químicas inorgânicas dissolvidas nas águas fluviais dos rios Jundiá e Capivari, nas estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, para o período de 01/02/2010 a 31/01/2011.

Evidenciou-se um desequilíbrio entre as cargas aniônicas e catiônicas para as quatro estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, sendo que as áreas de nascentes (JUN0 e CAP0) houve um déficit maior de cargas aniônicas, o que é comum no caso de amostras pouco concentradas.

Esse desequilíbrio, ou seja, essa ausência de cargas aniônicas é considerada normal e pode ser atribuída a presença de ânions orgânicos dissolvidos (carbono orgânico dissolvido - COD) que não são normalmente contabilizados.

Assim como no presente estudo, esse déficit já havia sido observado anteriormente por vários autores para outras bacias de drenagem, como por exemplo, as do rio Níger (BOEGLIN et al., 1996), Congo e Ubangui (PROBST et al., 1992), rio Amazonas (TARDY et al., 2005), rio Sorocaba (FERNANDES, 2012) e o rio Piracicaba (VENDRAMINI, 2013) e também por Martinelli et al. (1999) que associou essa tendência de desequilíbrio das cargas aniônicas, a poluição fluvial, que possivelmente influencia no decréscimo da proporção da alcalinidade e de nitrato no somatório de ânions devido a ação microbiológica no processo de oxidação da matéria orgânica, concomitantemente ao aumento de Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} e K^+ que podem ser provenientes desses esgotos.

Também foi verificado um desequilíbrio maior, das cargas aniônicas em relação às catiônicas, na nascente do rio Jundiáí do que na nascente do rio Capivari, podendo estar associada a uma maior carga de carbono orgânico dissolvido proveniente das matas ciliares que são mais conservadas na nascente do rio Jundiáí.

5.3.3 Variabilidade temporal e espacial das concentrações das espécies químicas inorgânicas dissolvidas em relação à vazão

De acordo com proposto no item 4.5.3 as concentrações das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas nas águas dos rios Jundiáí e Capivari foram analisadas em termos das variabilidades temporais associadas às variações das vazões instantâneas, conforme podem ser observadas nas Figuras 63 a 66. As variações observadas tanto das concentrações ($\Delta\text{Conc.}$) como as das vazões (ΔQ) foram normalizadas pela média dos valores conforme as equações 45 e 46, respectivamente.

$$\Delta Q = \frac{Q_i - \bar{Q}}{\bar{Q}} \cdot 100 \quad (45)$$

onde, Q_i é a vazão instantânea ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e \bar{Q} é a vazão média ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

$$\Delta Conc. = \frac{Conc_i - \bar{Conc}}{\bar{Conc}} \cdot 100 \quad (46)$$

onde, $Conc_i$ é a concentração do elemento químico ($mg L^{-1}$), determinado nas águas fluviais, \bar{Conc} é a concentração média ($mg L^{-1}$) do elemento calculada.

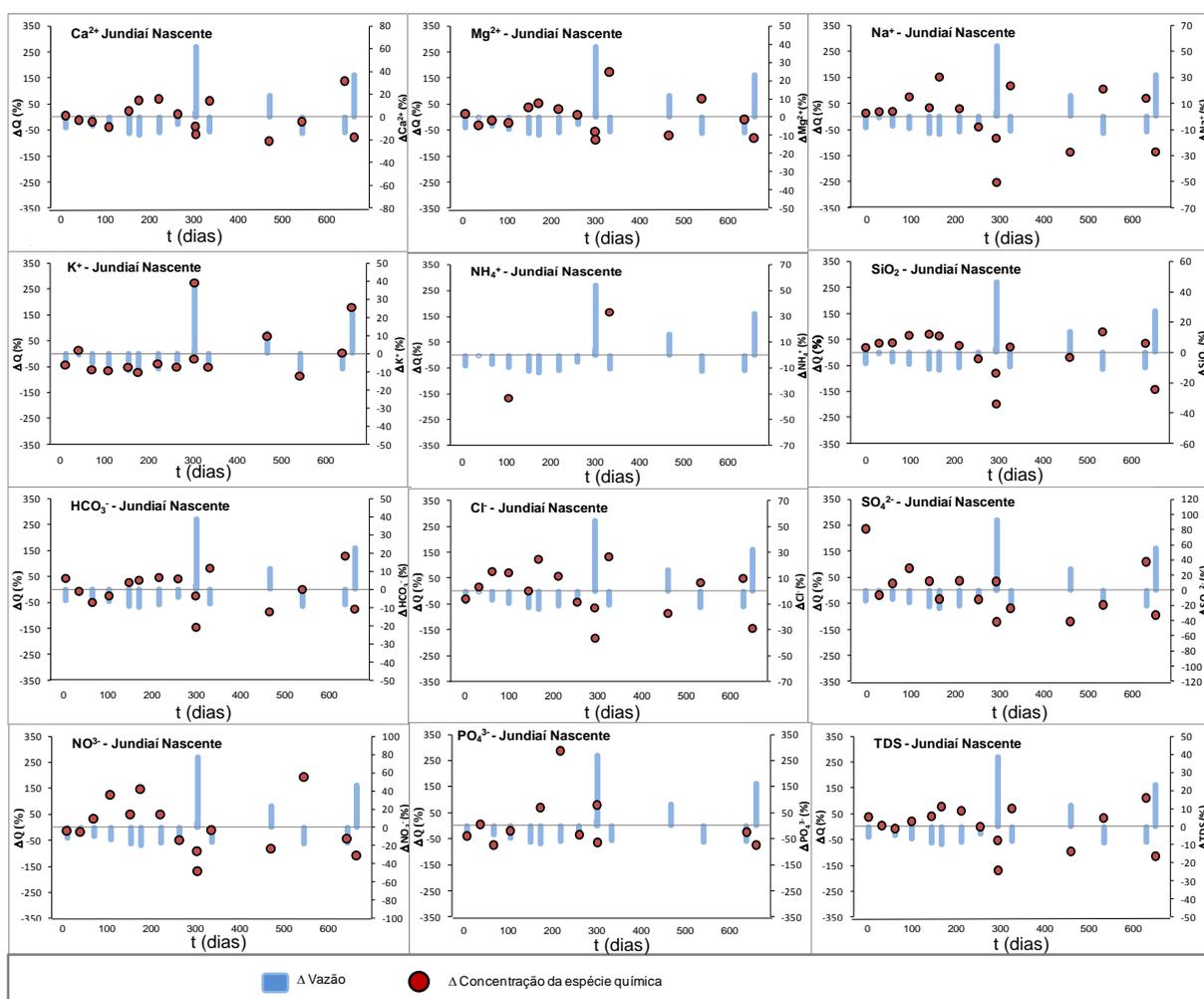


Figura 63 - Variabilidade temporal das concentrações dos principais ânions dissolvidos e TDS para as águas da nascente do rio Jundiaí (JUN0), ao longo do período estudado, em função das variações das vazões instantâneas.

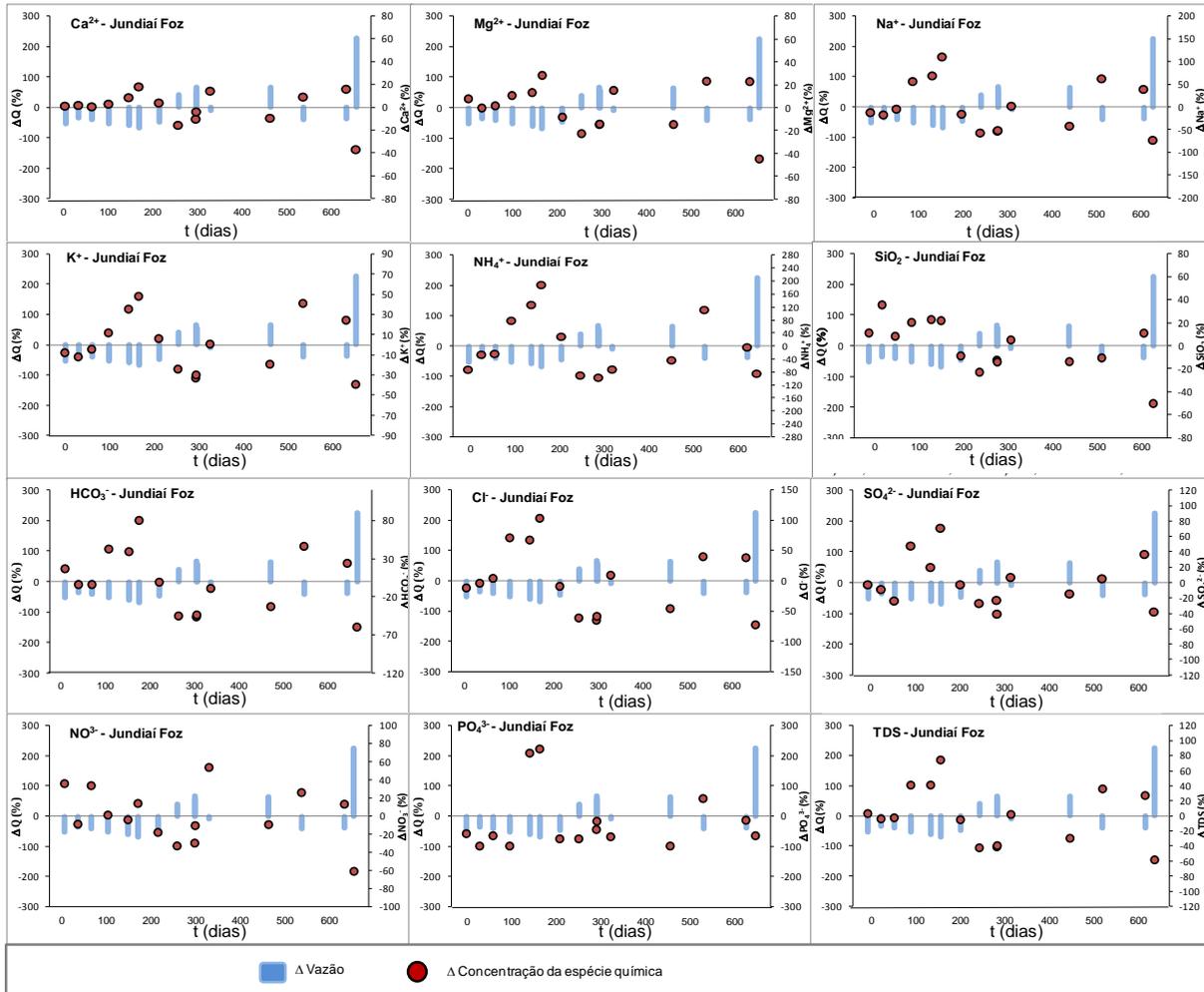


Figura 64 - Variabilidade temporal das concentrações dos principais ânions dissolvidos e TDS para as águas da foz do rio Jundiáí (JUN1), ao longo do período estudado, em função das variações das vazões instantâneas.

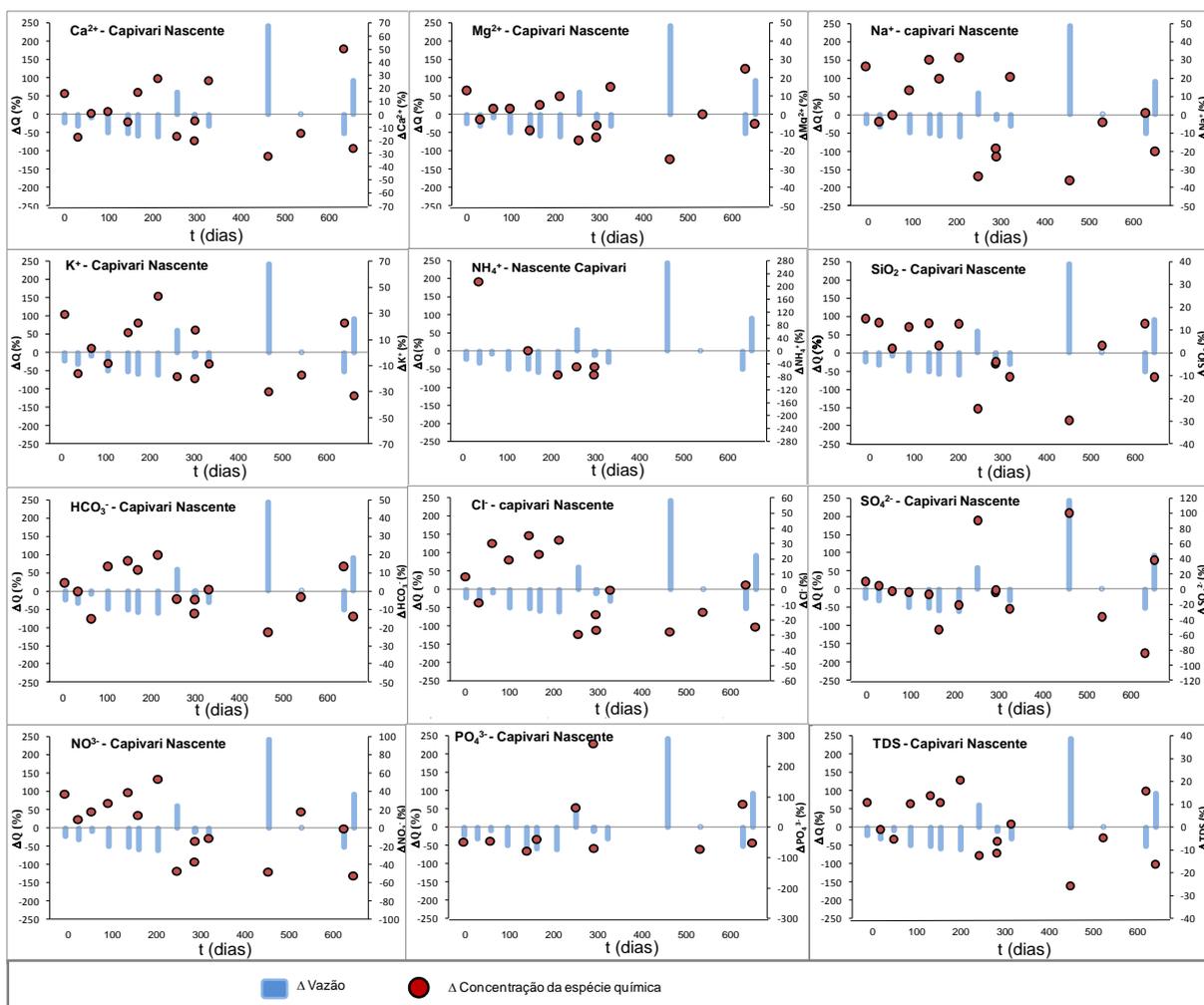


Figura 65 - Variabilidade temporal das concentrações dos principais ânions dissolvidos e TDS para as águas da nascente do rio Capivari (CAP0), ao longo do período estudado, em função das variações das vazões instantâneas.

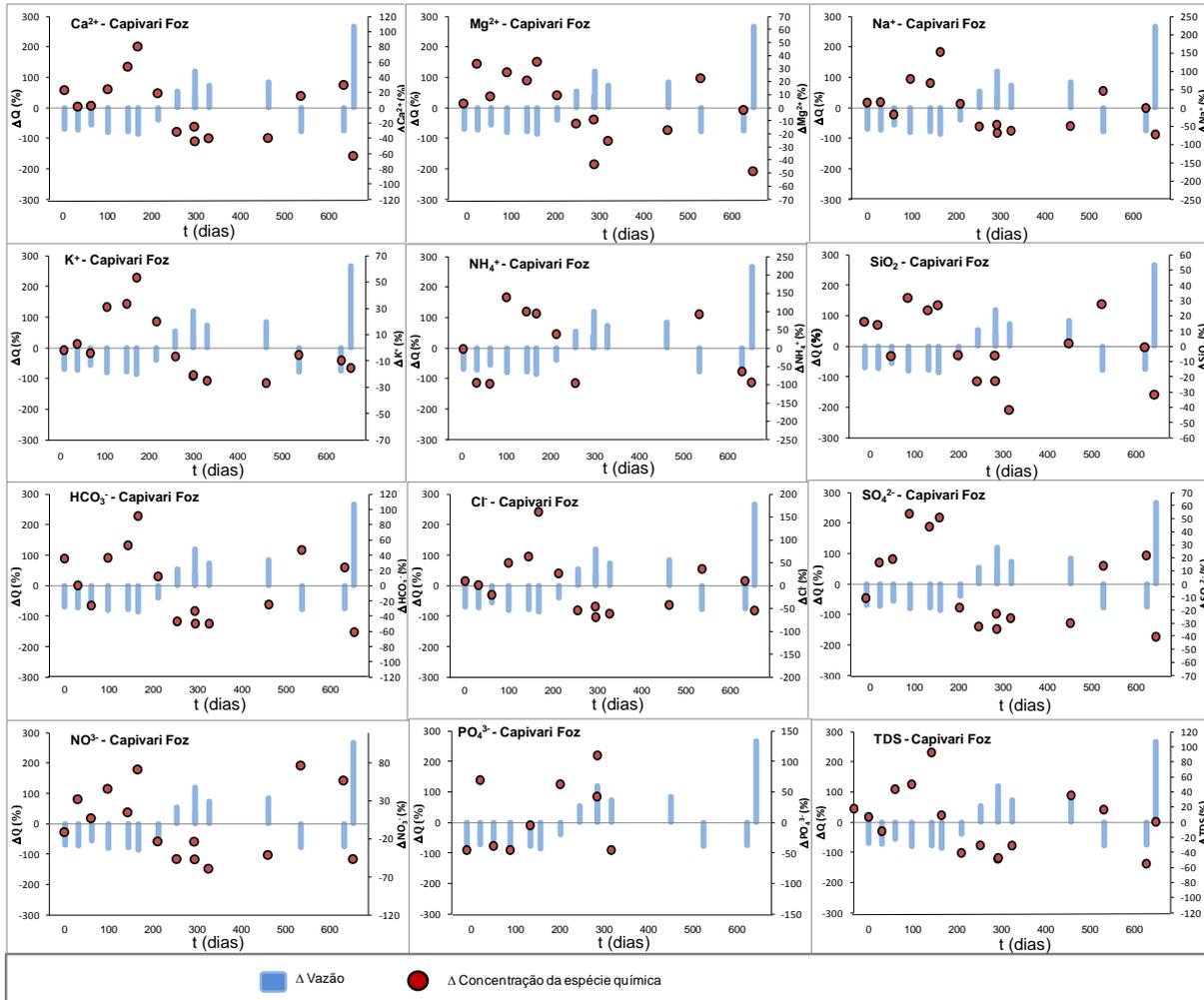


Figura 66 - Variabilidade temporal das concentrações dos principais ânions dissolvidos e TDS para as águas da foz do rio Capivari (CAP1), ao longo do período estudado, em função das variações das vazões instantâneas.

Conforme pode ser visto nas Figuras 63, 64, 65 e 66, nas estações de amostragem dos rios Jundiá e Capivari, tanto nas regiões de nascente como na foz, as variações das espécies químicas catiônicas Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ e aniônicas SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- e PO_4^{3-} apresentaram um déficit (Δ negativo) de concentração para períodos com excesso de vazão (Δ positivo), demonstrando uma relação direta das concentrações com o regime hídrico. Com exceção do elemento K^+ , que na estação JUN0 que suas variações seguiram as variações das vazões, sendo que para a estação JUN1 o mesmo comportamento não foi observado.

Esse processo é conhecido como diluição da carga dissolvida em função do aumento da vazão é considerado normal e característico de grandes e médios rios, conforme observado em importantes trabalhos em bacias de drenagem de diferentes

magnitudes (PROBST et al., 1992; MORTATTI; PROBST; BORTOLETTO JÚNIOR, 2003; BIBIAN, 2007). As concentrações médias de SiO_2 e TDS também seguiram esse modelo de diluição nas quatro estações de amostragem estudadas

As concentrações médias das principais espécies químicas também foram avaliadas em termos de sua distribuição espacial, relação nascente e foz, das bacias de drenagem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1) (Figura 67).

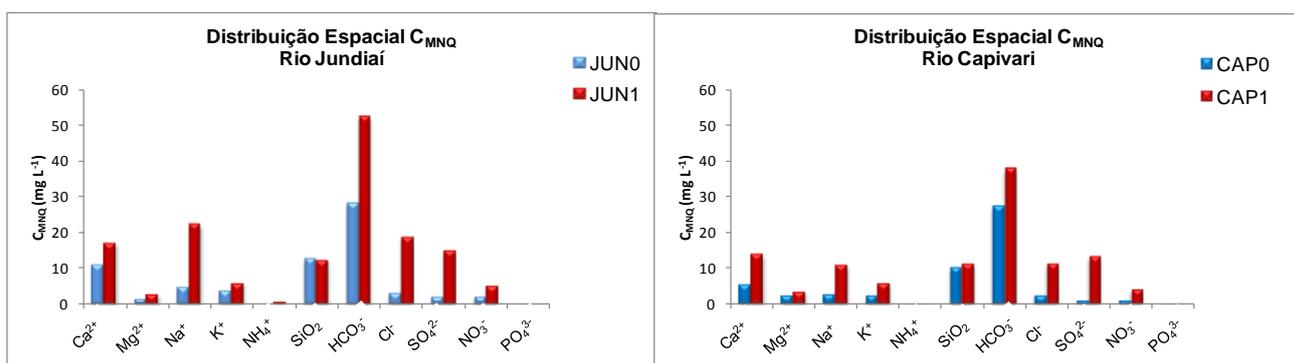


Figura 67 - Distribuição espacial das concentrações médias normalizadas pela vazão (C_{MNQ}), para SiO_2 , cátions e ânions majoritários, presentes nas amostras, calculadas para as estações de amostragem JUN0 e JUN1 (Rio Jundiaí) e CAP0 e CAP1 (Rio Capivari), para o período estudado.

As evoluções espaciais das concentrações médias normalizadas pelas vazões dos principais cátions e ânions dissolvidos nas águas dos rios Jundiaí e Capivari indicaram comportamentos similares, variando significativamente da nascente em direção à foz. Esse comportamento foi verificado para todas as espécies químicas, com destaque para o Ca^{2+} , Na^{2+} e HCO_3^- , que apresentaram concentrações médias para a foz do rio Jundiaí superiores as determinadas para a foz do rio Capivari, porém tal afirmação deve levar em consideração a áreas das bacias e poderão ser verificadas somente com o cálculo do transporte específico, apresentado no item 5.3.8.

5.3.4 Modelo hidroquímico ConcentraçãoxVazão: Aportes difusos e pontuais

Com os dados das concentrações das espécies químicas inorgânicas dissolvidas nas águas dos rios Jundiaí e Capivari, próximas as nascentes (JUN0 e CAP0) e foz (JUN1 e CAP1) e respectivas vazões instantâneas foram estabelecidas as relações concentração x vazão.

Os valores de concentrações observados foram ajustados conforme o modelo potência e comparados com as curvas de diluição teórica, conforme descrito no item 4.5.5, procurando identificar as possíveis origens dos aportes dessas espécies químicas.

Tais aportes podem ser de origem pontual, relacionados principalmente as de origem antrópica, como por exemplo, efluentes domésticos lançados sem tratamento prévio e aportes de origem difusa, os quais estão associados aos processos de alteração de rochas existentes na bacia de drenagem e ainda aportes atmosféricos. Os aportes pontuais são evidenciados pela proximidade ou até mesmo sobreposição da curva de ajuste de potência com as curvas de diluição teóricas para cada espécie química, enquanto os aportes difusos podem ser caracterizados pela distância entre as curvas (MORTATTI et al., 2008; FERNANDES, 2012).

A Figura 68 apresenta os relacionamentos das principais espécies químicas dissolvidas com as respectivas vazões instantâneas, obtidas na nascente do rio Jundiaí (JUN0), considerando os modelos estudados.

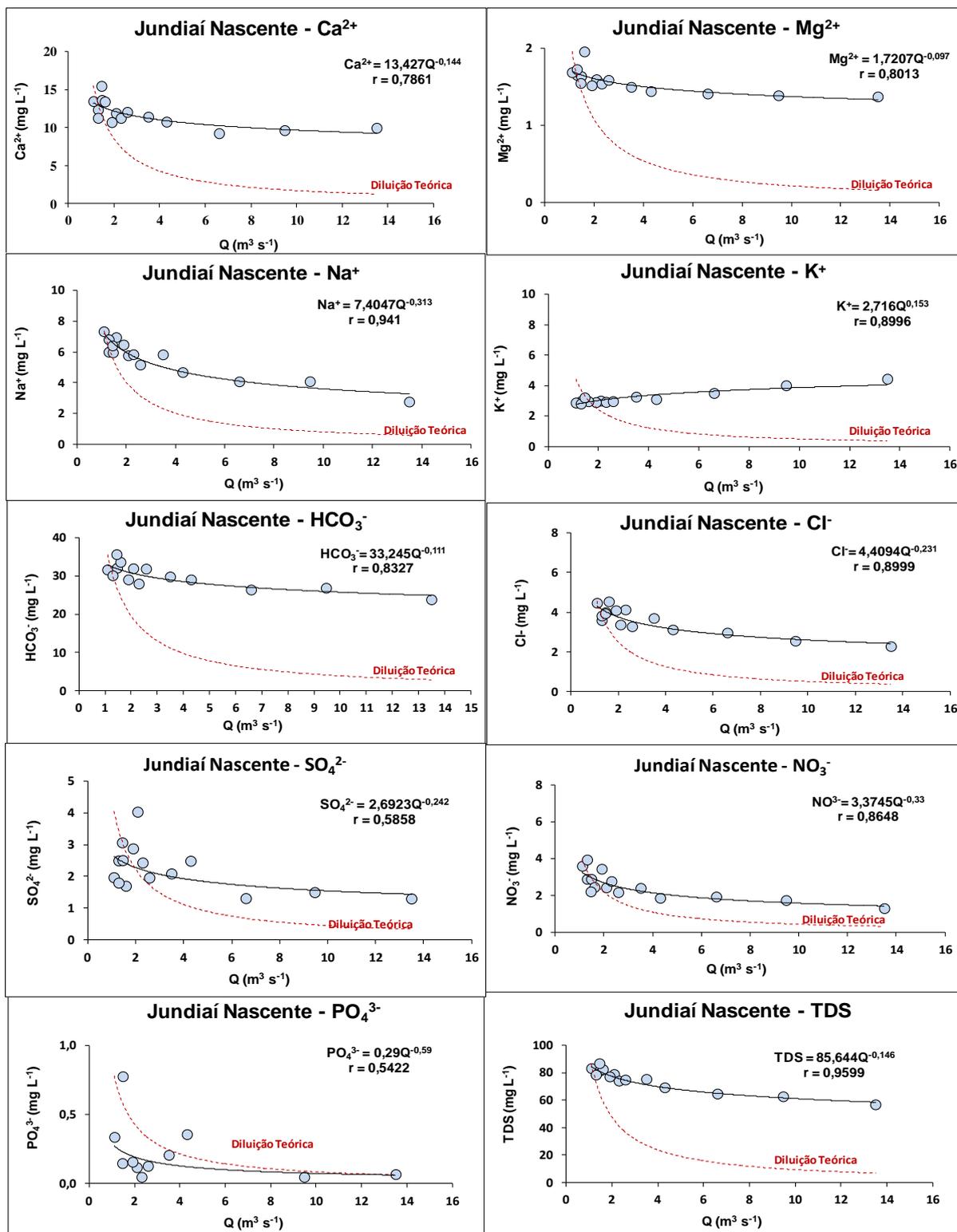


Figura 68 - Relacionamento entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e vazões instantâneas (regressão de potência), próxima a nascente do rio Jundiáí e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.

Foi possível observar que a maioria das espécies químicas estudadas apresentaram curvas de distribuição de concentração decrescentes e influenciadas

pela diluição fluvial (vazão), sendo que os modelos de potência se mostraram significativos ($p < 0,01$), com exceção do SO_4^{2-} e o PO_4^{3-} que foram significativos ao nível de 95% ($p < 0,05$). Em relação às espécies químicas Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- e Cl^- , suas curvas de distribuição de concentração foram distantes das respectivas curvas de diluição teórica indicando possíveis aportes difusos, relacionados principalmente a alteração de rochas e aportes atmosféricos. Para a espécie química Ca^{2+} podem ser provenientes de rochas silicatadas, como os plagioclásios, possibilidade de alteração de carbonatos, casos da calcita (CaCO_3) e da dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) (RODRIGUES JÚNIOR, 1998; BORTOLETO JUNIOR, 2004). O Na^+ pode ser oriundo da alteração da albita ($\text{NaAl}_3\text{SiO}_8$), que se altera para a formação da caulinita (HORBE; SANTOS, 2009). A espécie química K^+ não sofreu o processo de diluição, tal característica observada pode estar sendo influenciada por possíveis aportes difusos.

A contribuição difusa da espécie química HCO_3^- pode estar relacionada a alteração de rochas, pois é produto da maioria das reações de intemperismo, tanto de silicatos quanto de carbonatos e outra relativa aos aportes atmosféricos (GARRELS; MACKENZIE, 1971; TARDY, 1971; BERNER; LAGASA; GARRELS, 1983; DREVER; ZOBRIST, 1992; SEMHI et al., 2000; STALLARD; EDMOND, 1981). Segundo alguns autores outra possível origem do HCO_3^- em águas fluviais podem estar relacionadas à degradação da matéria orgânica intermediada pelo SO_4^{2-} . (PROBST et al., 1992; MORTATTI; PROBST; BORTOLETTO JÚNIOR, 2003, VENDRAMINI, 2013).

A curva do relacionamento concentração x vazão do TDS também se mostrou distante da curva teórica, o que já era esperado, pois as maiorias das espécies químicas demonstraram serem de origens difusas.

As espécies químicas NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} tiveram suas curvas de distribuição das concentrações próximas às curvas de diluição teórica calculada, indicando aportes pontuais, podendo ter suas origens relacionadas às contribuições antrópicas provenientes de esgotos domésticos e a fertilizantes utilizados nas culturas existentes na região (CONCEIÇÃO et al., 2010).

A Figura 69 ilustra os relacionamentos concentração x vazão das principais espécies químicas dissolvidas, com as respectivas vazões, obtidas na foz do rio Jundiá (JUN1), incluindo as regressões de potência e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.

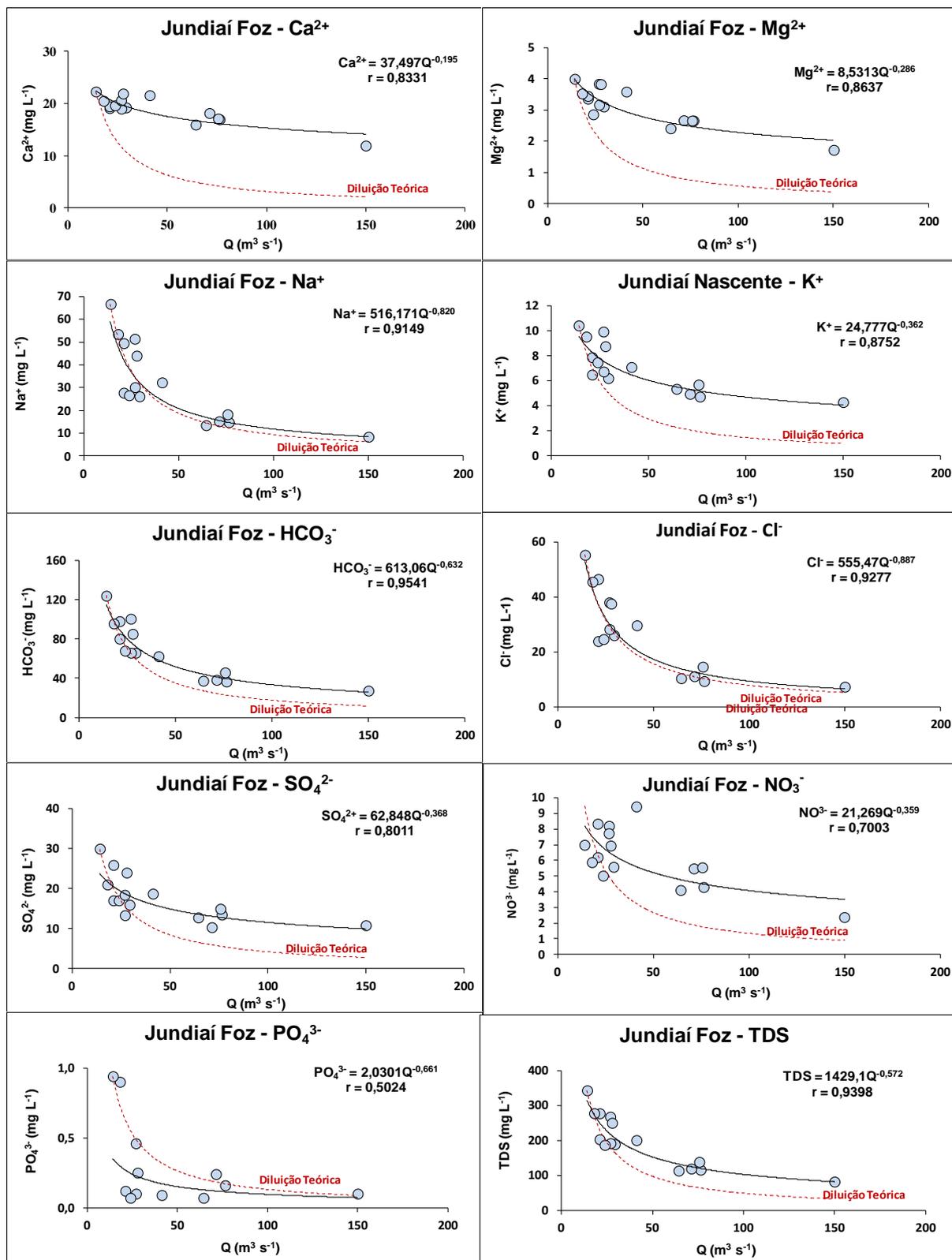


Figura 69 - Relacionamento entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e vazões instantâneas (regressão de potência), próxima a foz do rio Jundiáí e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.

Os modelos de potência determinados, para a estação JUN1, foram significativos ($p < 0,01$) para a maioria das espécies químicas dissolvidas estudadas, com exceção do PO_4^{3-} . Foi verificado que as espécies químicas dissolvidas Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram um comportamento similar ao observado na nascente (JUN0), sendo que as curvas de concentraçãoXvazão apresentaram os aspectos das diluições fluviais e também os distanciamentos em relação as curvas de diluição que possibilitaram evidenciar possíveis aportes difusos associados a alterações de rochas e aportes atmosféricos.

Diferentemente do verificado junto a nascente do rio Jundiaí, o HCO_3^- se mostrou de origem mista, podendo ser pontual e difusa, possivelmente associada a aportes antrópicos e também a alterações de rochas, o que já havia sido observado na estação JUN0. Esse HCO_3^- , em ambientes poluídos, pode ser produzido a partir da oxidação da matéria orgânica via microorganismos intermediada por íons SO_4^{2-} . (HAIDA et al., 1996).

As espécies químicas Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e NO_3^- também apresentaram uma evolução decrescente em relação à vazão, porém os ajustes de potência referentes às concentrações seguiram muitos próximos às respectivas curvas de diluição teóricas, evidenciando para essas espécies químicas associação a uma única fonte de entrada na bacia, que pode estar relacionada principalmente a lançamentos de efluentes domésticos. Apesar de apresentarem caráter pontual antrópico não se pode deixar a parcela de contribuição dessas espécies químicas provenientes, mesmo que menos significativas, dos aportes atmosféricos e intemperismos de rocha.

Segundo Mortatti et al. (2012), as concentrações elevadas de SO_4^{2-} podem estar relacionadas à presença de detergentes e saponáceos, que tem o sulfato como agente surfactante, demonstrando uma preocupante contaminação na foz do rio Jundiaí.

O padrão de comportamento do TDS, como era de se esperar, segue o mesmo comportamento do íon mais significativo que foi o HCO_3^- , podendo ser observado uma proximidade entre a curva das concentrações em relação à curva de diluição teórica, porem em uma fase intermediária entre origens difusas e pontuais.

De maneira geral, como já era uma hipótese, as águas junto à foz do rio Jundiáí apresentaram espécies químicas dissolvidas de origem pontual, ou seja, mais impactadas em comparação com a área de nascente em função principalmente das atividades antrópicas que tem influência direta no rio, ao longo da bacia.

A Figura 70 ilustra o relacionamento concentraçãoXvazão das principais espécies químicas dissolvidas, com as respectivas vazões, obtidas na nascente do rio Capivari (CAP0), incluindo as regressões de potência e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.

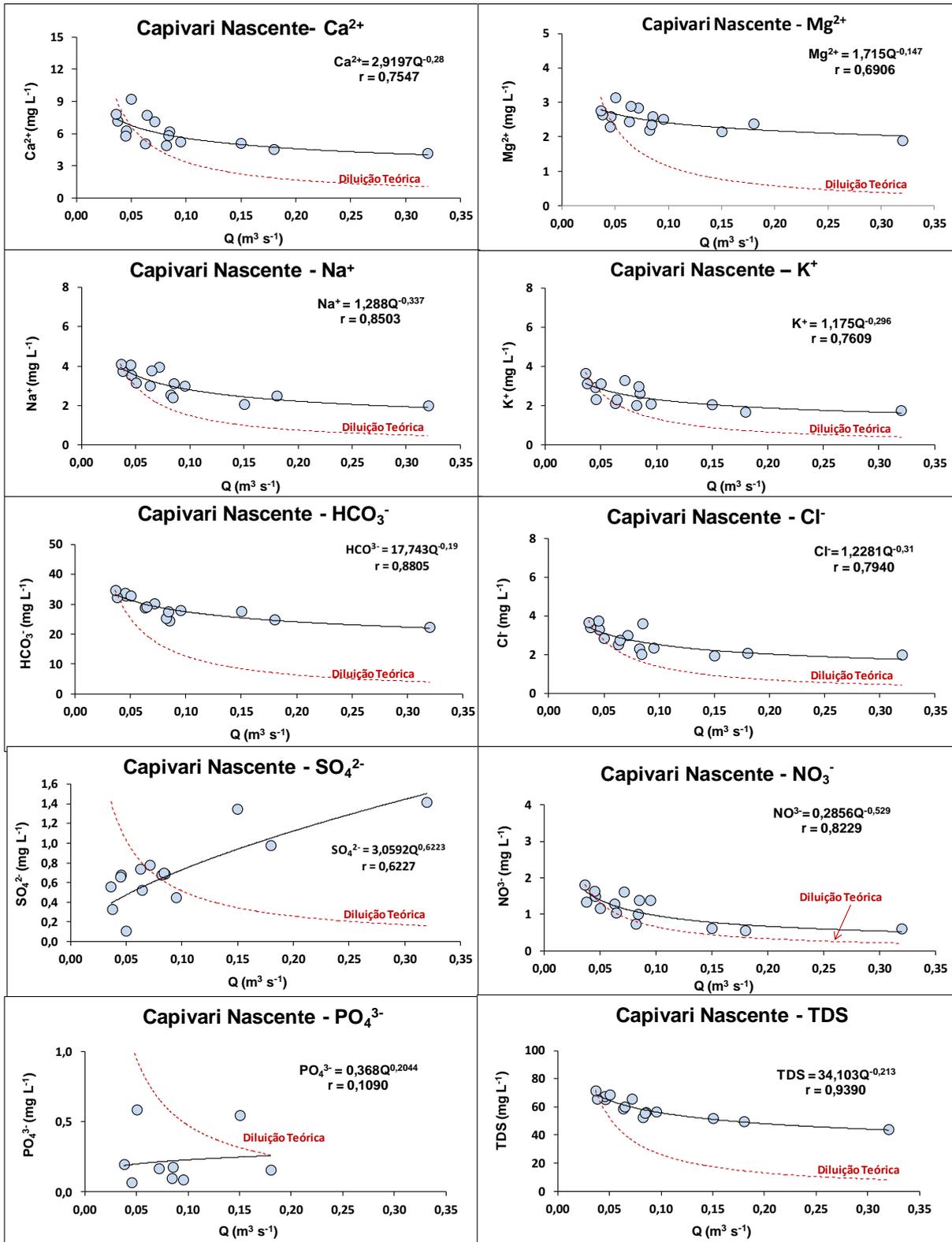


Figura 70 - Relacionamento entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e vazões instantâneas (regressão de potência), próxima a nascente do rio Capivari e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.

As maiorias das espécies químicas determinadas nas águas da nascente do rio Capivari tiveram um comportamento de diluição da concentração com o aumento da vazão, apenas o SO_4^{2-} apresentou uma distribuição positiva em relação ao ajuste de regressão de potência aplicado, indicando um aumento possivelmente associada a aportes pontuais, porém todos apresentaram ajustes significativos ($p < 0,01$) com exceção do PO_4^{3-} que não obteve um ajuste de potência significativo.

O padrão de comportamento das espécies químicas Na^+ , K^+ , NO_3^- e Cl^- , na nascente do rio Capivari (CAP0) foram similares, sendo que as curvas de relacionamento concentração x vazão indicam que a origem dessas espécies químicas foi pontual, associadas possivelmente as atividades hortifrutigrangeiras presentes na região.

Os distanciamentos mais expressivos observados entre os padrões de ajustes e as curvas de diluição teórica para o 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 concentrações analisadas de NH_4^+ se mostraram na maioria das amostras coletadas na nascente do rio Capivari, abaixo do limite de determinação.

O TDS segue o mesmo comportamento dos íons mais significativos que foram o HCO_3^- e o Mg^{2+} , podendo ser observado também um distanciamento entre a curva das concentrações de TDS, com relação à curva de diluição teórica, demonstrando uma contribuição essencialmente difusa.

A Figura 71 ilustra o relacionamento concentração x vazão das principais espécies químicas dissolvidas, com as respectivas vazões, obtidas na foz do rio Capivari (CAP1), incluindo as regressões de potência e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.

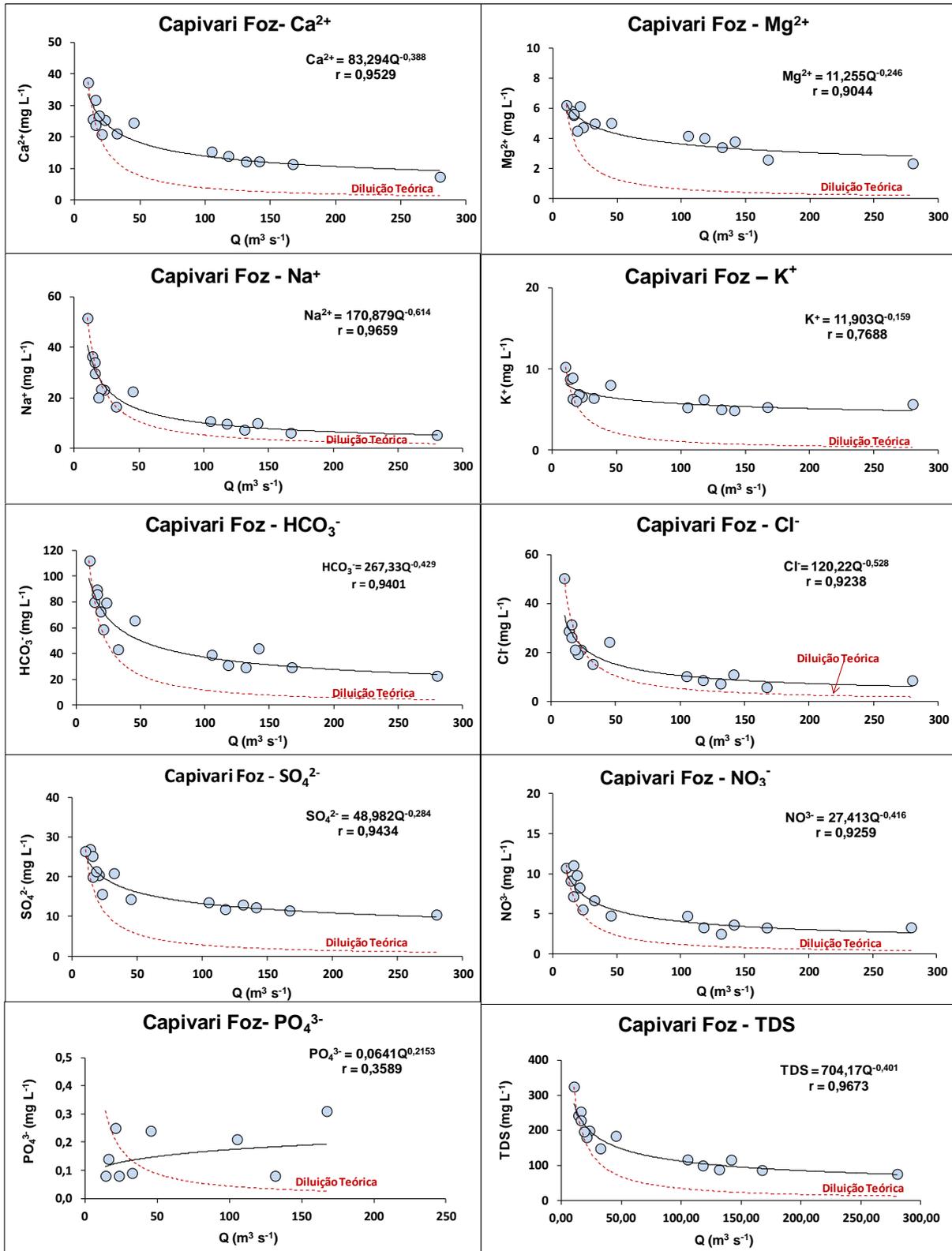


Figura 71 - Relacionamento entre as concentrações dos principais íons dissolvidos e vazões instantâneas (regressão de potência), próximas a foz do rio Capivari e as respectivas curvas de diluições teóricas, para o período estudado.

Assim como na nascente do rio Capivari (CAP0) a foz (CAP1) apresentou para a maioria das espécies químicas estudadas curvas de distribuição de concentração decrescentes e influenciadas pela diluição fluvial. Com exceção do PO_4^{3-} , as demais espécies químicas apresentaram ajustes significativos ($p < 0,01$) dos modelos de potência, ao nível de 99%.

Devido principalmente as baixas concentrações de PO_4^{3-} , observados ao longo do período estudado, não foi possível estabelecer um ajuste significativo de modelo de curva, sendo que a curva de potência ajustada para esse elemento químico não apresentou caráter de diluição, essa tendência de aumento pode estar associada a aportes antrópicos localizados, atribuídos aos fertilizantes fosfatados aplicados nos solos ou lançamento de efluentes domésticos, oriundos dos produtos de limpeza, encontrados na forma inorgânica (ortofosfatos e polifosfatos) (MARINS; PAULA FILHO; ROCHA, 2007; QUEIROZ, 2011).

As espécies químicas HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} , para a foz do rio Capivari (CAP1), se mostraram decrescentes e influenciadas pela diluição fluvial e tiveram suas curvas de ajuste de potência distantes das curvas de diluição teórica, indicando ocorrência de aportes difusos, associados a alterações de rochas e aportes atmosféricos. Por ser uma região estritamente agrícola, principalmente caracterizada pelo cultivo de cana-de-açúcar, as fontes de Ca^{2+} e SO_4^{2-} podem estar associadas também a resíduos agrícolas, devido a práticas de calagem do solo o gesso (CaSO_4) e calcário (MORTATTI et al., 2008), o mesmo ocorre com o K^+ que sua fonte pode estar associada às queimadas e adubação das plantações de cana-de-açúcar (LARA et al., 2001; CONCEIÇÃO et al., 2010).

Mesmo o HCO_3^- apresentar características de aportes de origem difusa, uma pequena parte dessa espécie química pode estar associada à origem pontual, devido ao lançamento de esgotos domésticos que existem na região da bacia do rio Capivari.

A comparação entre os ajustes e as curvas de diluição teórica para o íon Na^+ indicou a ocorrência de possíveis aportes pontuais, possuindo uma única fonte como origem desse íon. Essa dinâmica dessa espécie química já havia sido observada por Mortatti et al. (2003) e Vendramini (2013) para o rio Piracicaba e por Fernandes (2012) para o rio Sorocaba, que também mostrou ser de origem pontual. Vale destacar que apesar de apresentar um caráter de origem pontual o Na^+ pode vir de origem difusa, sendo que para essa estação de amostragem, a origem difusa

mostrou menos representativa. De acordo com Mortatti (1995), as possíveis origens do Na^+ podem estar baseadas a três fontes principais: a albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), aos aportes atmosféricos e aos aportes antrópicos, incluindo os filmes salinos dos solos, à base de cloreto de sódio (NaCl).

Assim como o Na^+ , o Cl^- e NO_3^- também apresentaram uma possível ocorrência de aportes pontuais, relacionada principalmente a efluentes domésticos.

O padrão de comportamento do TSD segue o comportamento dos íons mais significativos podendo ser observado uma proximidade entre a curva das concentrações de TDS, com relação à curva de diluição teórica, em uma fase intermediária entre contribuições difusas e pontuais. Esse padrão de comportamento para TDS se mostrou contrário ao observado por Bortoletto Júnior (2004) para os rios Tietê e Piracicaba e por Fernandes (2012) para rio Sorocaba, que avaliaram o comportamento de TDS essencialmente oriundo de aportes difusos.

O relacionamento entre as concentrações da sílica dissolvida SiO_2 e as vazões obtidas, para as águas dos rios Jundiá e Capivari, nas áreas de nascente e foz, pode ser observado na Figura 72, incluindo ainda a regressão de potência e respectiva curva de diluição teórica, durante o período estudado. Pode ser verificado que modelo de potência se apresentou significativo ($p < 0,01$) para esta espécie química durante o período estudado.

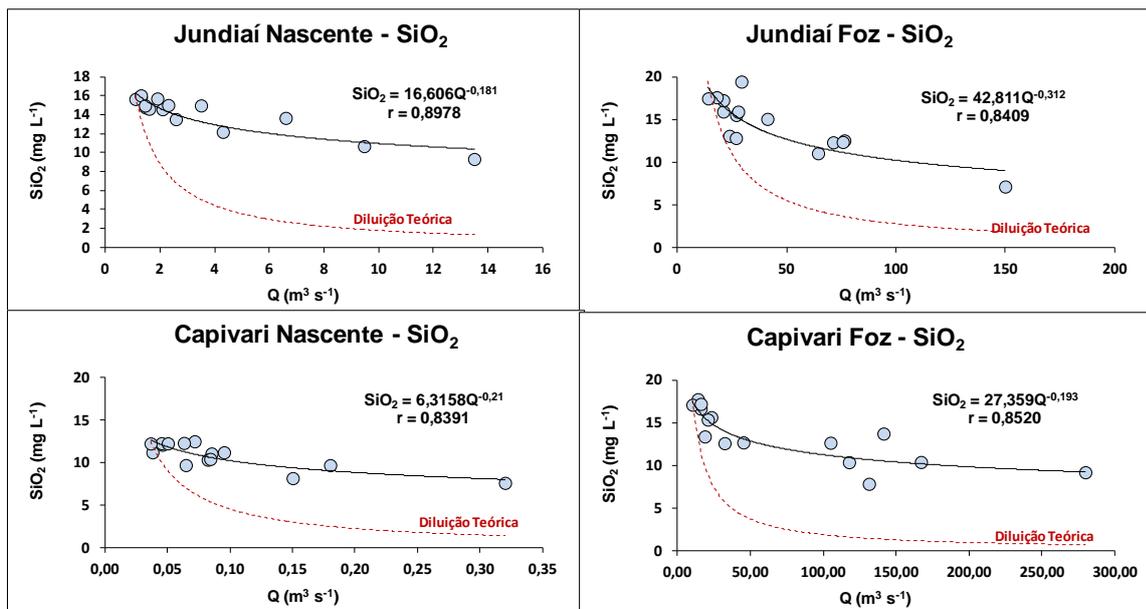


Figura 72 - Relacionamento entre as concentrações de SiO_2 e as vazões instantâneas nas águas fluviais (regressão de potência), próximas às áreas de nascente e foz dos rios Jundiá e Capivari e as respectivas curvas de diluições teóricas, durante o período estudado.

Para ambas as bacias de drenagem, tanto nas áreas de nascente quanto da foz, a distribuição das concentrações de SiO_2 em comparação com as respectivas curvas de diluição teórica apresentaram um distanciamento entre elas demonstrando que essa espécie química é originada predominantemente de aportes difusos. Isso já era esperado, pois o SiO_2 participa de todas as reações de intemperismo de silicatos (MORTATTI; PROBST, 2012).

O SiO_2 também pode ter sua contribuição associado a poluição de zonas agrícolas, que segundo BORTOLETTO JÚNIOR (2004) a poeira dos solos, suspensas pela praticas de manejo contendo Si é hidrolisada e entra novamente no sistema pela ação das precipitações, contribuindo para o enriquecimento dessa espécie nas águas fluviais.

5.3.5 Matriz dos coeficientes de correlação

As matrizes dos coeficientes de correlação linear simples foram construídas considerando os parâmetros descritos no item 4.5.5 para as estações de amostragem, JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, dos rios Jundiaí e Capivari, conforme pode ser observado nas Tabelas 25 a 28 procurando evidenciar as relações químicas entre as principais espécies químicas dissolvidas no sentido de caracterizar melhor as possíveis fontes naturais e antrópicas. Os coeficientes de correlação sublinhados nas tabelas são os que apresentam elevados níveis de significância $p < 0,01$.

Foi possível observar que as estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, dos rios Jundiaí e Capivari, os coeficientes de correlação linear foram significativos entre o TDS e a condutividade elétrica, como era de se esperar. Correlações significativas também foram observadas entre o TDS e as espécies químicas dissolvidas, com exceção do NH_4^+ nas áreas de nascentes dos rios Jundiaí (JUN0) e Capivari (CAP0) e o PO_4^{2-} que não apresentou coeficiente de correlação significativo com as espécies químicas e o TDS para todas as estações de amostragem.

Nas quatro estações de amostragem também foram verificadas correlações significativas entre HCO_3^- e SiO_2 , que segundo Probst et al. (1986) e Meybeck (1987) estão associadas preferencialmente a processos de intemperismo de rochas silicatadas. O mesmo ocorre com as correlações do HCO_3^- com Na^+ , que também são se mostraram significativas, estando associadas aos aportes antrópicos.

Para as estações de amostragem JUN1 e CAP1, regiões de foz do rio Jundiaí e Capivari, respectivamente, foram determinados coeficientes de correlações significativos entre SiO_2 com Ca^{2+} e Mg^{2+} , evidenciando novamente os processos de intemperismo de rochas silicatadas (MEYBECK, 1987).

Possíveis influências agrícolas puderam ser observadas nas estações de amostragem CAP0 e CAP1 devido à significância entre as correlações entre SO_4^{2-} e Ca^{2+} , podendo estar relacionada com corretivos (aplicação de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e calcário dolomítico ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), aplicados nos solos para o plantio de cana-de-açúcar, cultura presente principalmente na área a jusante da bacia do rio Capivari. (FERNANDES, 2008). A mesma correlação significativa entre SO_4^{2-} e Ca^{2+} foi observada na região de foz do rio Jundiaí (JUN1) mas por ser uma região com menos influencia da cultura de cana-de-açúcar essa correlação significativa pode estar indicando uma degradação da matéria orgânica presente no rio associada a esgotos domésticos lançados sem tratamento prévio (MEYBECK et al., 1987; MORTATTI et al., 2012; FERNANDES, 2012).

5.3.6 Diagramas ternários aplicados às águas fluviais

Conforme descrito no item 4.5.7, os diagramas ternários foram construídos a partir das concentrações molares dos cátions Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e dos ânions HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} , presentes nas águas fluviais dos rios Jundiáí e Capivari ao longo do período estudado. Na Figura 73 podem ser verificados os diagramas ternários referentes às estações de amostragem JUN0 (Nascente do rio Jundiáí) e JUN1 (Foz do rio Jundiáí).

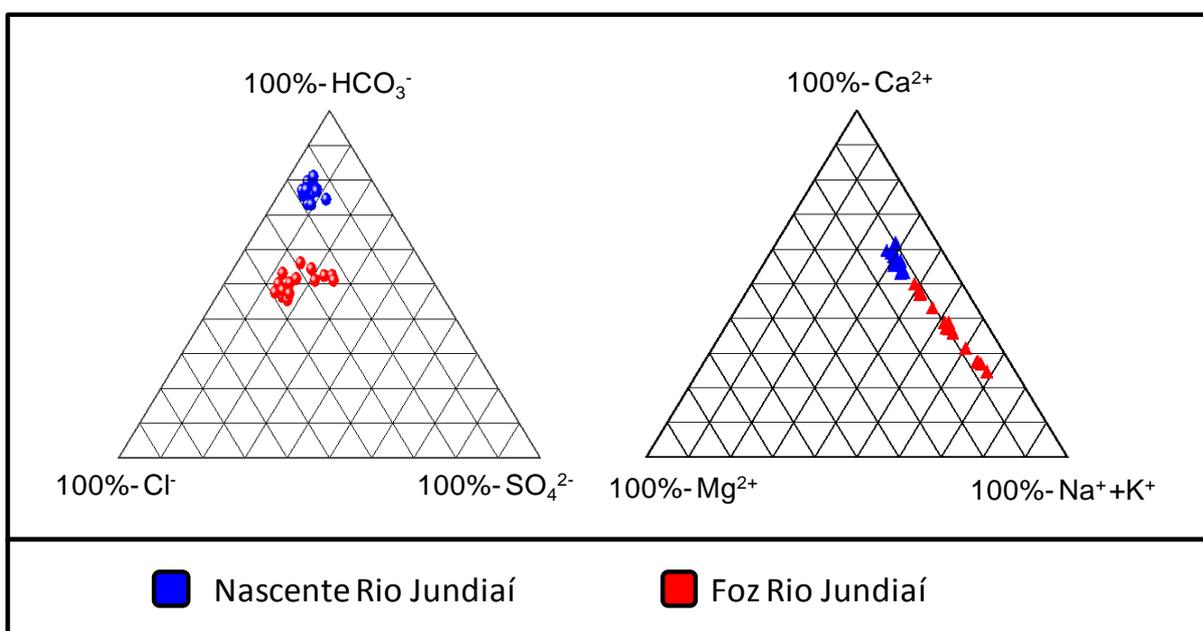


Figura 73 - Diagramas ternários de cátions e ânions dissolvidos nas águas do rio Jundiáí justo a nascente (JUN0) e foz (JUN1), para o período estudado.

Foi possível observar que a distribuição das nuvens de pontos da estação de amostragem próxima (JUN0) e próxima à foz (JUN1) não foram similares. Para JUN0 em termos de ânions a espécie química predominante foi o HCO_3^- , com uma distribuição entre 70 e 80%, seguido pelo Cl^- (entre 10 e 20%) e SO_4^{2-} (10%), em relação aos cátions, representados pelo segundo diagrama, o Ca^{2+} foi o elemento mais representativo, correspondendo a aproximadamente 50% dos cátions, seguido pelo $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (entre 30 e 40%) e o Mg^{2+} (20%). Para a foz do rio Jundiáí (JUN1) o HCO_3^- também foi o ânion dominante porém em menor porcentagem, entre 50 e 60%, a porcentagem de Cl^- variou entre 30 a 40%, e o SO_4^{2-} entre 20 e 30%, em

relação aos cátions, as águas da foz do rio Jundiá variou bastante, durante o período estudado, sendo que a porcentagem de Ca^{2+} variou de 30 a 50%, como também de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (entre 40 e 70%),

Dessa forma, as características minerais das águas junto a nascente e foz do rio Jundiá permitiram classificá-las como sódico-bicarbonatadas, similar às bacias dos rios Tietê, Piracicaba e Sorocaba (BORTOLETTO JUNIOR, 2004; FERNANDEZ, 2012).

Na Figura 74 podem ser verificados os diagramas ternários referentes às estações de amostragem CAP0 (Nascente do rio Capivari) e CAP1 (Foz do rio Capivari).

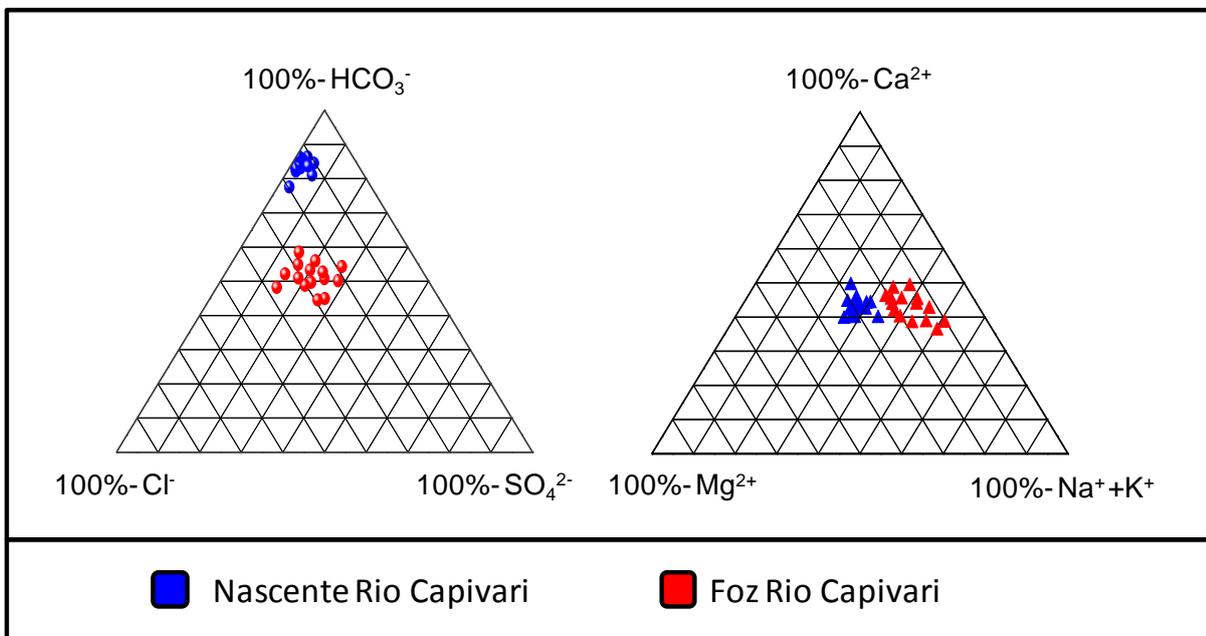


Figura 74 - Diagramas ternários de cátions e ânions dissolvidos nas águas do rio Capivari justo a nascente (CAP0) e foz (CAP1), para o período estudado.

Foi possível observar, nas regiões de nascente e foz do rio Capivari, que as composições químicas das águas apresentaram uma distribuição similar de porcentagem de cátions, porem o mesmo não ocorreu para os ânions. Para CAP0 o ânion principal foi o HCO_3^- , correspondendo a 90% dos ânions determinados, em relação aos cátions o Ca^{2+} foi o elemento mais representativo, correspondendo a aproximadamente 50% dos cátions, seguido pelos Mg^{2+} (30 a 40%). Na estação de amostragem CAP1, o anion principal também foi o HCO_3^- (entre 50 e 60%),

porém em porcentagem menor do que na região de nascente, em relação aos ânions, as porcentagens dos elementos foram similar a área de nascente, sendo que o Ca^{2+} correspondeu a aproximadamente 50% dos cátions, seguido pelos Mg^{2+} (30 a 40%).

Assim como no rio Jundiáí, o rio Capivari apresentou águas com características minerais similares tanto na nascente como na foz permitindo classificá-las como sódico-bicarbonatadas

5.3.7 Transporte fluvial da carga dissolvida

Os transportes das principais espécies químicas dissolvidas presentes nas águas dos rios Jundiáí e Capivari foram calculados pelos métodos estocásticos e determinísticos de acordo com os itens 4.5.7.1 e 4.5.7.2, respectivamente, sendo os resultados apresentados nas Tabelas 29 e 30, em termos de transporte total (kg d^{-1}) e transporte específico ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Tabela 29 - Transporte Fluvial Total (T_D , em kg d^{-1}) e Transporte Fluvial Específico (T_{DE} em $\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$) calculado pelo método estocástico para as principais espécies químicas dissolvidas nos rios Jundiáí e Capivari, nas respectivas estações de amostragem, para o período estudado.

Transporte das Espécies Químicas Dissolvidas nos Rios Jundiáí e Capivari por Estação de Amostragem								
Método Estocástico								
Espécies Químicas	Nascente Jundiáí (JUN0)		Foz Jundiáí (JUN1)		Nascente Capivari (CAP0)		Foz Capivari (CAP1)	
	T (kg d^{-1})	T_E ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T (kg d^{-1})	T_E ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T (kg d^{-1})	T_E ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T (kg d^{-1})	T_E ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Ca^{2+}	3378,44	15,99	67663,42	60,74	44,41	0,52	90514,85	55,84
Mg^{2+}	463,40	2,19	10749,09	9,65	19,16	0,23	23225,54	14,33
Na^+	1438,41	6,81	88116,98	79,10	22,30	0,26	70485,66	43,48
K^+	1125,12	5,33	23466,92	21,06	18,60	0,22	37673,63	23,24
NH_4^+	----	----	3334,62	2,99	----	----	1421,60	0,88
SiO_2	3897,97	18,45	48997,61	43,98	81,23	0,96	73171,35	45,14
HCO_3^-	8713,91	41,25	206488,80	185,35	219,39	2,58	246277,70	151,94
Cl^-	962,23	4,56	74148,25	66,56	20,12	0,24	73437,24	45,31
NO_3^-	645,49	3,06	20550,03	18,45	7,87	0,09	26992,63	16,65
SO_4^{2-}	585,35	2,77	58648,30	52,65	7,40	0,09	85954,95	53,03
PO_4^{3-}	37,13	0,18	623,06	0,56	1,72	0,02	625,95	0,39

Tabela 30 - Transporte Fluvial Total (T_D , em Kg d^{-1}) e Transporte Fluvial Específico (T_{DE} em $\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$) calculado pelo método determinístico para as principais espécies químicas dissolvidas nos rio Jundiá e Capivari, nas respectivas estações de amostragem, para o período estudado.

Transporte das Espécies Químicas Dissolvidas nos Rios Jundiá e Capivari por Estação de Amostragem								
Método Determinístico								
Espécies Químicas	Nascente Jundiá (JUN0)		Foz Jundiá (JUN1)		Nascente Capivari (CAP0)		Foz Capivari (CAP1)	
	T_D (kg d^{-1})	T_{DE} ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T_D (kg d^{-1})	T_{DE} ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T_D (kg d^{-1})	T_{DE} ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T_D (kg d^{-1})	T_{DE} ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Ca^{2+}	1218,30	5,77	27638,02	24,81	23,70	0,28	102707,31	63,36
Mg^{2+}	115,07	0,54	6216,42	5,58	5,79	0,07	17222,50	10,63
Na^+	1059,19	5,01	112076,52	100,60	13,95	0,16	117235,77	72,33
K^+	913,27	4,32	16474,40	14,79	10,42	0,12	17835,59	11,00
NH_4^+	-----	-----	5324,83	4,03	-----	-----	2140,60	1,32
SiO_2	1764,36	8,35	30422,09	27,31	33,97	0,40	42286,64	26,09
HCO_3^-	2476,83	11,73	225388,53	202,32	83,27	0,98	300878,59	185,62
Cl^-	542,37	2,57	98834,15	88,72	11,66	0,14	105210,10	64,91
NO_3^-	492,67	2,33	14205,69	12,75	6,89	0,08	31787,38	19,61
SO_4^{2-}	340,21	1,61	41395,67	37,16	15,44	0,18	72198,42	44,54
PO_4^{3-}	47,21	0,22	690,80	0,62	-----	-----	1737,15	1,07

De forma geral, os resultados de transportes fluviais específicos obtidos pelos métodos estocástico e determinístico apresentaram diferenças significativas entre valores calculados. Os elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , SiO_2 , HCO_3^- , NO_3^- e SO_4^{2-} mostraram valores de transportes específicos maiores quando calculados pelo método estocástico, já os demais elementos (Na^+ e Cl^-), nas estações JUN1 (foz do rio Jundiá) e CAP1 (foz do rio Capivari) os valores foram maiores quando calculados pelo método determinístico.

Como pode ser visto na Figura 75, embora os resultados obtidos pelos dois métodos empregados para o cálculo do transporte das cargas dissolvidas tenham mostrado similaridade, o método estocástico pareceu superestimar o transporte total, na área de nascente dos rios Jundiá e Capivari, assim como ocorreu no cálculo de transporte de FSS (item 5.2.3).

Cabe destacar que o método estocástico depende da representatividade da vazão média ao longo da hidrografa, sendo que para estudos que não são de monitoramentos diários não é o método ideal a ser utilizado para cálculo do transporte. Apesar de apresentarem distinções entre os valores do transporte específico calculado pelo método estocástico e determinístico, foi possível verificar a importante participação do HCO_3^- na carga fluvial transportada, tanto nas regiões de

nascente e foz, dos rios Jundiá e Capivari, seguido pelos transportes de SiO_2 , Na^+ , Ca^{2+} e Cl^- , que apresentaram ordens diferentes de importância específicas para cada estação de amostragem estudada. Para as duas bacias estudadas as regiões de nascentes apresentaram valores inferiores às regiões de foz, demonstrando a entrada dessas espécies químicas, por aportes pontuais ou difusos, ao longo dos rios Jundiá e Capivari.

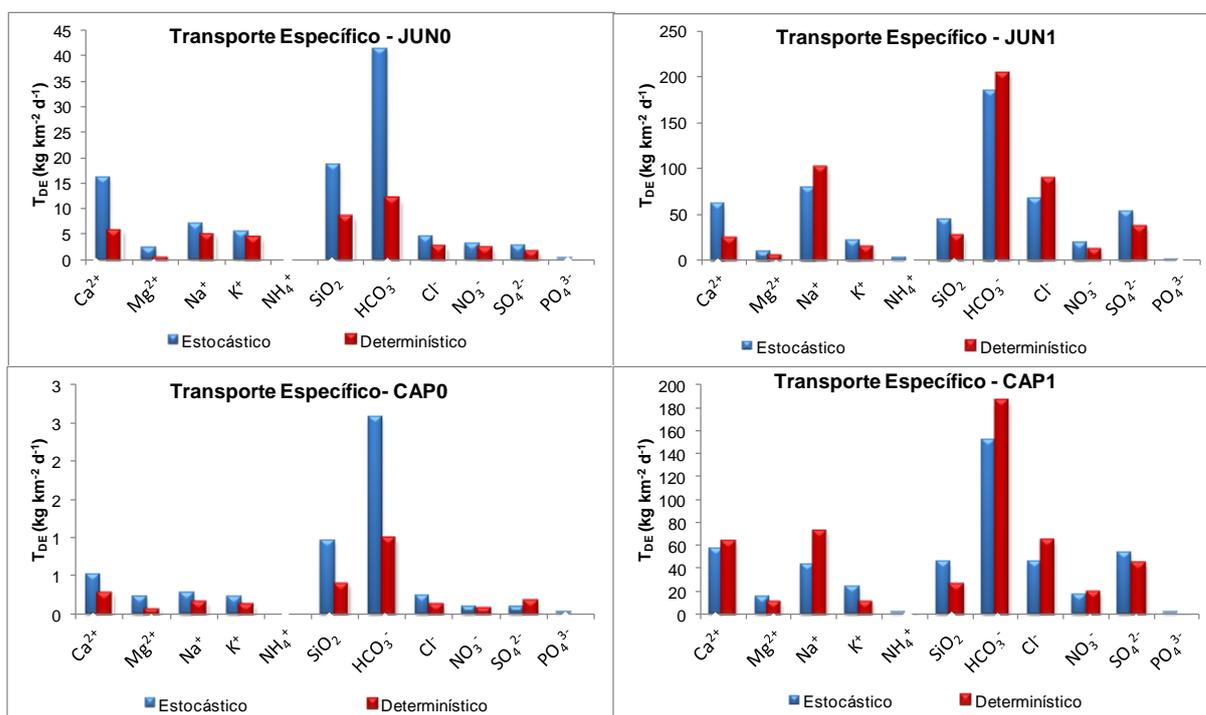


Figura 75 - Comparação entre os transportes fluviais totais calculados de acordo com os métodos estocástico e determinístico para as principais espécies químicas dissolvidas, por estação de amostragem dos rios Jundiá (JUN0 – Nascente do Jundiá e JUN1 – Foz do Jundiá) e Capivari (CAP0 – Nascente do Capivari e CAP1 – Foz do Capivari)

Os resultados de transporte específico (T_{DE}) obtidos para as regiões de foz dos rios Jundiá (JUN1) e Capivari (CAP1) foram comparados com valores obtidos nas regiões de foz dos rios Tietê (rio receptor das águas dos rios Jundiá e Capivari) e Piracicaba determinados por Bortoletto Junior (2004) e Vendramini (2013) e rio Sorocaba (FERNANDES, 2012) conforme pode ser visto na Figura 76.

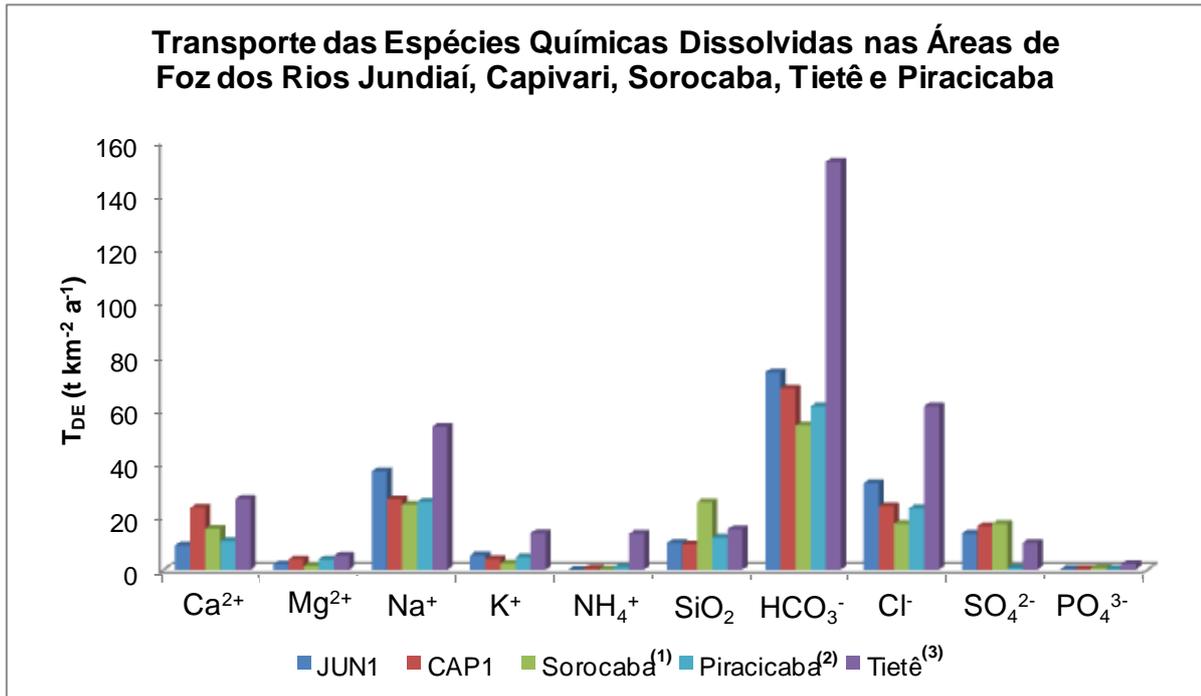


Figura 76 - Transportes específicos (T_{DE}) observados para os rios Jundiáí, Capivari, Sorocaba⁽¹⁾ (FERNANDES, 2012), Piracicaba⁽²⁾ (VENDRAMINI, 2013) e Tietê⁽³⁾ (BORTOLETTO, 2004)

Em termos comparativos, os transportes específicos das espécies químicas dissolvidas, das bacias dos rios Jundiáí e Capivari, obtidos no presente trabalho pelo método determinístico, se mostraram superiores, para as espécies Na⁺, K⁺, HCO₃⁻ e Cl⁻, aos verificados nas bacias dos rios Sorocaba e Piracicaba, bacias próximas às áreas de estudo e consideradas tão antropizadas quanto às do presente estudo. Os transportes específicos de todos os elementos químicos dissolvidos calculados para as bacias do Jundiáí e Capivari foram menores do que os valores determinados para o rio Tietê.

5.3.8 Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) e respectivas assinaturas isotópicas

Com o intuito de aprofundar o estudo das principais espécies químicas dissolvidas nas águas, nas nascentes e foz, dos rios Jundiáí e Capivari, também foram considerados o nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) e o carbono orgânico dissolvido (COD), de acordo com descrito no item 4.5.8. Nas Tabelas 31 a 34 é

possível verificar os resultados obtidos por estação de amostragem, JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, das concentrações de COD e NOD, assim como os valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e as vazões instantâneas.

Tabela 31 - Resultados das análises químicas (mg L^{-1}) e isotópicas do Carbono Orgânico Dissolvido ($\delta^{13}\text{COD}$) e Nitrogênio Orgânico Dissolvido ($\delta^{15}\text{NOD}$) presentes nas amostras de água da nascente do rio Jundiá (JUN0) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COD, NOD, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

Nascente Rio Jundiá- JUN0						
Amostras	Excursão	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	COD		NOD	
			mg L^{-1}	$\delta^{13}\text{C}$	mg L^{-1}	$\delta^{15}\text{N}$
JUN0-1	19/04/2011	2,10	-----	-----	-----	-----
JUN0-2	17/05/2011	3,50	3,85	-24,77	1,41	6,71
JUN0-3	14/06/2011	2,30	4,00	-24,97	1,59	8,69
JUN0-4	19/07/2011	1,90	3,23	-26,06	1,69	7,22
JUN0-5	30/08/2011	1,30	4,50	-24,51	2,50	3,90
JUN0-6	20/09/2011	1,10	4,20	-24,92	4,38	7,50
JUN0-7	01/11/2011	1,50	4,62	-24,18	2,42	9,43
JUN0-8	11/12/2011	2,60	3,60	-24,68	2,89	2,01
JUN0-9	17/01/2012	4,30	3,20	-24,6	1,83	2,05
JUN0-10	18/01/2012	13,50	1,00	-23,15	0,70	3,85
JUN0-11	16/02/2012	1,60	-----	-----	-----	-----
JUN0-12	20/06/2012	1,30	-----	-----	-----	-----
JUN0-13	28/08/2012	6,60	2,50	-24,3	1,54	3,55
JUN0-14	26/11/2012	1,50	2,43	-24,28	1,37	4,77
JUN0-15	16/12/2012	9,50	1,50	-23,54	0,53	-----
		C_{MNQ}	2,61	-24,50	1,90	5,43
		DP_{MNQ}	1,16	0,73	1,04	2,60
		Máximo	4,62	-23,15	4,38	9,43
		Mínimo	1,00	-26,06	0,53	2,01

Tabela 32 - Resultados das análises químicas (mg L^{-1}) e isotópicas do Carbono Orgânico Dissolvido ($\delta^{13}\text{COD}$) e Nitrogênio Orgânico Dissolvido ($\delta^{15}\text{NOD}$) presentes nas amostras de água da foz do rio Jundiaí (JUN1) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COD, NOD, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

Foz Rio Jundiaí- JUN1						
Amostras	Excursão	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	COD		NOD	
			mg L^{-1}	$\delta^{13}\text{C}$	mg L^{-1}	$\delta^{15}\text{N}$
JUN1-1	19/04/2011	21,00	6,63	-23,72	7,01	6,60
JUN1-2	17/05/2011	29,30	5,79	-22,00	6,15	12,01
JUN1-3	14/06/2011	26,90	4,50	-22,60	4,50	6,26
JUN1-4	19/07/2011	21,00	6,60	-22,30	5,91	-----
JUN1-5	30/08/2011	18,00	5,00	-22,84	14,23	6,29
JUN1-6	20/09/2011	14,10	7,00	-22,25	15,91	5,50
JUN1-7	01/11/2011	23,80	5,46	-22,21	4,05	8,80
JUN1-8	11/12/2011	64,40	-----	-----	-----	-----
JUN1-9	17/01/2012	76,40	4,00	-23,61	2,31	
JUN1-10	18/01/2012	71,30	6,00	-24,88	3,74	6,56
JUN1-11	16/02/2012	41,20	5,20	-21,66	2,32	7,66
JUN1-12	20/06/2012	75,70	4,80	-21,09	3,09	0,64
JUN1-13	28/08/2012	26,80	6,12	-22,93	3,50	-----
JUN1-14	26/11/2012	27,80	-----	-----	-----	-----
JUN1-15	16/12/2012	150,00	1,50	-22,92	2,40	-----
		C_{MNQ}	3,88	-22,69	5,78	6,70
		DP_{MNQ}	1,44	0,98	4,40	3,00
		Máximo	7,00	-21,09	15,91	12,01
		Mínimo	1,50	-24,88	2,31	0,64

Tabela 33 - Resultados das análises químicas (mg L^{-1}) e isotópicas do Carbono Orgânico Dissolvido ($\delta^{13}\text{COD}$) e Nitrogênio Orgânico Dissolvido ($\delta^{15}\text{NOD}$) presentes nas amostras de água da nascente do rio Capivari (CAP0) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COD, NOD, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

Nascente Rio Capivari - CAP0						
Amostras	Excursão	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	COD		NOD	
			mg L^{-1}	$\delta^{13}\text{C}$	mg L^{-1}	$\delta^{15}\text{N}$
CAP0-1	19/04/2011	0,07	-----	-----	-----	-----
CAP0-2	17/05/2011	0,06	2,49	-24,32	1,80	6,90
CAP0-3	14/06/2011	0,09	2,66	-19,75	1,46	7,00
CAP0-4	19/07/2011	0,05	2,30	-25,55	1,90	6,63
CAP0-5	30/08/2011	0,05	3,60	-21,66	1,60	8,74
CAP0-6	20/09/2011	0,04	3,10	-24,00	1,78	1,54
CAP0-7	01/11/2011	0,04	3,71	-23,58	2,69	0,24
CAP0-8	11/12/2011	0,15	2,80	-22,21	1,53	-----
CAP0-9	17/01/2012	0,08	3,47	-24,02	1,49	-----
CAP0-10	18/01/2012	0,08	3,70	-24,25	1,48	-----
CAP0-11	16/02/2012	0,06	2,60	-23,60	2,18	-----
CAP0-12	20/06/2012	0,32	1,10	-22,57	1,00	-----
CAP0-13	28/08/2012	0,10	2,51	-25,38	1,75	-----
CAP0-14	26/11/2012	0,05	2,92	-22,72	2,29	-----
CAP0-15	16/12/2012	0,18	2,20	-21,86	1,45	2,95
		C_{MNQ}	2,40	-23,25	1,50	5,18
		DP_{MNQ}	0,71	1,57	0,42	3,24
		Máximo	3,71	-19,75	2,69	8,74
		Mínimo	1,10	-25,55	1,00	0,24

Tabela 34 - Resultados das análises químicas (mg L^{-1}) e isotópicas do Carbono Orgânico Dissolvido ($\delta^{13}\text{COD}$) e Nitrogênio Orgânico Dissolvido ($\delta^{15}\text{NOD}$) presentes nas amostras de água da foz do rio Capivari (CAP1) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos de COD, NOD, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

Foz Rio Capivari - CAP1						
Amostras	Excursão	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	COD		NOD	
			mg L^{-1}	$\delta^{13}\text{C}$	mg L^{-1}	$\delta^{15}\text{N}$
CAP1-1	19/04/2011	23,30	10,50	-23,1	7,53	9,09
CAP1-2	17/05/2011	20,90	6,00	-21,21	3,92	14,00
CAP1-3	14/06/2011	32,40	3,80	-22,08	5,62	9,30
CAP1-4	19/07/2011	14,00	8,00	-24,73	16,33	8,93
CAP1-5	30/08/2011	16,00	7,00	-24,18	7,55	13,86
CAP1-6	20/09/2011	10,40	9,00	-24,21	12,04	12,59
CAP1-7	01/11/2011	45,30	5,58	-22,16	8,88	9,98
CAP1-8	11/12/2011	117,80	3,59	-19,36	4,26	6,96
CAP1-9	17/01/2012	105,10	5,05	-20,74	5,05	6,52
CAP1-10	18/01/2012	167,20	5,00	-20,38	1,93	6,67
CAP1-11	16/02/2012	131,50	4,00	-22,23	4,25	3,23
CAP1-12	20/06/2012	141,50	6,02	-20,34	3,52	3,53
CAP1-13	28/08/2012	16,10	7,50	-22,93	11,11	10,96
CAP1-14	26/11/2012	18,80	5,50	-24,65	7,51	3,66
CAP1-15	16/12/2012	280,00	-----	-----	-----	-----
		C_{MNQ}	5,32	-22,31	4,84	8,52
		DP_{MNQ}	2,02	1,74	3,94	3,62
		Máximo	10,50	-19,36	16,33	14,00
		Mínimo	3,59	-24,73	1,93	3,23

Para a estação de amostragem JUN0 (Tabela 31), nascente do rio Jundiaí, foi possível verificar que a concentração média normalizada pela vazão do COD foi de $2,61 \text{mg L}^{-1}$. O valor médio do teor isotópico do $\delta^{13}\text{C}$ do COD, observado se se mostrou na ordem de $-24,50\text{‰}$, apresentando pouca variação e evidenciando possíveis influências antrópica urbana, devido aos valores próximos a -23‰ que é o valor de referencia isotópico associado aos efluentes domésticos (MORTATTI et al., 2004). Vale destacar que mesmo sendo área de nascente, essa região possui propriedades no entorno que não possuem sistema de coleta e tratamento de esgoto. Aspectos semelhantes foram verificados na foz do rio Jundiaí (JUN1), onde foi verificado uma concentração média normalizada pela vazão de COD de

3,88 mg L⁻¹, em termos isotópicos o valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ dos COD foi de -22,69‰, não distanciando muito do valor de referência de efluentes domésticos urbanos.

A concentração média normalizada pelas vazões de NOD para a estação JUN0 foi de 1,90 mg L⁻¹ e o valor médio isotópico de $\delta^{15}\text{N}$ foi de 5,43, confirmando a influência antrópica já verificada com os teores isotópicos do $\delta^{13}\text{C}$, enquadrando-se a faixa de referência isotópica para excreções humanas e de animais (5 a 10‰), estabelecidos na literatura (ARAVENA et al., 1993; MORTATTI et al., 2000 e FERNANDES, 2012). O mesmo ocorre na área de foz do rio Jundiaí onde as concentração média normalizada pela vazão de NOD foi de 5,78 mg L⁻¹ e valores médios isotópicos de 6,70‰, possuindo também valores próximos ao valor de referência antrópica. Vale destacar que as concentrações isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ entre 0 a 3‰ estão associados a nitrogênio mineral, principalmente de fertilizantes nitrogenados (FERNANDES, 2012).

Na nascente do rio Capivari (CAP0) o valor médio normalizado pela vazão de COD foi de 2,40 mg L⁻¹ sendo menor do que o observado no rio Jundiaí, em relação ao teor isotópico $\delta^{13}\text{C}$ do DOC, a média determinada foi de -23,25‰, bastante similar a bacia do rio Jundiaí. Para a foz do rio Capivari (CAP1) o valor médio normalizado pela vazão de COD foi de apresentou valores maiores de concentração de COD foi de 5,32 mg L⁻¹ e a média calculada para o teor isotópico do $\delta^{13}\text{C}$ do COD foi de -22,31‰, demonstrando que para toda a bacia do rio Capivari, tanto na área de nascente como na área de foz, ocorre contribuição de esgoto doméstico lançado sem tratamento prévio. As concentrações médias de NOD normalizadas pelas vazões, para a estação CAP0 e CAP1, foram de 1,50 e 4,84 mg L⁻¹, respectivamente. Os valores médios isotópicos ($\delta^{15}\text{N}$) dos NOD, para CAP0 e CAP1 foram de 5,18 e 8,52‰, respectivamente, próximos aos parâmetros de referência para excreções humanas e animais.

As Figuras 77 e 78, ilustram os comportamentos do carbono orgânico dissolvido (DOC) e do nitrogênio orgânico dissolvido (NOD), respectivamente em função das vazões instantâneas medidas nas estações de amostragens dos rios Jundiaí e Capivari, sendo evidenciado um padrão de diluição, seguindo o modelo de potência altamente significativo ($p < 0,01$), clássico para rios de médio porte (MORTATTI et al., 2006), onde as maiores concentrações se mostraram associadas

as menores vazões, similarmente ao verificado para as principais espécies químicas dissolvidas.

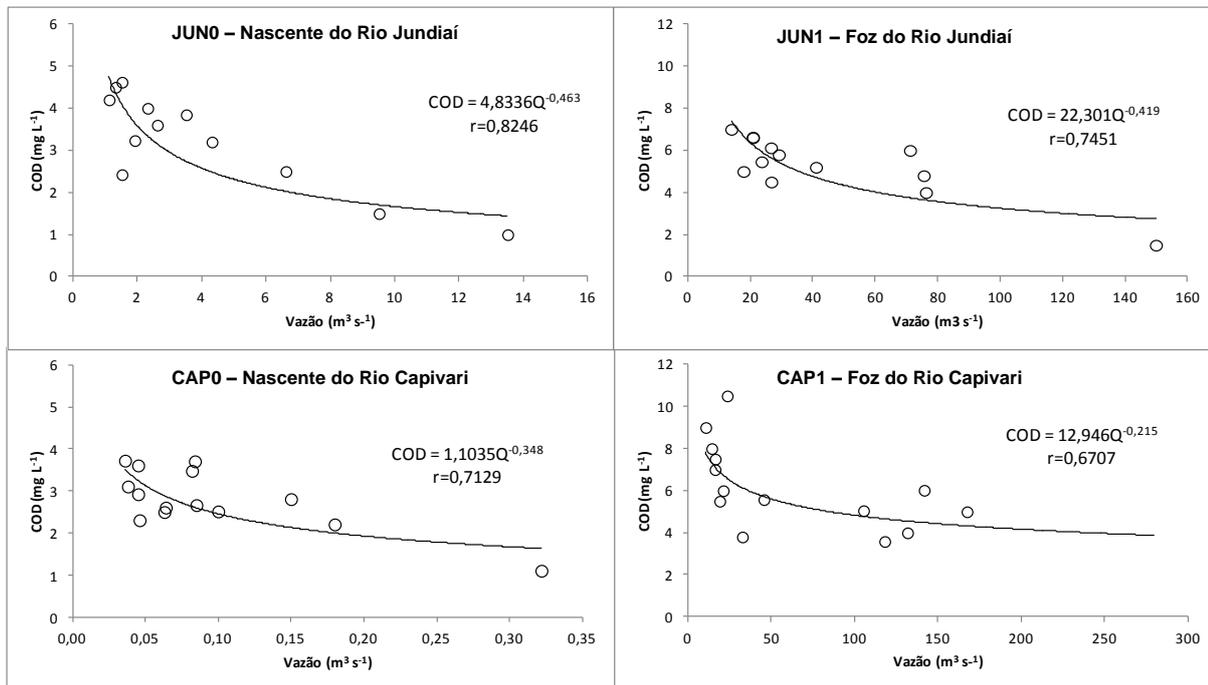


Figura 77 - Relacionamentos entre COD (mg L⁻¹) e Vazões instantâneas (m³ s⁻¹) para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.

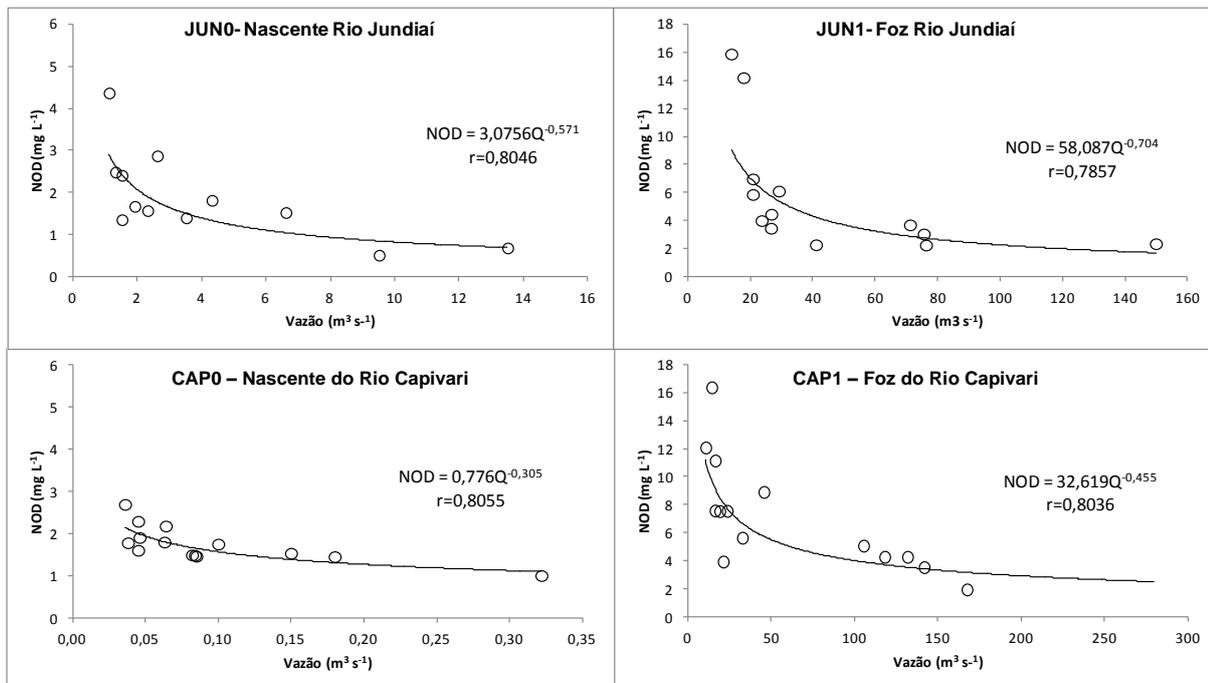


Figura 78 - Relacionamentos entre NOD (mg L⁻¹) e Vazões instantâneas (m³ s⁻¹) para as estações JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, no período estudado.

A Figura 79 ilustra os relacionamentos entre as concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) e seus respectivos valores isotópicos nas águas fluviais dos rios Jundiaí e Capivari em suas estações de amostragem.

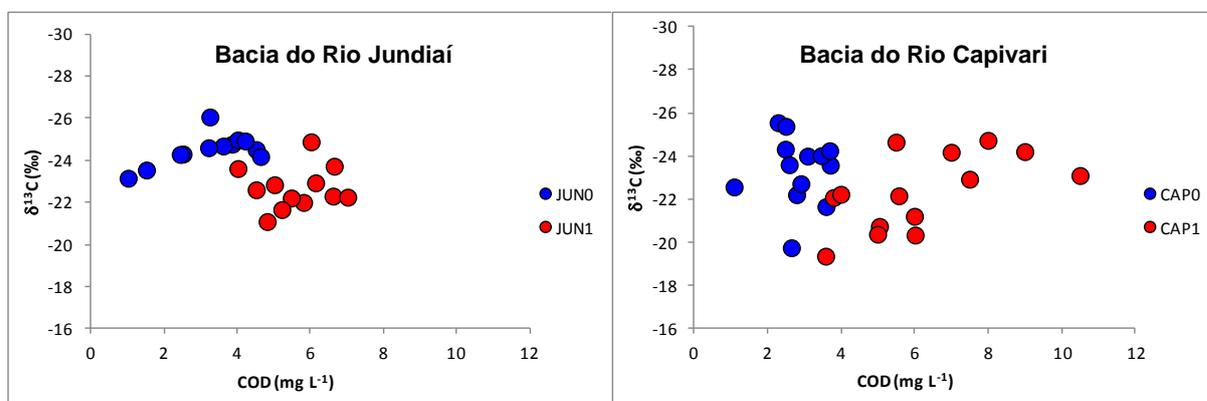


Figura 79 - Relacionamentos entre COD (mg L^{-1}) e $\delta^{13}\text{C}$ (‰) para as estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado.

As concentrações isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$, para a nascente do rio Jundiaí (JUN0) não apresentaram variações significativas em função das concentrações de COD, se mostrando próximas a -23‰ (efluentes domésticos), conforme discutido anteriormente. Para a foz (JUN1), os valores de $\delta^{13}\text{C}$ se apresentaram mais variáveis em função do COD, mas em torno do mesmo valor de -23‰ , significando que a nascente e a foz sofrem influências antrópicas. No rio Capivari foi observado um padrão similar, tanto em CAP0 como em CAP1, no entanto para a foz do rio Capivari, os valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) do COD se mostraram mais enriquecidos durante os períodos de cheia (maiores vazões) onde ocorreram as menores concentrações de COD (Figura 77). Nos períodos de seca (maiores concentrações de COD) as assinaturas isotópicas foram mais negativas, provavelmente associadas às influências antrópicas.

A Figura 80 ilustra o relacionamento entre COP e COD, para as estações próximas a foz dos rios Jundiaí (JUN1) e Capivari (CAP1), para o período estudado.

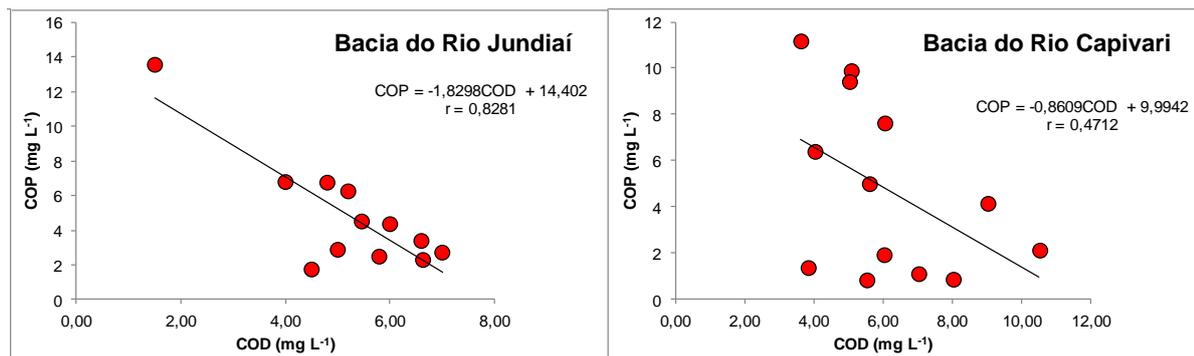


Figura 80. Relacionamentos entre COP (mg L^{-1}) e COD (mg L^{-1}) para as estações de amostragem, próximas as foz dos rios Jundiá (JUN1) e Capivari (CAP1), para o período estudado.

A estação CAP1 não apresentou comportamento significativo entre COP e DOC, porém para a estação JUN1 o modelo linear entre os carbonos particulado e dissolvido foi significativo ($p < 0,01$) evidenciando que quando ocorre a solubilização do carbono orgânico particulado, ou seja, a diminuição da concentração de COP simultaneamente ocorre um aumento do carbono orgânico dissolvido nas águas fluviais.

5.3.9 Outras espécies químicas dissolvidas de interesse

As concentrações dos principais metais dissolvidos presentes nas águas dos rios Jundiá e Capivari, nas estações de amostragem JUN0, JUN1, CAP0 e CAP1, podem ser observadas nas Tabelas 35 a 38. Destaca-se que da série de metais analisados, somente o Al, Cu, Fe, Mn, Sr e Zn apresentaram valores acima do limite de determinação.

Tabela 35 - Concentrações dos principais metais dissolvidos nas águas do rio Jundiaí, na nascente (JUN0) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos dos metais, para o período estudado.

Excursão	Data	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	(mg L ⁻¹)										
			Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
JUN 0-1	19/04/2011	2,09	0,14	<LD	<LD	<LD	<LD	1,60	0,08	<LD	<LD	0,05	<LD
JUN 0-2	17/05/2011	3,50	0,07	<LD	<LD	<LD	0,006	1,31	0,06	<LD	<LD	0,05	<LD
JUN 0-3	14/06/2011	2,30	0,06	<LD	<LD	<LD	<LD	1,12	0,05	<LD	<LD	0,05	<LD
JUN 0-4	19/07/2011	1,90	<LD	<LD	<LD	<LD	0,003	0,83	0,03	<LD	<LD	0,05	<LD
JUN 0-5	30/08/2011	1,30	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,96	0,06	<LD	<LD	0,06	<LD
JUN 0-6	20/09/2011	1,10	<LD	<LD	<LD	<LD	0,003	0,82	0,04	<LD	<LD	0,06	<LD
JUN 0-7	01/11/2011	1,47	0,05	<LD	<LD	<LD	0,005	1,18	0,07	<LD	<LD	0,06	<LD
JUN 0-8	11/12/2011	2,58	0,58	<LD	<LD	<LD	0,006	2,38	0,14	<LD	<LD	0,06	<LD
JUN 0-9	17/01/2012	4,30	1,01	<LD	<LD	<LD	0,008	2,60	0,15	<LD	<LD	0,05	<LD
JUN 0-10	18/01/2012	13,50	4,37	<LD	<LD	<LD	0,014	4,91	0,25	<LD	<LD	0,06	<LD
JUN 0-11	16/02/2012	1,60	0,18	<LD	<LD	<LD	0,008	1,62	0,08	<LD	<LD	0,07	<LD
JUN 0-12	20/06/2012	6,60	1,56	<LD	<LD	<LD	<LD	4,60	0,30	<LD	<LD	0,06	<LD
JUN 0-13	28/08/2012	1,30	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,72	0,04	<LD	<LD	0,05	<LD
JUN 0-14	26/11/2012	1,45	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,63	0,19	<LD	<LD	0,06	<LD
JUN 0-15	16/12/2012	9,47	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,11	<LD	<LD	<LD	0,07	<LD
		C_{MNQ}	1,40	----	----	----	0,007	2,48	0,14	----	----	0,06	----
		DP_{MNQ}	2,09	----	----	----	0,004	2,23	0,13	----	----	0,01	----
		Máximo	4,37	----	----	----	0,014	4,91	0,30	----	----	0,07	----
		Mínimo	0,05	----	----	----	0,003	0,11	0,03	----	----	0,05	----

Limite de determinação: Al 0,020 mg L⁻¹, Co 0,005 mg L⁻¹, Cd 0,005 mg L⁻¹, Cr 0,005 mg L⁻¹, Cu 0,002 mg L⁻¹, Fe 0,020 mg L⁻¹, Mn 0,002 mg L⁻¹, Ni 0,005 mg, Pb 0,050 mg L⁻¹, Sr 0,01 mg L⁻¹ e Zn 0,001 mg L⁻¹.

Tabela 36 - Concentrações dos principais metais dissolvidos nas águas do rio Jundiaí, na foz (JUN1) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos dos metais, para o período estudado.

Excursão	Data	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	(mg L ⁻¹)										
			Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
JUN 1-1	19/04/2011	21,00	0,36	<LD	<LD	<LD	0,004	1,97	0,11	<LD	<LD	0,08	0,008
JUN 1-2	17/05/2011	29,30	0,32	<LD	<LD	<LD	0,007	2,25	0,17	<LD	<LD	0,10	0,008
JUN 1-3	14/06/2011	26,91	0,29	<LD	<LD	<LD	0,004	1,61	0,09	<LD	<LD	0,08	0,007
JUN 1-4	19/07/2011	21,00	0,14	<LD	<LD	<LD	0,004	1,58	0,13	<LD	<LD	0,08	0,007
JUN 1-5	30/08/2011	18,00	0,30	<LD	<LD	<LD	0,004	1,27	0,09	<LD	<LD	0,09	0,006
JUN 1-6	20/09/2011	14,10	0,16	<LD	<LD	<LD	0,003	0,90	0,11	<LD	<LD	0,10	<LD
JUN 1-7	01/11/2011	23,80	0,35	<LD	<LD	<LD	0,005	1,73	0,08	<LD	<LD	0,08	0,005
JUN 1-8	11/12/2011	64,38	1,57	<LD	<LD	<LD	0,013	4,17	0,21	<LD	<LD	0,07	0,012
JUN 1-9	17/01/2012	76,40	1,68	<LD	<LD	<LD	0,012	3,58	0,16	<LD	<LD	0,07	0,009
JUN 1-10	18/01/2012	71,30	0,34	<LD	<LD	<LD	0,009	0,58	0,12	<LD	<LD	0,09	0,007
JUN 1-11	16/02/2012	41,20	0,92	<LD	<LD	<LD	0,022	3,93	0,24	<LD	<LD	0,10	0,012
JUN 1-12	20/06/2012	75,70	1,32	<LD	<LD	<LD	0,014	3,66	0,19	<LD	<LD	0,06	<LD
JUN 1-13	28/08/2012	26,80	0,90	<LD	<LD	<LD	0,004	1,02	0,09	<LD	<LD	0,06	<LD
JUN 1-14	26/11/2012	27,80	1,95	<LD	<LD	<LD	0,005	0,30	0,04	<LD	<LD	0,08	<LD
JUN 1-15	16/12/2012	150,00	0,21	<LD	<LD	<LD	0,026	0,03	0,09	<LD	<LD	0,04	<LD
		C_{MNQ}	0,79	----	----	----	0,013	1,92	0,15	----	----	0,07	0,005
		DP_{MNQ}	0,63	----	----	----	0,008	1,60	0,05	----	----	0,02	0,005
		Máximo	1,95	----	----	----	0,026	4,17	0,24	----	----	0,10	0,012
		Mínimo	0,14	----	----	----	0,003	0,03	0,04	----	----	0,04	0,005

Limite de determinação: Al 0,020 mg L⁻¹, Co 0,005 mg L⁻¹, Cd 0,005 mg L⁻¹, Cr 0,005 mg L⁻¹, Cu 0,002 mg L⁻¹, Fe 0,020 mg L⁻¹, Mn 0,002 mg L⁻¹, Ni 0,005 mg, Pb 0,050 mg L⁻¹, Sr 0,01 mg L⁻¹ e Zn 0,001 mg L⁻¹.

Tabela 37 - Concentrações dos principais metais dissolvidos nas águas do rio Capivari, na nascente (CAP0) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos dos metais, para o período estudado.

Excursão	Data	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
CAP 0-1	19/04/2011	0,07	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,46	0,06	<LD	<LD	0,05	0,002
CAP 0-2	17/05/2011	0,06	<LD	<LD	0,01	<LD	<LD	1,11	0,05	<LD	<LD	0,04	<LD
CAP 0-3	14/06/2011	0,09	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,14	0,05	<LD	<LD	0,04	0,004
CAP 0-4	19/07/2011	0,05	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,21	0,04	<LD	<LD	0,05	0,003
CAP 0-5	30/08/2011	0,05	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,97	0,04	<LD	0,02	0,06	0,002
CAP 0-6	20/09/2011	0,04	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,05	0,03	<LD	<LD	0,06	0,003
CAP 0-7	01/11/2011	0,04	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,50	0,11	<LD	0,02	0,06	<LD
CAP 0-8	11/12/2011	0,15	0,34	<LD	<LD	<LD	0,005	2,32	0,09	<LD	<LD	0,05	0,004
CAP 0-9	17/01/2012	0,08	<LD	<LD	<LD	<LD	0,003	2,69	0,09	<LD	<LD	0,05	0,003
CAP 0-10	18/01/2012	0,08	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	2,53	0,08	<LD	<LD	0,05	0,003
CAP 0-11	16/02/2012	0,06	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,82	0,06	<LD	0,02	0,04	0,002
CAP 0-12	20/06/2012	0,32	0,49	<LD	<LD	0,01	<LD	3,58	0,12	<LD	<LD	0,04	<LD
CAP 0-13	28/08/2012	0,10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,04	0,03	<LD	<LD	0,04	<LD
CAP 0-14	26/11/2012	0,05	<LD	<LD	<LD	0,01	<LD	1,50	<LD	<LD	<LD	0,05	<LD
CAP 0-15	16/12/2012	0,18	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,65	<LD	<LD	<LD	0,04	<LD
	C_{MNQ}		0,42	----	----	----	0,004	2,15	0,08	----	----	0,05	0,003
	DP_{MNQ}		0,10	----	----	----	0,002	0,90	0,03	----	----	0,01	0,002
	Máximo		0,49	----	----	----	0,005	3,58	0,12	----	----	0,06	0,004
	Mínimo		0,34	----	----	----	0,003	1,04	0,03	----	----	0,04	0,002

Limite de determinação: Al 0,020 mg L⁻¹, Co 0,005 mg L⁻¹, Cd 0,005 mg L⁻¹, Cr 0,005 mg L⁻¹, Cu 0,002 mg L⁻¹, Fe 0,020 mg L⁻¹, Mn 0,002 mg L⁻¹, Ni 0,005 mg, Pb 0,050 mg L⁻¹, Sr 0,01 mg L⁻¹ e Zn 0,001 mg L⁻¹.

Tabela 38. Concentrações dos principais metais dissolvidos nas águas do rio Capivari, na foz (CAP1) e vazões instantâneas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), incluindo as concentrações normalizadas pelas vazões (C_{MNQ}), desvio padrão (DP_{MNQ}) e valores máximos e mínimos dos metais, para o período estudado.

Excursão	Data	Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
CAP 1-1	19/04/2011	23,30	0,14	<LD	<LD	<LD	<LD	2,38	0,20	<LD	<LD	0,11	0,007
CAP 1-2	17/05/2011	20,90	0,19	<LD	<LD	<LD	0,004	1,48	0,22	<LD	<LD	0,10	0,003
CAP 1-3	14/06/2011	32,40	0,15	<LD	0,01	<LD	<LD	1,26	0,14	<LD	<LD	0,09	0,006
CAP 1-4	19/07/2011	14,04	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	0,75	0,22	<LD	<LD	0,12	0,003
CAP 1-5	30/08/2011	15,99	0,02	<LD	0,01	<LD	0,008	0,57	0,38	<LD	<LD	0,13	0,002
CAP 1-6	20/09/2011	10,36	0,04	<LD	<LD	<LD	0,004	0,58	0,26	<LD	<LD	0,15	0,003
CAP 1-7	01/11/2011	45,30	1,12	<LD	0,01	<LD	0,009	3,53	0,60	<LD	<LD	0,12	0,009
CAP 1-8	11/12/2011	117,83	1,30	<LD	<LD	<LD	0,012	4,83	0,42	<LD	<LD	0,08	0,011
CAP 1-9	17/01/2012	105,10	2,19	<LD	<LD	<LD	0,010	5,42	0,36	<LD	<LD	0,09	0,009
CAP 1-10	18/01/2012	167,20	2,04	<LD	0,01	<LD	0,021	6,25	0,41	<LD	<LD	0,07	0,011
CAP 1-11	16/02/2012	131,48	0,59	<LD	0,01	<LD	0,008	2,89	0,21	<LD	<LD	0,06	0,007
CAP 1-12	20/06/2012	141,50	1,86	<LD	0,01	<LD	<LD	5,92	0,67	<LD	<LD	0,10	<LD
CAP 1-13	28/08/2012	16,10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,56	0,20	<LD	<LD	0,12	0,00
CAP 1-14	26/11/2012	18,80	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,16	0,08	<LD	<LD	0,13	0,010
CAP 1-15	16/12/2012	280,00	6,9	<LD	<LD	<LD	<LD	17,44	0,37	<LD	<LD	0,06	0,020
	C_{MNQ}		2,68	----	0,01	----	0,009	7,54	0,38	----	----	0,08	0,010
	DP_{MNQ}		2,50	----	0,01	----	0,005	5,92	0,15	----	----	0,02	0,007
	Máximo		6,88	----	0,01	----	0,021	17,44	0,67	----	----	0,15	0,020
	Mínimo		0,02	----	0,01	----	0,004	0,16	0,08	----	----	0,06	0,002

Limite de determinação: Al 0,020 mg L⁻¹, Co 0,005 mg L⁻¹, Cd 0,005 mg L⁻¹, Cr 0,005 mg L⁻¹, Cu 0,002 mg L⁻¹, Fe 0,020 mg L⁻¹, Mn 0,002 mg L⁻¹, Ni 0,005 mg, Pb 0,050 mg L⁻¹, Sr 0,01 mg L⁻¹ e Zn 0,001 mg L⁻¹.

Foi possível observar, nas áreas de nascente e foz dos rios Jundiá e Capivari, que entre os metais dissolvidos o elemento Fe foi o que apresentou as maiores concentrações. As concentrações médias normalizadas pelas vazões do Fe

determinados para as estações de amostragem JUN0 e JUN1, nascente e foz do rio Jundiá, foram de 2,48 e 1,92 mg L⁻¹, respectivamente, sendo que para todo o período estudado as concentrações se mostraram dentro da classificação de rios de Classe 3, como proposto pelo CONAMA 357, onde as águas podem ser destinadas ao consumo humano após tratamento avançado, porém é de suma importância esclarecer que utilizando a classificação dos rios não permite descrever a origem do Fe dissolvido, podendo ser de origem natural ou antrópica (Figura 81).

Para as estações de amostragem da nascente (CAP0) e foz (CAP1) do rio Capivari, verificou-se concentrações médias normalizadas pelas vazões de Fe dissolvidos de 2,15 e 7,54 mg L⁻¹, respectivamente, sendo que os valores de concentração sofreram variações ao longo do período estudado, conforme também pode ser observado na Figura 81, sendo que os valores determinados também enquadraram o rio Capivari na Classe 3. Vale destacar que a foz do rio Capivari (CAP1) foi o ponto de amostragem que apresentou as maiores concentrações de Fe principalmente nos período chuvoso onde a concentração chegou a 17,44 mg L⁻¹, tornando sua classificação como de rio Classe 4, podendo suas águas serem destinadas apenas para à navegação e harmonia paisagística, não podendo ser usado para consumo humano. As elevadas concentrações de Fe podem estar associadas aos processos erosivos mecânicos que ocorrem ao longo da bacia, como também às elevadas concentrações de matéria orgânica (COP e COD).

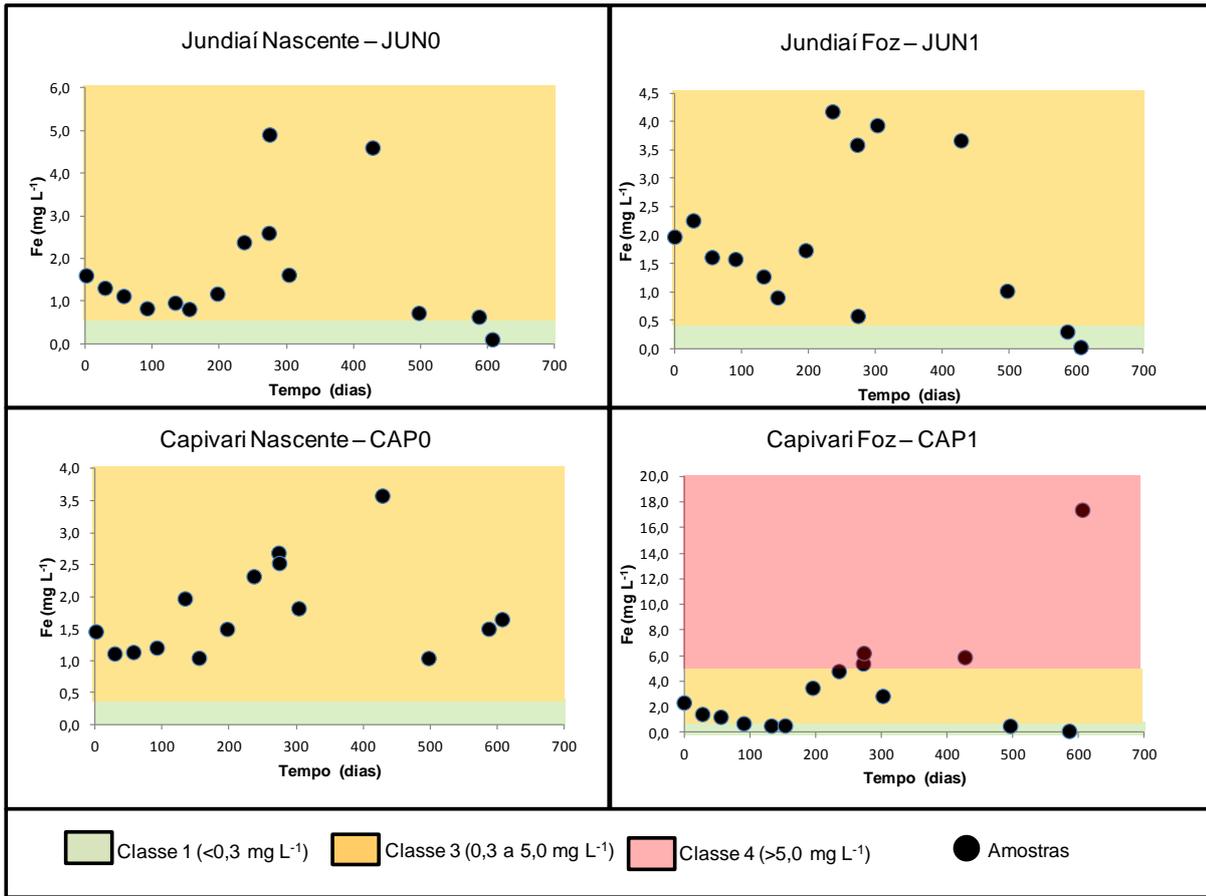


Figura 81 - Variabilidade temporal do Fe dissolvido, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiáí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.

Em relação ao Al foi possível verificar que para a estação de amostragem JUN0 (nascente Jundiáí) a concentração média normalizada pelas vazões foi de $1,40 \text{ mg L}^{-1}$, e para a foz (JUN1) foi de $0,79 \text{ mg L}^{-1}$. Da mesma forma que o Fe, as concentrações de Al foram elevadas principalmente nos períodos chuvosos, tanto na nascente como na foz do rio Jundiáí, como pode ser visto na Figura 82, podendo ser classificado como rio Classe 4. Possivelmente esses valores altos sejam associados a presença de aluminossilicatos presentes na bacia do rio Jundiáí. Para a estação de amostragem da foz do rio Capivari (CAP1), a concentração média de Al normalizada pelas vazões foi de $2,68 \text{ mg L}^{-1}$, e assim como no rio Jundiáí, ao observar a Figura 82, verificou-se o efeito da sazonalidade do Al ao longo do tempo estudado e a classificação do rio Capivari como Classe 4. A nascente do rio Capivari (CAP0) apresentou valores acima do limite de determinação apenas para duas coletas.

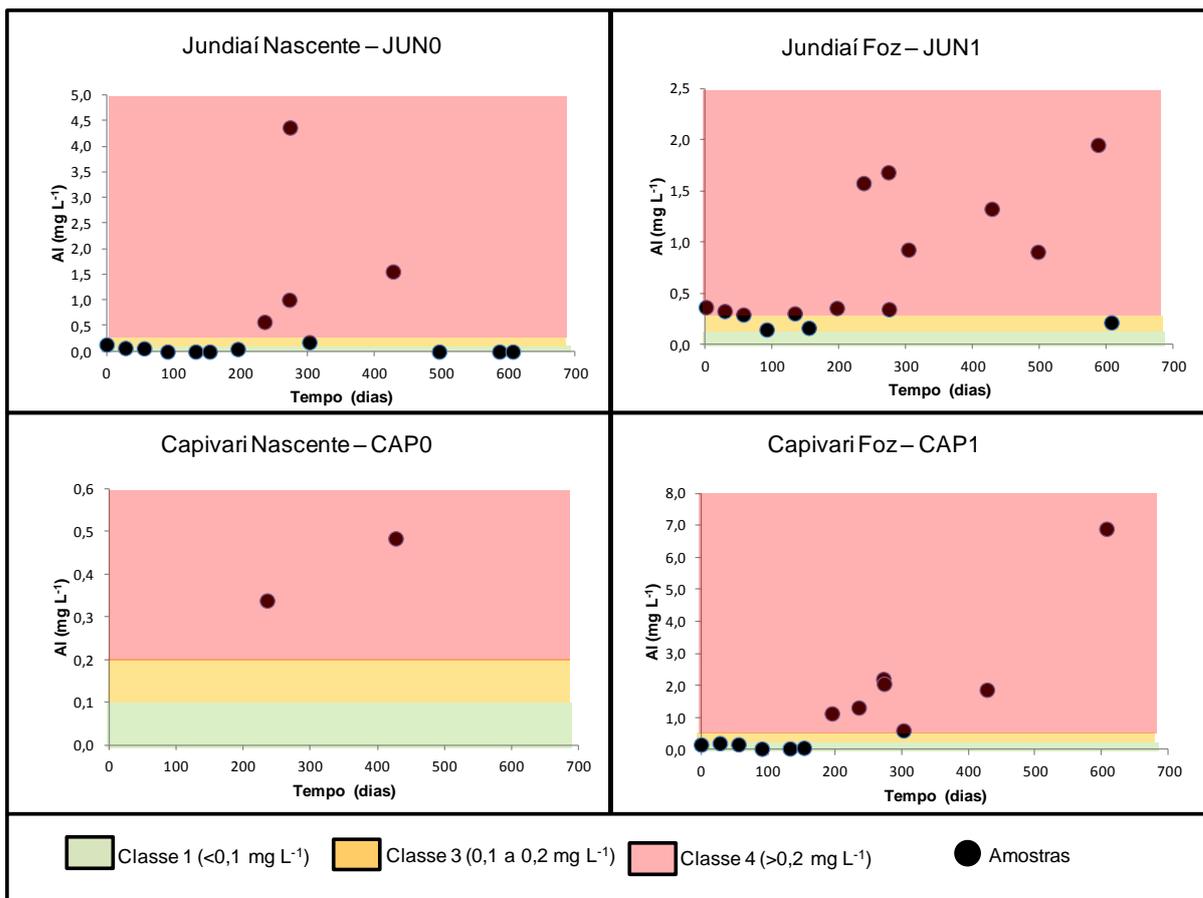


Figura 82 - Variabilidade temporal do Al dissolvido, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.

Os valores médios do Mn dissolvido, normalizados pelas vazões, para as estações de amostragem JUN0 (nascente) e JUN1 (foz), no rio Jundiaí, foram de 0,14 e 0,15 mg L⁻¹, sendo que os valores de concentração de Mn variaram bastante ao longo do período estudado, como pode ser visto na Figura 83, sendo que para os períodos de maiores concentrações o rio Jundiaí foi classificado como Classe 3, podendo suas águas ser destinadas ao consumo humano após tratamento avançado. Para a nascente do rio Capivari (CAP0) o valor médio de concentração de Mn normalizado pela vazão foi de 0,08 mg L⁻¹, sendo inferior ao determinado para a foz (CAP1) que foi de 0,38 mg L⁻¹, e ao observar a Figura 83, durante o período estudado, algumas concentrações mostraram-se elevadas, proporcionando a classificação do rio Capivari, em relação a Mn, como Classe 4.

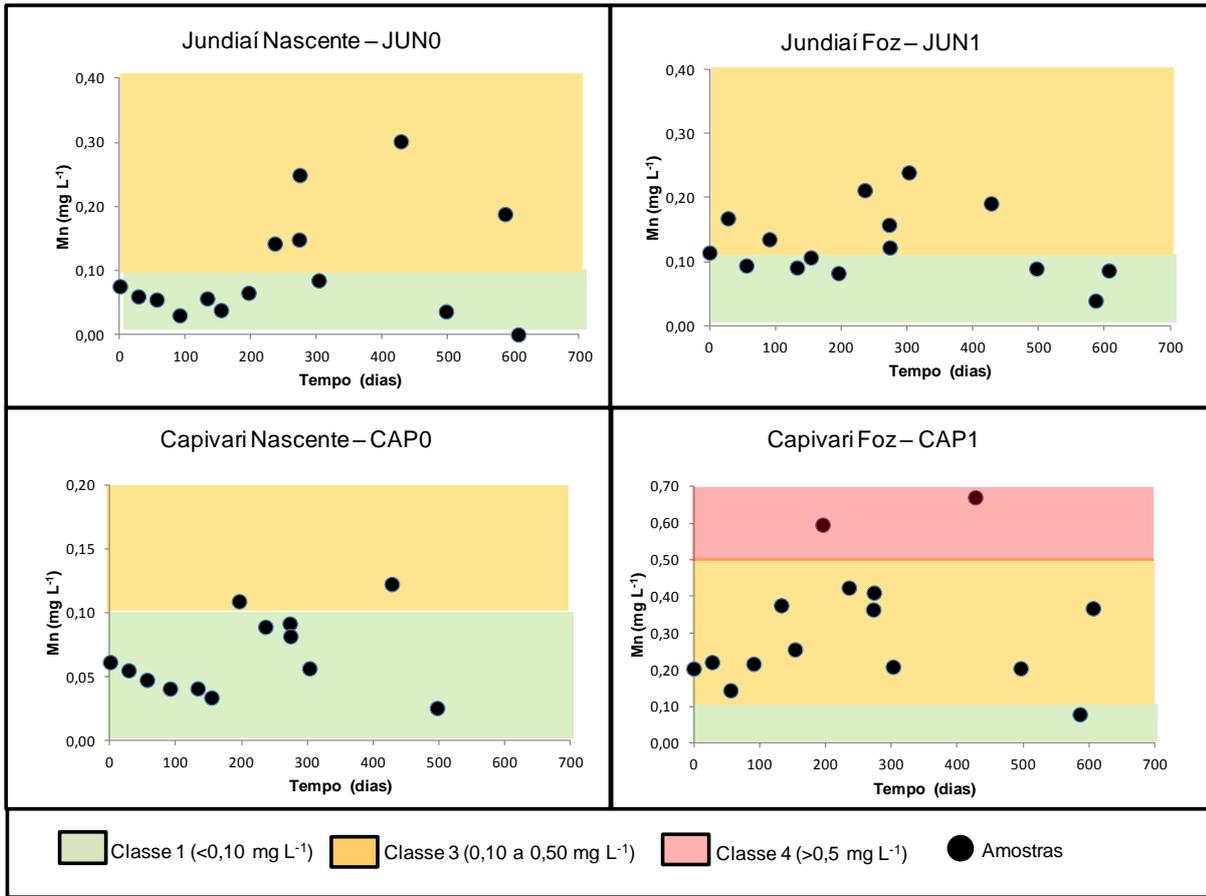


Figura 83 - Variabilidade temporal do Mn dissolvido, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiaí (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.

A concentração média de Cu, normalizada pelas vazões, para a estação de amostragem JUN0 (nascente rio Jundiaí) foi de 0,007 mg L⁻¹. Como pode ser observado na Figura 84 foram poucas as amostras que apresentaram valores acima do limite de determinação para a estação CAP0 (Nascente do Capivari). Já para as regiões de Foz do rio Jundiaí (JUN1) e Capivari (CAP1), os valores médios de concentração normalizados pela vazão foram de 0,013 e 0,009 mg L⁻¹, respectivamente, sendo que os valores de concentração sofreram variações durante o período estudado, apresentando valores preocupante para ambos caracterizando-os como rio de Classe 4 (Figura 84).

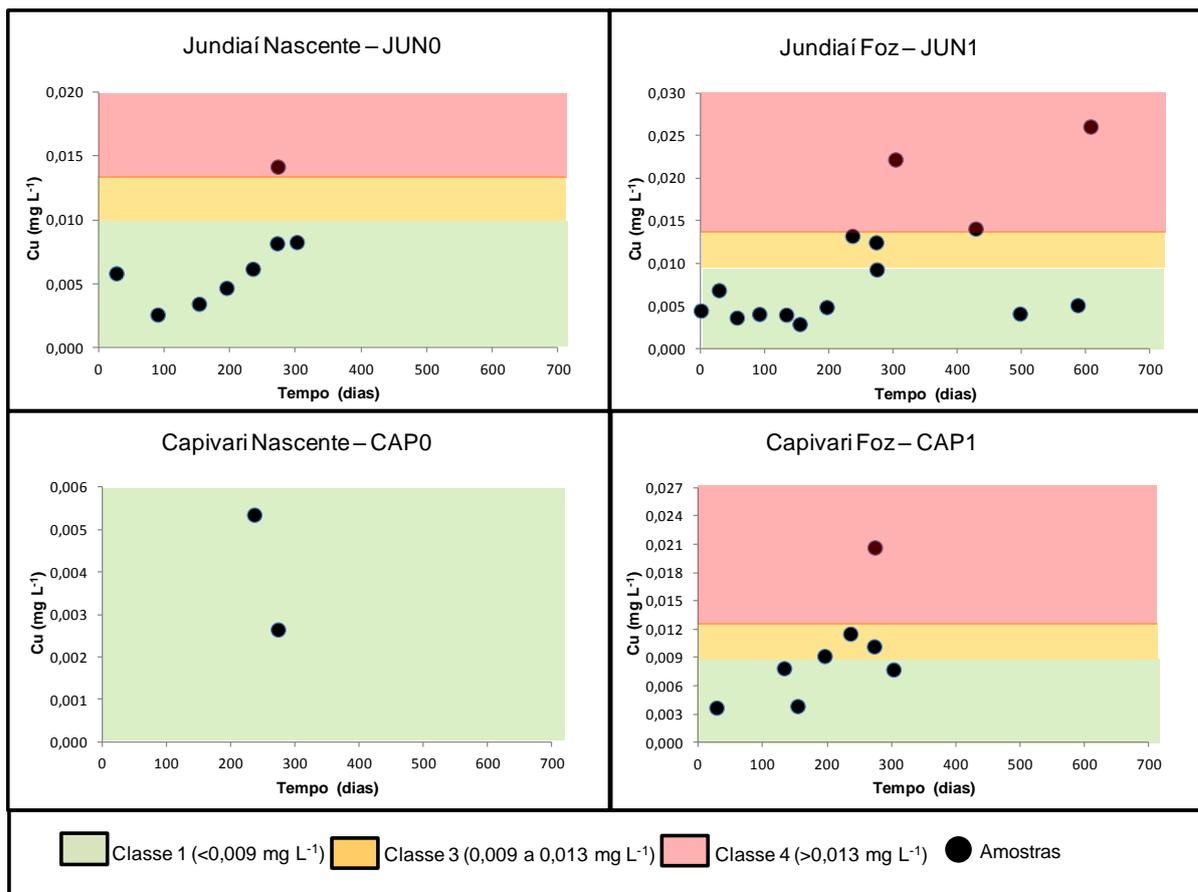


Figura 84 - Variabilidade temporal do Cu dissolvido, determinados nas estações de amostragem dos rios Jundiá (JUN0 e JUN1) e Capivari (CAP0 e CAP1), para o período estudado, assim como a classificação das águas fluviais (Classe 1, 3 e 4) utilizados no CONAMA 357/05.

O elemento Sr não variou ao longo do período estudado, para as quatro estações de amostragem, como também as concentrações médias normalizadas pelas vazões também foram similares JUN0 (0,06 mg L⁻¹), JUN1 (0,07 mg L⁻¹), CAP0 (0,05 mg L⁻¹) e CAP1 (0,08 mg L⁻¹).

A concentração do elemento Zn ficou abaixo do limite de determinação principalmente na estação de amostragem JUN0, correspondente a área próxima a nascente do rio Jundiá, para a região da foz (JUN1) e para as estações de amostragem do rio Capivari (CAP0 e CAP1) os valores de concentrações médias normalizadas pelas vazões foram inferiores ao valor mínimo de 0,18 mg.L⁻¹, para águas de rios Classe 1, demonstrando que as concentrações do elemento Zn não apresentaram risco ao abastecimento humano e as comunidades aquáticas.

5.4 Erosão Química: Balanço de alteração de rochas

Conforme descrito no item 4.6., foi aplicado no presente estudo um modelo geoquímico conceitual para a identificação dos processos envolvidos durante a alteração de rochas nas bacias dos rios Jundiá e Capivari. De acordo com Garrels e Mackenzie (1971) e Meybeck (1981), a composição química das águas fluviais é controlada por diversas fontes como aportes atmosféricos (externo) e intemperismo de vários tipos de minerais (interno). No trabalho desenvolvido por Mortatti e Probst (2003) evidenciaram a necessidade de correção dos aportes antrópicos nos modelos de alteração de rochas, principalmente em áreas sobre forte pressão urbana, como é o caso das duas bacias estudadas no presente trabalho. As Tabelas 39 e 40 ilustram a sequência dos resultados obtidos para as bacias dos rios Jundiá e Capivari, respectivamente.

Tabela 39 - Aplicação do modelo geoquímico conceitual simples no balanço de alteração de rochas na bacia do rio Jundiá. Os aportes fluviais se referem aos obtidos no presente estudo, os aportes pluviais utilizados foram os determinados por Vendramini et.al. (2013) e os aportes antrópicos foram extraídos de Mortatti et al.,(2012). Os resultados estão apresentados em termos de transporte médio anual (10^3 t a^{-1}). As contribuições de Feldspato foram calculadas considerando as formações das caulinitas (2:1) e montmorilonitas (1:1).

Balanço de Alteração Química de Rochas										
Foz do rio Jundiá (JUN1)										
	Chuva	Antrópico	Rio	- Chuva	- Antrópico	- NaCl	- CaSO ₄	- Carbonato	- Feldspato	
						(10 ³ t a ⁻¹)			(1:1)	(2:1)
HCO ₃ ⁻	8,5	28,8	82,3	73,8	45,0	45,0	45,0	42,8	13,6	23,5
SO ₄ ²⁻	1,0	8,3	15,1	14,1	5,8	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Cl ⁻	1,8	15,4	36,1	34,2	18,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca ²⁺	2,0	3,0	10,1	8,1	5,2	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Mg ²⁺	0,2	0,9	2,3	2,0	1,1	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0
Na ⁺	0,7	16,4	40,9	40,2	23,9	5,1	5,1	5,1	0,0	0,0
K ⁺	0,5	1,2	6,0	5,5	4,4	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0
SiO ₂	1,0	0,2	11,1	10,1	9,9	9,9	9,9	9,9	0,0	0,0

Os resultados obtidos para a bacia do rio Jundiá (JUN1), Tabela 39, dentro do modelo de alteração de rocha proposto mostram que o aporte atmosférico foi significativo apenas para o HCO₃⁻, enquanto que para o antrópico os elementos HCO₃⁻ e Na⁺ foram os mais importantes.

Após a correção desses aportes, o Na^+ residual foi corrigido pelo Cl^- em cerca de 80%, enquanto o SO_4^{2-} corrigiu o Ca^{2+} em 100%, restando apenas a correção do Mg^{2+} para a alteração dos carbonatos. A alteração dos silicatos considerou as correções de Na^+ , K^+ e SiO_2 dissolvidos nas águas do rio Jundiáí, evidenciando a relação desses elementos atribuídos aos processos de alterações químicas de minerais aluminossilicatados sódicos e feldspato potássico, para as formações dos minerais de argila 2:1 (caulinita) e 1:1 (montmorilonita).

Para a bacia do rio Jundiáí foi possível verificar que o modelo de alteração de rocha proposto apresentou resultados similares para as reações que levaram à formação da caulinita (2:1) e montmorilonita (1:1) considerando que os fluxos residuais finais de HCO_3^- foram positivos.

Tabela 40 - Aplicação do modelo geoquímico conceitual simples no balanço de alteração de rochas na bacia do rio Capivari. Os aportes fluviais se referem aos obtidos no presente estudo, os aportes pluviais utilizados foram os determinados por Vendramini et.al. (2013) e os aportes antrópicos foram extraídos de Mortatti et.al.(2012). Os resultados estão apresentados em termos de transporte médio anual (10^3 t a^{-1}). As contribuições de Feldspato foram calculadas considerando as formações das caulinitas (2:1) e montmorilonitas (1:1).

	Balanço de Alteração Química de Rochas										
	Foz do rio Capivari (CAP1)										
	Chuva	Antrópico	Rio	- Chuva	- Antrópico	- NaCl	- CaSO_4	- Carbonato	- Feldspato		
	(10^3 t a^{-1})									(1:1)	(2:1)
HCO_3^-	11,3	38,4	109,8	98,5	60,1	60,1	60,1	36,0	12,6	0,0	
SO_4^{2-}	1,7	14,5	26,3	24,7	10,1	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
Cl^-	2,0	16,4	38,4	36,4	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Ca^{2+}	7,3	11,0	37,5	30,2	19,2	19,2	9,0	0,0	0,0	0,0	
Mg^{2+}	0,7	2,6	6,3	5,6	3,0	3,0	3,0	0,0	0,0	0,0	
Na^+	0,7	17,1	42,8	42,1	24,9	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	
K^+	0,5	1,2	6,5	6,0	4,8	4,8	4,8	4,8	0,0	0,0	
SiO_2	1,4	0,3	15,4	14,1	13,7	13,7	13,7	13,7	0,0	0,0	

Dentro do modelo de alteração de rocha proposto, os resultados obtidos para a bacia do rio Capivari (CAP1), Tabela 40, mostraram que o aporte atmosférico foi significativo apenas para o HCO_3^- , enquanto que para o antrópico os elementos HCO_3^- , SO_4^{2-} e Na^+ foram os mais importantes.

Assim como na bacia do rio Jundiaí, após a correção dos aportes atmosféricos e antrópicos, o Na^+ residual foi corrigido pelo Cl^- em cerca de 81%, enquanto o SO_4^{2-} corrigiu o Ca^{2+} em 53%, restando a correção do Mg^{2+} para a alteração dos carbonatos. A alteração dos silicatos considerou as correções de Na^+ , K^+ e SiO_2 dissolvidos nas águas do rio Capivari, evidenciando a relação desses elementos atribuídos aos processos de alterações químicas de minerais aluminosilicatados sódicos e feldspato potássico, para as formações dos minerais de argila 2:1 (caulinita) e 1:1 (montmorilonita).

Para a bacia do rio Capivari (CAP1) o modelo de alteração de rochas se mostrou mais adequado considerando a formação de caulinita (2:1) em comparação com a formação da montmorilonita (1:1) a qual apresentou um fluxo residual maior de HCO_3^- .

Os excessos de HCO_3^- presentes na fração residual, principalmente para a bacia do rio Jundiaí, podem estar associadas a outras fontes, como por exemplo, a produção de HCO_3^- à partir da degradação da matéria orgânica intermediada por SO_4^{2-} de acordo com a reação (Equação 47):



De acordo com Haida et al., (1996) e Mortatti et al., (2006) uma produção antrópica significativa de HCO_3^- em águas fluviais pode ser associada ao processo de oxidação da matéria orgânica, intermediada pelo SO_4^{2-} , a qual pode liberar em conjunto com o H_2S iniciando-se imediatamente após o lançamento desses efluentes.

6. CONCLUSÕES

O estudo das características hidrogeoquímicas das bacias dos rios Jundiá e Capivari permitiram avaliar a dinâmica do material dissolvido e particulado transportado fluvialmente, bem como verificar que os processos erosivos são maiores na bacia do rio Capivari, devido ao uso e ocupação do solo mais intenso nessa bacia, como também caracterizar que para ambas as bacias estudadas ocorrem influências antrópicas, principalmente associadas a esgotos domésticos.

A caracterização hidrológica, a partir de dados históricos de vazão e precipitação permitiu identificar a influência dos mecanismos de recarga e descarga nas bacias de drenagem dos rios Jundiá e Capivari. A metodologia de separação de hidrograma de cheia em um modelo de dois reservatórios, utilizando os filtros numéricos, permitiu determinar os escoamentos superficiais rápidos, responsável direto pela erosão mecânica, representou aproximadamente 41% para a bacia do rio Jundiá e 45% para a bacia do rio Capivari, lembrando que essas porcentagens são em relação aos escoamentos totais das bacias estudadas. Ficou evidente que ao longo do tempo analisado houve um crescimento no potencial erosivo, principalmente na bacia do rio Capivari em relação ao rio Jundiá, o que já era esperado, pois a bacia do rio Capivari possui áreas agrícolas maiores do que a bacia do rio Jundiá.

As erosões mecânicas nas bacias dos rios Jundiá e Capivari foram avaliadas em termos da caracterização do comportamento dinâmico da carga particulada fluvial, sendo possível, em relação ao relacionamento das concentrações de FSS e as respectivas vazões, verificar a ocorrência dos processos de remobilização e sedimentação característicos dos rios de pequeno e médio porte.

O transporte total da carga particulada dos rios Jundiá e Capivari calculado pelo método estocástico mostraram-se superestimado, para esse estudo, evidenciando que o método determinístico foi mais representativo. Os valores de transporte específicos de FSS determinados para a região de foz do rio Jundiá ($40,80 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) foi inferior ao determinado para a foz do rio Capivari ($90,70 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) o que já era esperado, pois a bacia do rio Capivari tem uma maior influência de áreas agrícolas do que a bacia do rio Jundiá. Com isso a bacia do rio Jundiá apresentou uma erosão considerada média e o rio Capivari uma erosão considerada alta, segundo a classificação de Meybeck et al. (2003).

A degradação física específica na região de foz do rio Jundiáí (27,76 m Ma⁻¹) se mostrou inferior ao transportado pelo rio Capivari (59,67 m Ma⁻¹), possivelmente pela bacia do rio Capivari ter um uso e ocupação mais intensiva de manejo agrícola, principalmente ao cultivo da cana-de-açúcar.

Dessa forma, a hipótese de influência sazonal sobre a carga particulada se confirmou quando analisado a dinâmica de FSS presentes nos rios Jundiáí e Capivari, demonstrando que o mau uso e ocupação do solo auxilia na elevada taxa de erosão.

Os estudos das cargas particuladas em termos isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) e de COP, NOP, COD e NOD permitiram de forma satisfatória verificar a origem da matéria orgânica do FSS e do material dissolvido, ao longo do período estudado, como também caracterizar o FSS em termos de espécies químicas de interesse geoquímico. Ficaram evidentes, para as duas bacias de drenagem, que os valores de ($\delta^{13}\text{C}$) e das razões C/N das matérias orgânicas em comparação com os parâmetros de referência, nos períodos de chuvas de grandes volumes, estiveram associados a materiais eruditos de solos das bacias. Já para os períodos de estiagem a origem da matéria orgânica presentes nos FSS, da bacia do rio Jundiáí e Capivari, foram predominantemente relacionados à poluição antrópica, especialmente a esgotos domésticos lançados sem tratamento. Esse foi o primeiro indicativo que confirmava a hipótese da influência antrópica nas bacias dos rios Jundiáí e Capivari.

A caracterização hidroquímica fluvial foi fundamental para o entendimento do comportamento dinâmico das cargas dissolvidas dos rios Jundiáí e Capivari. Foi possível verificar que o pH variou próximo a neutralidade, tanto nas regiões de nascente como na foz das duas bacias estudadas. As condutividades elétricas, para as duas bacias de drenagem, se mostraram em oposição de fase com as vazões, apresentando maiores concentrações nos períodos de maiores vazões. Foi verificado, que tanto na nascente como na foz, das duas bacias estudadas, que as condutividades elétricas foram acima do valor de referência, proposto para águas naturais, porém os resultados foram bastante similar a outras bacias regionais com significativas influências antrópicas urbanas e agrícolas.

Foi possível observar uma distribuição sazonal na evolução temporal das concentrações de OD e DBO_{5,20}, para as nascentes e foz dos rios Jundiáí e Capivari. Nas estações JUN0 e CAP0 os valores de DBO_{5,20}, principalmente nos períodos de

seca se mostraram preocupantes evidenciando indícios de contaminação já nas regiões de nascentes. Nas áreas de foz os valores de $DBO_{5,20}$ foram críticos, resultando na classificação das bacias de drenagem do Jundiá e Capivari, segundo CONAMA 357, como rios de classe 3 que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado.

Em relação à carga dissolvida das bacias dos rios Jundiá e Capivari permitiu verificar que ambas as bacias de drenagem se encontram antropizadas em função de descartes de efluentes urbanos e industriais, como resíduos agrícolas que ocorrem nessa região. As espécies químicas inorgânicas dissolvidas mais representativas nas águas dos rios Jundiá e Capivari foram o HCO_3^- entre os ânions, enquanto que os cátions mais importantes foram Na^+ e Ca^{2+} , tanto nas regiões de nascente como na foz.

Os balanços de cargas estabelecidas a partir das concentrações iônicas das principais espécies químicas, tanto na bacia do rio Jundiá como no rio Capivari, evidenciaram um predomínio de cátions, podendo estar associado às cargas aniônicas provenientes do carbono orgânico dissolvido (COD) que normalmente não são incorporadas na soma das cargas aniônicas fluviais.

Utilizando o estudo da variabilidade temporal entre as concentrações das espécies químicas estudadas e as vazões confirmou a hipótese da sazonalidade nas cargas dissolvidas das bacias dos rios Jundiá e Capivari, durante o período estudado. Para as duas bacias estudadas a carga dissolvida também se mostrou fortemente influenciada pelo ciclo hidrológico, com baixas concentrações durante as estações chuvosas e concentrações maiores no período de estiagem.

A partir do relacionamento concentraçãoXvazão e respectivos ajustes de curvas de potência foi verificado que próximo as nascentes dos rios Jundiá (JUN0) e Capivari (CAP0) as espécies químicas HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} estão relacionadas aos aportes de origem difusos, relacionado a alterações de rochas e aportes atmosféricos. Entretanto, na estação JUN0 as espécies químicas SO_4^{2-} e PO_4^{3-} se mostraram associadas a aportes pontuais indicando possíveis contaminações já na área de nascente do rio Jundiá. Na região da foz do rio Jundiá (JUN1) o HCO_3^- apresentou contribuições de origens pontuais e difusas em função da oxidação da matéria orgânica dos esgotos urbanos, as demais espécies químicas Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} estavam associadas a origens de aportes essencialmente difusos.

Para a região de foz do rio Capivari (CAP1) os íons Na^+ , Cl^- e NO_3^- apresentaram uma possível ocorrência de aportes pontuais, relacionada principalmente a efluentes domésticos, as demais espécies químicas HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} , tiveram suas curvas de ajuste de potência distante das curvas de diluição teórica, indicando ocorrência de aportes difusos (alteração de rochas e aportes atmosféricos). Foi confirmada a hipótese que as curvas das concentrações dos principais íons podem determinar os aportes pontuais e difusos, demonstrando que a foz das duas bacias estudadas possuem contribuições pontuais, ou seja, influências antrópicas.

Dentre os dois métodos empregados para a estimativa dos transportes das espécies químicas inorgânicas dissolvidas, o método determinístico se mostrou mais apropriado para esse estudo. Os transportes fluviais específicos, calculados pelo método determinístico para ambas as bacias de drenagem, próximas às regiões de nascente (JUN0 e CAP0) se mostraram superiores em relação às regiões de foz (JUN1 e CAP1) associados a entradas desses íons ao longo da bacia seja por aportes pontuais ou difusos. As cargas químicas dissolvidas transportadas fluvialmente permitiram avaliar a contribuição das bacias de drenagens dos rios Jundiaí e Capivari para a calha do rio Tietê, sendo que os íons mais significativos foram os HCO_3^- , SiO_2 , Na^+ , Ca^{2+} e Cl^- .

Em relação às espécies metálicas, somente as espécies químicas dissolvidas Fe, Al, Mn e Sr apresentaram valores acima do limite da detecção analítica nos rios Jundiaí e Capivari, sendo possível observar a sazonalidade dos mesmos, para as duas bacias estudadas.

O modelo geoquímico conceitual adaptado e ampliado do clássico modelo de alteração estabelecido por Garrels e Mackenzie (1971), para a identificação dos processos envolvidos durante o intemperismo de rochas nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari também se mostrou eficiente para estabelecer o balanço de alteração química de rochas, evidenciado apenas um fluxo residual de HCO_3^- maior no rio Jundiaí do que no rio Capivari. Os resultados obtidos para o fechamento do balanço geoquímico de alteração de rochas nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari, mostraram a importância da correção dos aportes antrópicos, associados aos esgotos domésticos e resíduos agrícolas. Já os aportes pluviais mais significativos foram para HCO_3^- e Ca^{2+} , considerados comuns para regiões com agricultura desenvolvida.

A caracterização hidrogeoquímica realizada nas bacias de drenagem dos rios Jundiáí e Capivari permitiu um melhor entendimento na dinâmica desses rios e, adicionalmente, os resultados apresentados deixam claras as influências antrópicas no material dissolvido e particulado desses dois rios, como também a alta erosão mecânica das bacias causadas pelo mau uso e ocupação do solo existente nas duas bacias. Esses resultados apresentados poderão ser utilizados como subsídios para planejamento e a gestão adequada das duas bacias de drenagem estudadas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e Agência de água das bacias do rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. 1. ed. Brasília, DF: ANA, SAG, 2009. 176 p.

AMIOTTE-SUCHET, P.; PROBST, J. L. Modelling of atmospheric CO₂ consumption by chemical weathering of rocks: Application to the Garonne, Congo and Amazon basins. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 107, p. 205-210, 1993.

ARAUJO, A. A. M.; DIAS, N. L. Separação do hidrograma de cheias através de filtros auto-recursivos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., 1995, Pernambuco. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. p. 267-272.

ARAVENA, R.; EVANS, M. L.; CHERRY, J. A. Stables isotopes of oxygen and nitrogen in source identification of nitrate from septic systems. **Ground Water**, Dublin, v. 31, p. 180-186, 1993.

BERNER, R. A.; LASAGA, A. C.; GARRELS, R. M. The carbonate silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 millions years. **American Journal of Science**, New Haven, v. 283, p. 641-683, 1983.

BIBIAN, J. P. R. **Caracterização hidrogeoquímica da microbacia de drenagem do córrego Barra Bonita, São Paulo**. 2007. 194 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Method of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: ASA; SSSA, 1986. p. 363-375.

BOEGLIN, J. L.; MORTATTI, J.; TARDY, Y. Érosion chimique et mécanique sur le basin amont du Niger (Guinée, Mali). Bilan géochimique de l'alteration em milieu tropical. **Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. Serie II**, Paris, v. 325, p. 185-191, 1997.

BOEGLIN, J. L.; PROBST, J. L. Physical and chemical weathering rates ad CO₂ consumption in a tropical lateritic environment: the upper Niger basin. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 148, p. 137-156, 1998.

BOEGLIN, J. L.; PROBST, J. L. Transports fluviaux de matières dissoutes et particulaires sur um basin versant em região tropical: le basin versant Du Niger au cours de La période 1990-1993. **Science Géologique Bulletin**, Strasbourg, v. 49, n. 1-4, p. 25-45, 1996.

BORTOLETTO JÚNIOR, M. J. **Características hidrogeoquímicas e processos erosivos mecânicos e químicos nas bacias de drenagem dos rios Tietê e Piracicaba**. 2004. 202 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BOUTTON, T. W. Stable carbon isotope ratio of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Academic Press, 1996. p. 1-46.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. São Paulo: CETESB/ACATESB, 1986. 640 p.

BRITO, L. T. L. et al. Avaliação das características físico-químicas e bacteriológicas das águas de cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 5., 2005, Teresina, PI. Feira de Santana, BA: ABCMAC, 2005. p. 11-14.

CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos**: fundamentos teóricos, métodos de estudos e análises químicas. São Paulo: Edgard Blücher, 1994. 253 p.

CASSOL, E. A. et al. Erosividade, padrões hidrológicos, períodos de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1239-1251, 2008.

CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO - CETEC. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá** – UGRHI-05. São Paulo, 2000.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Norma Técnica L5.120** - Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO). Método da diluição e incubação 20 graus centígrados e dias. São Paulo, 1991. 13 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo, 2013-2014**. São Paulo, 2014 Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/publicacoes.asp>. Acesso em: 10 mar. 2015.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas**: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari - SP. 2000. 194 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH/PCJ; ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE LTDA – IRRIGART. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2001**. Piracicaba, 2002.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH/PCJ; ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE LTDA – IRRIGART. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2002**. Piracicaba, 2003.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH/PCJ; ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE LTDA – IRRIGART. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2003**. Piracicaba, 2004.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH/PCJ; ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE LTDA – IRRIGART. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2004 - 2006**. Piracicaba, 2007.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ - CBH – PCJ; ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE LTDA - IRRIGART. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Jundiaí e Capivari 2008-2009**. Piracicaba, 2009.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH - PCJ. **Relatório da situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Ano base 2011**. Piracicaba, 2012.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ - CBH/PCJ. **Relatório da situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Ano base 2012**. Piracicaba, 2013.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ - CBH/PCJ. **Relatório da situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Ano base 2013**. Piracicaba, 2014.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 1-21, 2002.

CONCEIÇÃO, F. T. et al. Anthropogenic influences on annual flux of cations and anions at Meio stream basin, São Paulo State, Brazil. **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 205, n. 1-4, p. 79-91, 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 357 - 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, nº 53, de 18 mar. 2005, p. 58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm>. Acesso em: 18 set. 2014.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA. Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (DAEE-CHT). **Banco de dados:** fluviométricos dos rios Capivari e Jundiá – SP. Séries históricas. São Paulo, 2009.

DIONEX CORPORATION. **ICS-90 ion chromatography system operator's manual.** Sunnyvale, CA: Dionex Corporation, 2004. (Document n.031851, revision 4).

DREVER, J. I.; CLOW, D. W. Weathering rates in catchments. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, Chantilly, VA, v. 31, p. 407–461, 1995.

DREVER, J. I.; ZOBRIST J. Chemical weathering of silicate rocks as a function of elevation in the southern Swiss Alps. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, New York, v. 56, p. 3209-3216, 1992.

EDMOND, J. M. High precision determination of titration alkalinity and total carbon dioxide content of seawater by potentiometric titration. **Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts**, Oxford, v. 17, n. 4, p. 737-750, 1970.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Brasília, DF, 2006. 306 p.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de limnologia.** Rio de Janeiro: Interciências, 1988. 574 p.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciências, 1998. 602 p.

EVANGELISTA, R. A. O. **Caracterização química e isotópica de carbono e nitrogênio no estudo hidrogeoquímico de efluentes urbanos.** 2003. 139 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

FARIAS, M. S. S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Cabelo.** Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal da Campina Grande. 2006. 152 p.

FERNANDES, A. M. **Características hidrogeoquímicas da bacia de drenagem do rio Sorocaba, SP:** processos erosivos mecânicos e químicos. 2012. 241 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

FERNANDES, A. M. **Comportamento do N inorgânico dissolvido em águas superficiais e sub-superficiais em área de cultivo de cana-de-açúcar.** 2008. 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FERNANDES, A. M.; NOLASCO, M. B.; MORTATTI, J. Estimativa do escoamento superficial rápido e sua carga em suspensão com a aplicação do modelo de separação de hidrogramas com filtros numéricos: bacia do rio Sorocaba – SP. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 49-57, 2010.

FERRAZ, F. F. B.; MORTATTI, J. Avaliação do processo erosivo mecânico em bacia subtropical desenvolvida pela análise de sedimentos finos em suspensão. **Geociências**, São Paulo, v. 21, n. 1-2, p. 113-120, 2002.

FREITAS, M. A. V.; SANTOS, A. H. M. Importância da água e da informação hidrológica. In: FREITAS, M. A. V. de (Ed.). **O estudo das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informação de recurso hídrico**. Brasília, DF: ANEEL/MME/MMA-SRH/OMMM, 1999. p. 13-16.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **Banco de dados de informações dos municípios paulistas**. São Paulo: Fundação SEADE, 2013.

GAC, J. Y.; KANE, A. Le fleuve Sénégal:II. Flux continentaux de matières dissoutes a l'ambouchere. **Sciences Géologiques. Mémoire**, Strasbourg, v. 39, n. 2, p. 151-172, 1986.

GAILLARDET, J. et al. Chemical and physical denudation in the Amazon river basin. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 142, p. 141-173, 1997.

GARRELS, R. M.; MACKENZIE, F. T. **Evolutions of sedimentary rocks**. New York: Norton, 1971. 397 p.

GRANZIERA, M. L. M. Direito das águas. **Carta Forense. Entrevista**, São Paulo, 03 out. 2014. Disponível em: <http://www.planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/DireitodeAguasEntrevistasCartaForense.pdf>. Acesso em: 10 set. 2014.

HAIDA, S. et al. Géodynamique actuelle dans le basin versant de l'oued Tensift (Maroc): erosion et bilan du transfert solide fluvial. **Sciences Géologiques**, Strasbourg, v. 49, p. 7-23, 1996.

HERMES, L. C.; SILVA, A. S. **Avaliação da qualidade das águas: manual prático**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 55 p.

HINO, M.; HASEBE, M. Analysis of hydrologic characteristics from runoff data – a hydrologic inverse problem. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 49, p. 287-313, 1981.

HINO, M.; HASEBE, M. Identification and prediction of nonlinear hydrologic systems by the filter-separation Autoregressive (AR) method: extension to hourly hydrologic data. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 68, p. 181-210, 1984.

HORBE, A. M.; SANTOS, A. G. Chemical composition of Black-watered Rivers in the western Amazon region (Brazil). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 6, p. 1119-1126, 2009.

HUTCHINSON, G. E. **A treatise on limnology**. New York: John Wiley & Sons, 1957. v. 1, 1015 p.

HYPOLITO, R.; ANDRADE, S.; EZAKI, S. **Geoquímica da interação: água, rocha, solo: estudos preliminares**. São Paulo: All Print Editora, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Dados do Censo de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultadosdou/SP2013.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

JENKINS, A.; PETERS, N. E.; RHODE, A. Hydrology. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. **Biogeochemistry of small catchments: A tool for environmental research**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.

KATTAN, Z. **Géochimie et hydrologie dès eaux fluviales dès bassins de la Moselle et de la Mossig**. Transports dissous et particuliers. Cycles biogéochimiques dès éléments. 1989. 220 p. Thèse (Doctor) – Centre de Géochimie de la Surface, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1989.

KATTAN, Z.; PROBST, J. L. Transport en suspension et en solution par la Moselle en période de crue. In: ACTES DES JOURNÉES D'HYDROLOGIE, "Crues et inondations", Strasbourg, 1986. p. 143-167.

KATTAN, Z.; GAC, J. I.; PROBST, J. L. Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin, estimation of the surface runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosion. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 92, p. 59-76, 1987.

KENDALL, C.; SILVA, S. R.; KELLY, V. J. Carbon and nitrogen isotopic composition of particulate organic matter in four large river systems across the United States. **Hydrological Process**, Chichester, v. 15, p. 1301-1346, 2001.

KIM, J. P.; HUNTER, K. A.; REID, M. R. Geochemical processes affecting the major composition of rivers in the South Island. **Marine and Freshwater Research**, Melbourne, v. 50, p. 699-709, 1999.

KÖPPEN, W. P. **Climatologia**: com um estúdio de lós climas de La tierra. 1. ed. México, DF: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

KRUSCHE, A. V. et al. Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piracicaba River basin). **Water Research**, New York, v. 36, p. 2743-2752, 2002.

LARA, L. B. L. S. et al. Chemical compositions of Rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 35, p. 4937-4945, 2001.

LASAGA, A. C. Fundamental approaches in describing mineral dissolution and precipitation rates. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, Chantilly, VA, v. 31, p. 23–86, 1995.

LEITE, A. F. **Hidrogeoquímica e intemperismo na bacia do rio Bananal (SP/RJ)**. 2006. 150 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MAGALEF, R. **Limnología**. Barcelona: Ediciones Omega, 1983. 1010 p.

MAIER, M. H. Considerações sobre características limnológicas de ambientes lóticos. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 75-90, 1978.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J. D.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica do fósforo como indicador da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguarube – Costa nordeste oriental brasileira. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, 2007.

MARTINELLI, L. A. et al. Descarga de sólidos dissolvidos totais do rio Amazonas e seus principais tributários. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 141-148, 1989.

MARTINELLI, L. A. et al. Landcover changes and $\delta^{13}\text{C}$ composition of riverine particulate organic matter in the Piracicaba river basin (Southeast region of Brazil), **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 44, n. 7, p. 1826-1833, 1999.

MEADE, R. H. **Suspended sediment in the Amazon river and its tributaries in Brazil during 1982-84**. Denver: U.S. Geological Survey, 1985. 39 p. (Open-File Report, 85-492).

MESSAITFA, A. **Transfert d'eau, des sédiments et de polluants associés sur le bassin de l'Ill: cas de mercure**. 1997. 209 p.. Thèse (Doctor) – Centre de Géochimie de la Surface, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1997. 209 f.

MEYBECK, M. **Bilan hydrochimique et géochimique du Lac Léman**. 1970. 245 p. Thèse (Doctor) – C.R.G. Thonon les Bains, Université des Sciences, Paris, 1970.

MEYBECK, M. et al. Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 39, p. 65-93, 2003.

MEYBECK, M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. **American Journal of Science**, New Haven, v. 287, p. 401-428, 1987.

MEYBECK, M. Total mineral dissolved transport by world major rivers. **Hydrological Sciences Bulletin**, London, v. 21, n. 2, p. 265-284, 1976.

MORTATTI, J. **Erosão na Amazônia**: processos, modelos e balanço. 1995. 155 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MORTATTI, J. et al. Fluxo de Carbono Inorgânico Dissolvido no Rio Piracicaba (São Paulo): Partição e Reações de Equilíbrio do Sistema Carbonato. **Geociências**, São Paulo, v. 25, p. 429-436, 2006a.

MORTATTI, J. et al. 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, 2006b.

MORTATTI, J. et al. Influence of discharge on silicate weathering dynamics of the Tiete river basin: major cations and dissolved silica approach. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 15-26, 2008.

MORTATTI, J. et al. Hidrologia dos rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 12, n. 23, p. 55-67, 2004.

MORTATTI, J. et al. Hydrograph separation of the Amazon river: a methodological study. **Aquatic Geochemistry**, Heidelberg, v. 3, p. 117-128, 1997.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L. **Hidrogeoquímica de bacias de drenagem**. Piracicaba: CPG/CENA, 1998. 239 p. (Série didática, v.1).

MORTATTI, J.; PROBST, J. L. Aspectos hidrogeoquímicos da alteração de silicatos na bacia Amazônica. **Geociências**, São Paulo, v. 21, n. 1-2, p. 139-145, 2002.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L. **Hidrogeoquímica de bacias de drenagem**. Piracicaba: CPG/CENA, 2012. 142 p. (Série didática, v.2).

MORTATTI, J.; PROBST, J. L. Silicate weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 197, p. 177-196, 2003.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; BORTOLETTO JÚNIOR, M. J. Piracicaba river basin: mechanical and chemical erosions. **Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 75-81, 2003.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; FERREIRA, J. R. Hydrological and geochemical characteristics of the Jamari and Jiparana River Basins (Rondonia, Brazil). **Geojournal**, Dordrecht, v. 26, n. 3, p. 287-296, 1992.

MORTATTI, J.; VICTORIA, R. L.; TARDY, Y. Balanço de alteração e erosão química na Bacia Amazônica. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 2-13, 1997.

MORTATTI, J.; PROBST, J.L.; BORTOLETTO JÚNIOR, M. J. Piracicaba river basin: mechanical and chemical erosions. **Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 75–81, 2003.

MORTATTI, J.; VENDRAMINI, D.; OLIVEIRA, H. Avaliação da poluição doméstica fluvial na zona urbana do município de Piracicaba, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 110-119, 2012.

NEVES, M. A. **Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundiáí (SP)**. 2005. 200 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2005.

NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N. Qualidade das águas do rio Jundiáí (SP): a necessidade de uma gestão integrada. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 6, n. 2, p. 91-105, 2006.

NKOUNKOU, R. R.; PROBST, J. L. **Hydrology and Geochemistry of the Congo River System**. Strasbourg: Centre National de la Recherche Scientifique – CNRS; Université Louis Pasteur, 1987. p. 483-508. (SCOPE/UNEP, 64).

OLIVEIRA, H. et al. Caracterização físico-química da carga dissolvida dos rios Jundiáí e Capivari, São Paulo. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 23-35, 2014.

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 112 p. (Boletim Científico, 45).

OLIVEIRA, J. B. et al. (Ed). **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomo; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 64 p. + mapa.

PALMA E SILVA, G. M. Diagnóstico ambiental, qualidade da água e índice de depuração do rio Corumbataí, SP. 199. 155 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 1999.

PATHAK, P. Sediment flow behaviour from small agricultural watersheds. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 67, p. 105-117, 2004.

PELLEGRINO, G. Q. **Análise espacial-temporal de dados hidrológicos da bacia do rio Piracicaba**. 1995. 117 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

PERAY, N. **Composition chimique des eaux e l'III à Strasbourg**: variations saisonnières des flux de matières et bilan de l'érosion chimique. Strasbourg: ULP – Centre de Géochimie de la Surface, 1998.

PERROTA, M. M. et al. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Programa Geologia do Brasil - PGB, CPRM, 2005. escala 1:750.000.

PINTO, A. G. N. et al. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 627-638, 2009.

PORTO, S. M. et al. **Hidrologia ambiental**. São Paulo: EDUSP, 1991. v. 1, p. 375-390.

PROBST, J. L. **Hydrologie Du bassin de La Garrone**. Modèle de mélanges. Bilan de l'érosion. Exportation des phosphates et des nitrates. 1983. 148 p. Thèse (Doctor) – Université de Toulouse III, 1983. 148 p.

PROBST, J. L. Dissolved and suspended matter transported by Girou River (France): mechanical and molasse basin. **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, v. 31, p. 61-79, 1986.

PROBST, J. L. Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années. **Science Géologique Bulletin**, Strasbourg, v. 94, 161p. 1992.

PROBST, J. L.; BAZERBACHI, A. Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure. **Science Géologique Bulletin**, Strasbourg, v. 39, p. 79-98, 1986.

PROBST, J. L. et al. 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.

PROBST, J. L.; AMIOTTE-SUCHET, P.; TARDY, Y. Global continental erosion and fluctuations of atmospheric CO₂ consumed during the last 100 years. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER-ROCK INTERACTION, 7., 1992, Utah, USA. **Proceedings...** Strasbourg: Centre National de la Recherche Scientifique – CNRS; Université Louis Pasteur, 1992. p. 483-486.

PROBST, J. L.; MORTATTI, J.; TARDY, Y. Carbon river fluxes and global weathering CO₂ consumption in the Congo and Amazon river basins. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 9, p. 1-13, 1994.

QUEIROZ, L. A. V. **Hidrogeoquímica fluvial da bacia do rio Paquequer, Teresópolis – RJ**. 2011. 98 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2011.

RIBANI, M. et al. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 771-780, 2004.

RODRIGUES JÚNIOR, J. C. **Balanço da erosão na bacia do rio Piracicaba**. 1998. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SÃO PAULO (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Relatório de situação dos recursos hídricos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**: relatório Zero. Piracicaba, 2000.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 7663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 30 dez. 1991.

SARDINHA, D. S. **Avaliação do intemperismo químico e influências antropogênicas na bacia do Alto Sorocaba (SP)**. 2007. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2007.

SARDINHA, D. S. et al. Avaliação de balanço anual de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 730-740, 2008.

SEMHI, K. et al. Dissolved silica in the Garonne river waters: changes in the weathering dynamics. **Environmental Geology**, Heidelberg, v. 40, n. 1-2, p. 19-26, 2000.

SETZER, J. **Atlas climático do Estado de São Paulo**. São Paulo. Secretaria da Agricultura, 1966.

SILVA, D. M. L. et al. Can land use changes alter carbon, nitrogen and major ion transport in subtropical Brazilian streams? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 317-324, 2007.

SILVA, I. S. et al. Heavy metal distribution in recent sediments of the Tietê-Pinheiros River system in São Paulo state, Brazil. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 17, n. 2, p. 105-116, 2002.

SMOLDERS, A. J. P. et al. Controls on water chemistry of the Pilcomayo river (Bolivia, South-America). **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 19, p. 1745-1758, 2004.

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, DC, v. 86, p. 9844-9858, 1981.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon basin. 2. The influence of the geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research. Serie C**, Washington, DC, v. 88, p. 9671-9688, 1983.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon Basin 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs. **Journal of Geophysical Research. Serie C**, Washington, DC, v. 92, n. 8, p. 8293-8302, 1987.

SZIKSZAY, M. Dados hidrogeoquímicos de rios da bacia do Paraná. **Boletim IG-USP**, São Paulo, v. 4, p. 97-108, 1973.

TARDY, Y. Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of Waters from some European and African crystalline massifs. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 7, p. 253-271, 1971.

TARDY, Y. **Le Cycle de L'eau**; climats, paléoclimats et géochimie globale. Paris: Masson, 1986. 338 p.

TARDY, Y. Erosion. **Encyclopedia Universalis**, Paris, v. 8, p. 615-627, 1990.

TARDY, Y.; BUSTILLO, V.; BOEGLIN, J. Geochemistry applied to the watershed survey: hydrograph separation, erosion and soil dynamics. A case study: the basin of the Niger River, Africa. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 19, n. 4, p. 469-518, 2004.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, 2003. 248 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO - UNESP. **Mapa Geológico**: Jundiaí, Folha SF-23-Y-C-III-1. Rio Claro: UNESP, 1986. Escala 1:50.000.

USDA. Stream Systems Technology Center. **WinXPRO 3.0**. Fort Collins: USDA, Forest Service, 2005. Disponível em: <<http://www.stream.fs.fed.us>>. Acesso em: 13 mar. 2011.

VENDRAMINI, D., **Aspectos hidroquímicos de uma bacia reflorestada com *Eucalyptus grandis* no município de Angatuba – São Paulo**. 2009. 195 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

VENDRAMINI, D. **Monitoramento hidrogeoquímico do rio Piracicaba**: aspectos dinâmicos do transporte de material dissolvido e particulado. 2013. 195 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

VENDRAMINI, D.; BONASSI, J. A.; MORTATTI, J. Aspectos da Influência antrópica na carga dissolvida do rio Piracicaba (SP). **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 99-112, 2013.

WALLING, D. E.; FANG, D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 39, p. 111-126, 2003.

WETZEL, R.G. **Limnology**: lake and river ecosystems. 3. ed. New York: Academic Press, 2001. 1006 p.

WHITE, A. F. Chemical weathering rates of silicate minerals in soils. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, Chantilly, VA, v. 31, p. 407–461, 1995.

WHITE, A. F. Determining mineral weathering rates based on solid and solute weathering gradients and velocities: application to biotite weathering saprolites. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 190, p. 69–89, 2002.