

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Processos hidrobiogeoquímicos de carbono e nitrogênio em diferentes
usos da terra nas mesobacias dos rios Jaguari e Camanduaia

Cristiane Formigosa Gadelha da Costa

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Ecologia Aplicada

Piracicaba
2018

Cristiane Formigosa Gadelha da Costa
Engenheira Agrônoma

**Processos hidrobiogeoquímicos de carbono e nitrogênio em diferentes usos da terra nas
mesobacias dos rios Jaguari e Camanducaia**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Profa. Dra. **MARISA DE CÁSSIA PICCOLO**

Co-orientador:

Prof. Dr. **RICARDO DE OLIVEIRA FIGUEIREDO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Ecologia Aplicada

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Costa, Cristiane Formigosa Gadelha da

Processos hidrobiogeoquímicos de carbono e nitrogênio em diferentes usos da terra nas mesobacias dos rios Jaguari e Camanducaia / Cristiane Formigosa Gadelha da Costa. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011 -- Piracicaba, 2018.

125 p.

Tese (Doutorado) -- USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

1. Qualidade de água 2. Manejo de bacias 3. Bacia hidrográfica 4. Recursos hídricos I. Título

DEDICATÓRIA

A Deus, por ser meu amor, força, sabedoria e vida!
Aos meus pais pelo apoio e carinho em todos os momentos.
Ao meu padrinho Francisco Irineu Alves, que sempre acreditou em mim,
me ensinou a ter consciência social e a enfrentar dificuldades;
marcou presença na defesa deste doutorado e logo após faleceu,
se eternizando aqui nessa homenagem.

“Lute, trabalhe e viva intensamente.
Não pare, não durma, aprenda o que puder
e respeite sempre a experiência popular;
não se esqueça que você terá a eternidade
para descansar. Então viva o agora!”

Francisco Irineu Alves

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força para chegar até o final, e também por ter colocado as pessoas certas ao longo do desenvolvimento desse trabalho, que não dependeu somente de mim, mas de várias pessoas desde a sua elaboração até o resultado final. O estudo foi parte do projeto AGROHIDRO - Agricultura e Recursos Hídricos nos Biomas Brasileiros (Componente 3) da EMBRAPA Meio Ambiente, sob a responsabilidade do Dr. Ricardo de Oliveira Figueiredo.

Aos meus pais Maria das Graças Formigosa Gadelha e Valdeci Gadelha da Costa por sempre me darem todo o apoio nos meus estudos. Ao Programa de Pós-Graduação “strictu sensu” em Ecologia Aplicada (Interunidades) da Escola Superior Luiz de Queiroz (ESALQ/USP) e Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), pela oportunidade de realizar este curso. A Secretária da pós-graduação Antônia Mara Piacentini Casarin pelo apoio com as dúvidas burocráticas de prazos e documentos da pós-graduação, sempre solicita e eficiente.

A EMBRAPA Meio Ambiente e CENA/USP pelo apoio financeiro e estrutura proporcionada para a execução do projeto de pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES, pelos 2,8 anos de concessão de bolsa de estudo.

Aos Professores Dra. Marisa de Cássia Piccolo (orientadora) e Dr. Ricardo de Oliveira Figueiredo (co-orientador), pela confiança depositada, apoio, horas de conversas e discussões sobre os dados, sempre atentos a qualquer pergunta, sugestão ou dúvida. Aos professores e colegas de Curso do Programa de Pós-Graduação “strictu sensu” em Ecologia Aplicada (Interunidades) ESALQ/ CENA/ USP, em especial ao professor Luiz Antônio Martinelli pelos cursos de “bem estar” promovidos ao longo do meu ciclo de 4 anos no laboratório, almoços e conversas no café (são importantes para diminuir a grande pressão que passamos na pós-graduação), as conversas sobre as dúvidas dos meus dados e os conselhos pessoais.

Ao Professor Plínio Barbosa de Camargo pela ajuda com as campanhas de campo (14 campanhas de 3 dias cada), discussão e correção dos dados, reuniões, correção da tese final, além do apoio como grande amigo.

A todos colegas do LEI, LCN e da ESALQ/USP dentre eles Lucas, Sílvia Rafaela, Thaís Diniz, Thaís Pessoa, Wanderlei, Rodrigo, Adibe, Patrícia, Samala, Taciana, em especial ao Caio Lourenço que iniciou a pós-graduação junto comigo e sempre me apoiou, e ao Lucas por toda a ajuda com as coletas de campo e análise de dados.

A todos os pesquisadores do projeto Agrohidro (EMBRAPA), com destaque para Maria Lucia Zuccari e Vera Lucia Ferracini pelo apoio de laboratório e logístico no projeto.

Aos Laboratórios de apoio analítico: Central Analítica de Resíduos e Contaminantes da Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna), Laboratório LBGT (EMBRAPA), Laboratório de geoprocessamento (execução dos mapas de uso da terra - EMBRAPA), Laboratório de Ecologia Isotópica (LEI) e Laboratório de Ciclagem de Nutrientes (LCN) do CENA.

Aos técnicos: Fabiana Fracassi (LEI/CENA), Maria Antônia Perez (LEI/CENA), Dagmar (Embrapa), Alexandra Ayres (CENA), Geraldo Arruda (CENA) pela ajuda analítica, Edmar Mazzi (CENA), Claudemir (EMBRAPA) e Paulo Rossi (EMBRAPA) pelo apoio no exaustivo, mas gratificante trabalho de campo.

A secretaria de Meio Ambiente de Extrema-MG, em nome do secretário de Meio Ambiente (Paulo Pereira) que nos apoiou nos pontos de coleta de Extrema e a todos os produtores que nos deram um voto de confiança permitindo a entrada em suas propriedades rurais para a realização das medições.

Aos estagiários envolvidos, em especial ao Pablo (Escobar), Fernanda's, Vitor e Matheus pela ajuda no campo e na logística de laboratório, sem vocês esse trabalho não seria concluído.

Aos órgãos ANA, DAEE, CIIAGRO e Sala de situação PCJ pela concessão dos dados de pluviometria e fluviometria.

Ao cachaça e a pretinha pela companhia nas madrugadas, corridas pela Esalq e discussão sobre os dados na reta final do trabalho, sempre com um olhar e uma patinha de carinho para me ajudar.

A todos da minha Igreja Profética Sião, sem exceção, pelas orações e palavras ministradas.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada!

EPÍGRAFE

*“Quem mediu com o seu punho as águas,
e tomou a medida dos céus aos palmos,
e recolheu numa medida o pó da terra
e pesou os montes com pesos
e os outeiros em balanças,
Quem guiou o Espírito do Senhor,
ou, como seu conselheiro o ensinou?
Com quem tomou ele conselho,
para que lhe desse entendimento,
e quem lhe mostrou a vereda do juízo?
quem lhe ensinou conhecimento,
e lhe mostrou o caminho de entendimento?”.*

Isaías 40:12-14

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	14
1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVO	20
2.1. OBJETIVO GERAL.....	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
2.3. HIPÓTESES.....	20
3. REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1. CENÁRIO DE DESENVOLVIMENTO E A BACIA DO RIO PIRACICABA: ASPECTOS GERAIS.....	22
3.2. IMPACTOS DO USO DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	23
3.3. MATÉRIA ORGÂNICA COMO INDICADOR DE ALTERAÇÃO DOS PROCESSOS DE CARBONO E NITROGÊNIO EM RIOS.....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	30
4.1.1. <i>Geologia</i>	31
4.1.2. <i>Geomorfologia</i>	32
4.1.3. <i>Pedologia</i>	34
4.1.4. <i>Hidrometeorologia</i>	34
4.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	37
4.2.1. <i>Cobertura e uso da terra</i>	40
4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MÉTODOS.....	43
4.3.1. <i>Procedimentos de campo</i>	43
4.3.1.1. Dados pluviométricos.....	44
4.3.1.2. Dados fluviométricos.....	44
4.3.1.3. Química da água fluvial.....	45
4.3.1.4. Material particulado em suspensão (MPS).....	45
4.3.1.5. Sedimento (remanso).....	46
4.3.1.6. Caracterização físico-química e da água fluvial.....	46
4.3.1.7. Taxa de respiração, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Utilização aparente de O ₂ (AOU) e Excesso de CO ₂ (Excess-CO ₂).....	46
4.3.1.8. Preparo do material de coleta e acondicionamento.....	47
4.3.2. <i>Análises em laboratório</i>	47
4.3.2.1. Nitrato (NO ₃ ⁻) e Amônio (NH ₄ ⁺).....	47
4.3.2.2. Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) e Nitrogênio Total Dissolvido (NTD).....	48
4.3.2.3. Material Particulado em Suspensão Fino (MPSF) e Grosso (MPSG) e sedimento.....	48
4.3.2.4. Isótopos estáveis δ ¹³ C e δ ¹⁵ N.....	49
4.3.3. <i>Cálculo para ajuste das variáveis químicas e fluxo na bacia do rio Jaguari</i>	50
4.3.3.1. Média padronizada pela vazão.....	50
4.3.4. <i>Método estocástico para cálculo do transporte fluvial das espécies químicas</i>	50
4.3.5. <i>Análise de dados</i>	51
5. RESULTADOS	55
5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS REGIMES PLUVIOMÉTRICOS E FLUVIOMÉTRICOS.....	55
5.2. VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, pH, OXIGÊNIO DISSOLVIDO E TEMPERATURA.....	57
5.3. VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS VARIÁVEIS DE METABOLISMO DO RIO: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO, UTILIZAÇÃO APARENTE DE OXIGÊNIO, EXCESSO DE CO ₂ E TAXA DE RESPIRAÇÃO.....	62
5.4. VARIAÇÃO ESPACIAL DAS PARTIÇÕES DE CARBONO NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.....	67
5.5. DINÂMICA DO NITROGÊNIO NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA E A RELAÇÃO COM O USO DA TERRA.....	74

6. DISCUSSÃO.....	91
6.1. ANÁLISE ESPACIAL DE CARBONO NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA ASSOCIADA A PARÂMETROS SOCIOAMBIENTAIS E METABÓLICOS DO RIO.....	91
6.2. DINÂMICA DO NITROGÊNIO NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA E A RELAÇÃO COM O USO DA TERRA	99
7. CONCLUSÃO.....	105
REFERÊNCIAS.....	107
APÊNDICE A. DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA.....	115

RESUMO

Processos hidrobiogeoquímicos de carbono e nitrogênio em diferentes usos da terra nas mesobacias dos rios Jaguari e Camanducaia

O objetivo deste estudo foi compreender o efeito das mudanças no uso da terra na distribuição e transporte de carbono e nitrogênio, em rios de diferentes ordens nas bacias hidrográficas dos rios Jaguari e Camanducaia. O rio Jaguari tem o rio Camanducaia como um dos seus principais afluentes, e é um importante supridor do sistema de reservatórios "Cantareira", que abastece cerca de seis milhões de habitantes da Região Metropolitana de São Paulo, Brasil. Em cada sub-bacia, iniciou-se em janeiro de 2015 um estudo de um ano hidrológico, para monitoramento de parâmetros de qualidade da água, como pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido e porcentagem (OD), carbono orgânico e inorgânico dissolvido (DOC e DIC), nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrogênio orgânico (NOD), nitrogênio total (TN), temperatura do ar e da água (T °C) e vazão (Q) para monitoramento do ambiente, além de taxa de respiração (TR), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), excesso de CO_2 (Excess- CO_2), utilização aparente de oxigênio (AOU) para análise do metabolismo do rio, e $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para o entendimento da origem do material orgânico particulado. Para isso, 19 estações de amostragem foram selecionadas ao longo dos canais do rio Camanducaia (8 estações) e Jaguari (11 estações), duas estações nos seus principais afluentes Mosquito e Camanducaia Mineiro, respectivamente, e outras duas estações em pequenos riachos nas áreas de cabeça do Jaguari e as bacias hidrográficas de Camanducaia. A exportação de elementos pela mesobacia do rio Jaguari foi avaliada pelos fluxos de carbono, nitrogênio e material particulado em suspensão fino e grosso. Não foi verificada características de anaerobiose nos rios Jaguari e Camanducaia, apesar de terem ocorrido eventos em que Excess- CO_2 ultrapassou $250 \mu\text{M}$. Verificou-se a CE variando entre 15 e $156 \mu\text{S cm}^{-1}$ no rio Jaguari, e de 27 a $175 \mu\text{S cm}^{-1}$ no rio Camanducaia. Os pontos amostrais de áreas preservadas foram em média 5,8 e 3,7 vezes menores que os pontos a jusante no rio Jaguari e Camanducaia, respectivamente. A ACP reduziu as 9 variáveis relacionadas a variação espacial do carbono em 2 componentes, com alto nível de explicação ($p < 0,05$), chamadas de qualidade de água (69,5%) e metabolismo do rio (16%). Os pontos a jusante dos rios foram altamente correlacionados entre si, e com as variáveis químicas (DOC, DIC e DBO) e número de habitantes. Para a dinâmica do nitrogênio relacionada ao uso da terra, covariáveis como CE, NOD, N-NH_4^+ TR e Q, apresentaram relação com os processos oxidativos e foram bons preditores para o nitrato. Ocorreu variação de N-NO_3^- de 3 a $139 \mu\text{M}$ no rio Jaguari e entre 3 e $199 \mu\text{M}$ no rio Camanducaia, obtendo correlação positiva com a CE ($r=0,7$), NOD ($r=0,3$) e inversa com o OD ($r=-0,2$). Assim, as diferentes zonas (cabecera, trecho médio e jusante) da mesobacia do rio Jaguari influenciaram na distribuição de carbono e nitrogênio e essas estão associadas ao tipo de uso da terra, alterando a origem das fontes de N e C da matéria orgânica particulada.

Palavras-chave: Conservação da água; Bacia hidrográfica; Biogeoquímica; Manejo de bacias

ABSTRACT

Hydrobiogeochemical processes of carbon and nitrogen in different land uses in the Jaguari and Camanducaia rivers watershed

The objective was to understand the effect of changes in land use on the distribution and transport of carbon and nitrogen in rivers of different orders in the Jaguari and Camanducaia river basins. The Jaguari River has the Camanducaia River as one of its main tributaries, and is an important supplier of the "Cantareira" reservoir system, which supplies about six million inhabitants of the Metropolitan Region of São Paulo, Brazil. In each medium-sized basin, a hydrological one-year study was initiated in January 2015 to monitor water quality parameters such as pH, electrical conductivity (CE), dissolved oxygen and percentage (OD), organic and inorganic carbon dissolved (DOC; DIC), total nitrogen (TN), air and water temperature (T °C), and flow rate (Q) were determined by the inorganic organic matter (DOC and DIC), nitrate (NO_3^-), ammonium (NH_4^+), nitrite (BOD), excess of CO_2 (Excess- CO_2), apparent oxygen used (AOU) for the analysis of river metabolism, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ to understand the origin of the particulate organic material. For this purpose, 19 sampling stations were selected along the channels of the Camanducaia River (8 stations) and Jaguari (11 stations), two stations in their main tributaries Mosquito and Camanducaia Mineiro, respectively, and two stations in small streams in the headwater of the Jaguari and Camanducaia watersheds. The exportation of elements by the Jaguari river basin was evaluated by the fluxes of carbon, nitrogen and particulate matter in fine and coarse. No anaerobic characteristics were observed in the Jaguari and Camanducaia rivers, although events occurred in which Excess- CO_2 exceeded $250 \mu\text{M}$. CE varied from 15 to $156 \mu\text{S cm}^{-1}$ in the Jaguari River and from 27 to $175 \mu\text{S cm}^{-1}$ in the Camanducaia River. The sample points of preserved areas were on average 5.8 and 3.7 times lower, than in the downstream points in the Jaguari and Camanducaia rivers, respectively. The ACP reduced the 9 variables related to the spatial variation of the carbon in 2 components, with a high level of explanation ($p < 0.05$), called water quality (69.5%) and river metabolism (16%). The points downstream of the rivers were highly correlated with each other, and with the chemical variables (DOC, DIC and BOD) and number of inhabitants. For nitrogen dynamics related to land use, covariates such as EC, NOD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TR and Q, were related to oxidative processes and were good predictors for nitrate. There was a variation of $\text{NO}_3^- \text{ - N}$ between 3 and $139 \mu\text{M}$ in the Jaguari River and 3 to $199 \mu\text{M}$ in the Camanducaia River, obtaining a positive correlation with EC ($r=0.7$), NOD ($r=0.3$) and inverse OD ($r=-0.2$). Thus, the different zones (headwater, middle stretch and downstream) of the basin of the Jaguari River influenced the distribution of carbon and nitrogen and these are associated with the type of land use, changing the origin of N and C sources of particulate organic matter.

Keywords: Water conservation; Watershed; Biogeochemistry; Watershed management

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. RESULTADOS DA PORCENTAGEM DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD), DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO), NITRATO (NO₃⁻) E COLIFORME TOTAL (TC), PARÂMETROS COM SINAL AZUL POSITIVO OU NEGATIVO INDICAM BOA QUALIDADE DA ÁGUA, SINAL DE IGUALDADE SÃO VALORES NA MÉDIA EM TODOS OS PONTOS AVALIADOS DE 1987 A 1994 (CETESB), OS SINAIS VERMELHO NEGATIVO OU POSITIVO DEMONSTRAM VALORES PREJUDICIAIS A BACIA DO RIO PIRACICABA, ADAPTADO DE KRUSCHE ET AL. (1997).	24
FIGURA 2. MESOBACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARI COM ALOCAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA AO LONGO DOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.	30
FIGURA 3. MAPA GEOMORFOLÓGICO DA MESOBACIA DO RIO JAGUARI. FONTE: ADAPTADO DE IPT (1981B).	32
FIGURA 4. MAPA DAS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLOS NA MESOBACIA DO RIO JAGUARI. FONTE: ADAPTADO DE PBH-PCJ 2010-2020, 2010 – MAPA 5.	34
FIGURA 5. PLUVIOMETRIA MÉDIA ANUAL NAS BACIAS PCJ NOS ANOS DE (A) 2014 E (B) 2015. FONTE: RELATÓRIO DE SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS PCJ, 2015 E 2016.	35
FIGURA 6. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA ACUMULADA MENSAL EM 2015 NA MESOBACIA DO RIO JAGUARI. FONTE: DAEE 2016.	36
FIGURA 7. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR (°C) EM LINHA CONTÍNUA E DA TEMPERATURA DA ÁGUA (°C) EM LINHA PONTILHADA. (A) MEDIDAS NOS PONTOS DE COLETA NOS RIOS JAGUARI (B) MEDIÇÕES NOS PONTOS DE COLETA NO RIO CAMANDUCAIA (B) AO LONGO DO ANO DE 2015.	36
FIGURA 8. LOCAIS EM QUE FORAM COLETADAS AMOSTRAS DO RIO JAGUARI ORDENADAS DE MONTANTE A JUSANTE (J1 A J11); E O JT-TRIBUTÁRIO (CAMANDUCAIA MINEIRO) QUE TEM SUA CONFLUÊNCIA ENTRE OS PONTOS J4 E J5 COM O RIO JAGUARI, E O CÓRREGO DE CABECEIRA EM MONTE VERDE/MG (JN1).	39
FIGURA 9. LOCAIS EM QUE FORAM COLETADAS AMOSTRAS NO RIO CAMANDUCAIA (OU GUARDINHA) DA MONTANTE A JUSANTE (C1 A C8); SEU TRIBUTÁRIO RIO MOSQUITO (CT) QUE DESÁGUA NO RIO CAMANDUCAIA ENTRE OS PONTOS C4 E C5, E O CÓRREGO DE CABECEIRA EM TOLEDO/MG (CN1).	40
FIGURA 10. METODOLOGIA DE CORTE PARA SUBDIVISÃO DE BACIAS EM OTTOBACIAS (NÍVEL 6). FONTE: EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2017.	41
FIGURA 11. USO DA TERRA NA MESOBACIA DO RIO JAGUARI EM ESCALA DE 1:100.000. FONTE: EMBRAPA MEIO AMBIENTE 2017.	41
FIGURA 12. PRECIPITAÇÃO ACUMULADA DE 14 E 30 DIAS ANTES DAS COLETAS DE DADOS E VAZÃO INSTANTÂNEA AO LONGO DO ANO DE 2015 NA BACIA DO RIO JAGUARI. LIMITE MÍNIMO PARA SER CONSIDERADO UM MÊS CHUVOSO COM PRECIPITAÇÃO DE 30 DIAS (LINHA VERMELHA SÓLIDA) E LIMITE MÍNIMO PARA SER CONSIDERADO UM MÊS CHUVOSO COM PRECIPITAÇÃO DE 14 DIAS (LINHA VERMELHA PONTILHADA).	56
FIGURA 13. REGIME FLUVIOMÉTRICO POR PONTO DE COLETA NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.	57
FIGURA 14. VARIAÇÃO ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE) AO LONGO DOS PONTOS DE COLETA NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA. <i>BOXPLOT</i> COM LINHA VERMELHA PONTILHADA REPRESENTANDO A MÉDIA E LINHA PRETA SÓLIDA A MEDIANA; EXTREMIDADES SÃO VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS (N° TOTAL=276).	58
FIGURA 15. VARIAÇÃO ESPACIAL DO PH AO LONGO DOS PONTOS DE COLETA NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA. <i>BOXPLOT</i> COM LINHA VERMELHA PONTILHADA	

REPRESENTANDO A MÉDIA E LINHA PRETA SÓLIDA A MEDIANA; EXTREMIDADES SÃO VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS (N ° TOTAL=276).....	58
FIGURA 16. DISPERSÃO DOS DADOS DAS PARTIÇÕES DE NITROGÊNIO EM RELAÇÃO A A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE) COM VALORES TRANSFORMADOS EM LOG NATURAL. ..	75
FIGURA 17. VAZÃO INSTANTÂNEA MEDIDA NAS DATAS DE COLETA, COMPARADA À DISTRIBUIÇÃO DO N-NO ₃ ⁻ NAS DIFERENTES ZONAS AO LONGO DOS MESES NA BACIA DO RIO JAGUARI E TESTE DE MÉDIAS DO MODELO LINEAR GENERALIZADO (N=192). (A) VAZÃO; (B) CABECEIRA (C) TRECHO MÉDIO; (D) JUSANTE; (E) COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA DAS ZONAS DOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.	81
FIGURA 18. QUALIDADE DE ÁGUA (C1- EIXO X) E N NATURAL/ N ANTROPOGÊNICO (C2 - EIXO Y) DA ACP COM A DEMONSTRAÇÃO DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS E OS PONTOS DE COLETA AO LONGO DOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA (N= 23). EM QUE: OD, OXIGÊNIO DISSOLVIDO; CE, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA; MSPG, MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO GROSSO; TR, TAXA DE RESPIRAÇÃO; USO DA TERRA (%): C.A., CANA-DE-AÇÚCAR; H.F, HORTÍCOLAS E FLORÍFERAS; URB., URBANO; L.PERM., LAVOURA PERMANENTE; L.TEM., LAVOURA TEMPORÁRIA; SILV., SILVICULTURA; V.FLOR., VEGETAÇÃO NATURAL FLORESTAL.	83
FIGURA 19. QUALIDADE DE ÁGUA (C1- EIXO X) E USO DA TERRA (C3 - EIXO Y) DA ACP COM A DEMONSTRAÇÃO DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS E OS PONTOS DE COLETA AO LONGO DOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA (N= 23). PARÂMETROS: OD, OXIGÊNIO DISSOLVIDO; CE, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA; MSPG, MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO GROSSO; TR, TAXA DE RESPIRAÇÃO; USO DA TERRA (%): C.A., CANA-DE-AÇÚCAR; H.F, HORTÍCOLAS E FLORÍFERAS; URB., URBANO; L.PERM., LAVOURA PERMANENTE; L.TEM., LAVOURA TEMPORÁRIA; SILV., SILVICULTURA; V.FLOR., VEGETAÇÃO NATURAL FLORESTAL.	84
FIGURA 20. δ ¹³ C E δ ¹⁵ N DA MATÉRIA ORGÂNICA TRANSPORTADA NA BACIA DO RIO JAGUARI. (A) MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO GROSSO (MOP-G); (B) MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO FINO (MOP-F).	87
FIGURA 21. ANÁLISE DE CLUSTER DOS PONTOS DE COLETA NA MESOBACIA DO RIO JAGUARI, CONSIDEROU-SE AS MÉDIAS PADRONIZADAS PELA VAZÃO E PARA A ANÁLISE DADOS PADRONIZADOS ESTATISTICAMENTE.....	91
FIGURA 22. UTILIZAÇÃO APARENTE DE OXIGÊNIO (AOU μM) E EXCESSO DE CO ₂ (EXCESS – CO ₂ μM) NO RIO JAGUARI, A,B) PONTOS DA CABECEIRA; C,D) PONTOS DO TRECHO MÉDIO; E,F) PONTOS DA JUSANTE. LINHAS PONTILHADAS CARACTERIZAM ANAEROBIOSE E SATURAÇÃO DE CO ₂	92
FIGURA 23. UTILIZAÇÃO APARENTE DE OXIGÊNIO (AOU μM) E EXCESSO DE CO ₂ (EXCESS – CO ₂ μM) NO RIO CAMANDUCAIA, A,B) PONTOS DA CABECEIRA; C,D) PONTOS DO TRECHO MÉDIO; E,F) PONTOS DA JUSANTE. LINHAS PONTILHADAS CARACTERIZAM ANAEROBIOSE E SATURAÇÃO DE CO ₂	93
FIGURA 24. DISTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS E DOS PONTOS DE COLETA PARA AS COMPONENTES PRINCIPAIS 1 E 2, QUALIDADE DE ÁGUA E METABOLISMO DO RIO, RESPECTIVAMENTE.....	97
FIGURA 25. PONTO JN1, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	115
FIGURA 26. PONTO J1, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).	116
FIGURA 27. PONTO J2, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).	116
FIGURA 28. PONTO J2, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).	116
FIGURA 29. PONTO J4, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).	117
FIGURA 30. PONTO JT, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	117
FIGURA 31. PONTO J5, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).	118
FIGURA 32. PONTO J6, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).	118
FIGURA 33. PONTO J7, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).	118

FIGURA 34. PONTO J8, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	119
FIGURA 35. PONTO J9, IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	119
FIGURA 36. PONTO J10; DESTAQUE (CÍRCULO VERMELHO) PARA A INDÚSTRIA NA MARGEM; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	120
FIGURA 37. PONTO J10; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	120
FIGURA 38. PONTO CN1; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	121
FIGURA 39. PONTO C1; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	121
FIGURA 40. PONTO C2; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	122
FIGURA 41. PONTO C3; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	122
FIGURA 42. PONTO C4; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	123
FIGURA 43. PONTO C5; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	123
FIGURA 44. PONTO CT; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	124
FIGURA 45. PONTO C6; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	124
FIGURA 46. PONTO C7; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	125
FIGURA 47. PONTO C7; IMAGEM DO <i>GOOGLE EARTH</i> (2018).....	125

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES (μM) DE NITROGÊNIO TOTAL (TN), NITROGÊNIO INORGÂNICO (N-NO_3^-; N-NO_4^+; N-NO_2), NITROGÊNIO ORGÂNICO (NOD), CARBONO ORGÂNICO (DOC) E CARBONO INORGÂNICO DISSOLVIDOS EM RIOS DA BACIA DO PIRACICABA.	22
TABELA 2. FLUXO ($\text{KG KM}^{-2} \text{ A}^{-1}$) DE CARBONO ORGÂNICO (FDOC) E INORGÂNICO DISSOLVIDO (FDIC) E CONCENTRAÇÃO (μM) DE CARBONO ORGÂNICO (DOC) E INORGÂNICO (DIC) DISSOLVIDO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE DIFERENTES ESCALAS. 26	26
TABELA 3. DETALHAMENTO DAS PRINCIPAIS FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS DA MESOBACIA DO RIO JAGUARI.....	33
TABELA 4. CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA NO RIO JAGUARI E CAMANDUCAIA.	38
TABELA 5. CLASSES DE COBERTURA E USO DA TERRA CALCULADO SEGUNDO A ÁREA DE INFLUÊNCIA DEFINIDA PELA OTTOBACIAS (NÍVEL 6) PARA AS ZONAS DE CABECEIRA, TRECHO MÉDIO , JUSANTE E TRIBUTÁRIO NO RIO JAGUARI.....	42
TABELA 6. CLASSES DE COBERTURA E USO DA TERRA EM KM^2 CALCULADO SEGUNDO A ÁREA DE INFLUÊNCIA DEFINIDA PELA OTTOBACIAS (NÍVEL 6) PARA AS ZONAS DE CABECEIRA, TRECHO MÉDIO, JUSANTE E TRIBUTÁRIO NO RIO CAMANDUCAIA.	42
TABELA 7. PARÂMETROS SOCIOAMBIENTAIS DA BACIA DO RIO JAGUARI.....	43
TABELA 8. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS ENCONTRADAS NO SITE DO DAEE PARA OS MUNICÍPIOS DA BACIA DO RIO JAGUARI.....	44
TABELA 9. ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO JAGUARI UTILIZADAS PARA ANÁLISE DA VAZÃO ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) DO ANO DE 2015.	45
TABELA 10. ÁREA DE INFLUÊNCIA EM km^2 MEDIDAS EM CADA ZONA DAS BACIAS DOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.....	51
TABELA 11. TABELA XX. MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON A PARTIR DO CONJUNTO TOTAL DE DADOS DA BACIA DO RIO JAGUARI DE PLUVIOMETRIA, VAZÃO, PH, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO, CARBONO ORGÂNICO E INORGÂNICO DISSOLVIDO.	55
TABELA 12. MÉDIA PONDERADA PELA VAZÃO (Nº POR PONTO DE COLETA=12), VALOR MÁXIMO E MÍNIMO DOS PARÂMETROS FÍSICOS (OXIGÊNIO DISSOLVIDO, SATURAÇÃO DE OXIGÊNIO E TEMPERATURA) DA ÁGUA E TEMPERATURA DO AR NOS 23 PONTOS AMOSTRAIS AO LONGO DOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.	59
TABELA 13. DADOS MÉDIOS PONDERADOS PELA VAZÃO, VALOR MÁXIMO, MÍNIMO E ERRO PADRÃO (Nº POR PONTO DE COLETA=4) DA MÉDIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E DA VAZÃO NO PERÍODO CHUVOSO AO LONGO DOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.....	60
TABELA 14. DADOS MÉDIOS PONDERADOS PELA VAZÃO, VALOR MÁXIMO, MÍNIMO E ERRO PADRÃO DA MÉDIA (Nº POR PONTO DE COLETA=8) DA MÉDIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E DA VAZÃO NO PERÍODO SECO AO LONGO DOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.	61
TABELA 15. VARIAÇÃO ESPACIAL (Nº POR PONTO DE COLETA=12; MÉDIA PONDERADA PELA VAZÃO) DAS VARIÁVEIS DE METABOLISMO DO RIO POR ESTAÇÃO DE COLETA DE MONTANTE PARA JUSANTE NOS RIOS JAGUARI (JN1 A JT) E CAMANDUCAIA (CN1 A CT). ...	63
TABELA 16. VARIAÇÃO DO PERÍODO SECO (Nº POR PONTO DE COLETA=8; MÉDIA PONDERADA PELA VAZÃO) DAS VARIÁVEIS DE METABOLISMO DO RIO POR ESTAÇÃO DE COLETA DE MONTANTE PARA JUSANTE NOS RIOS JAGUARI (JN1 A JT) E CAMANDUCAIA (CN1 A CT).	65
TABELA 17. VARIAÇÃO DO PERÍODO CHUVOSO (Nº POR PONTO DE COLETA=4; MÉDIA PONDERADA PELA VAZÃO) DAS VARIÁVEIS DE METABOLISMO DO RIO POR ESTAÇÃO DE	

COLETA DE MONTANTE PARA JUSANTE NOS RIOS JAGUARI (JN1 A JT) E CAMANDUCAIA (CN1 A CT).....	66
TABELA 18. VARIAÇÃO ESPACIAL (Nº POR PONTO DE COLETA =12; MÉDIA PONDERADA PELA VAZÃO) DO CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO, CARBONO INORGÂNICO DISSOLVIDO, CARBONO ORGÂNICO PARTICULADO DO MATERIAL TRANSPORTADO FINO E GROSSO POR ESTAÇÃO DE COLETA DE MONTANTE PARA JUSANTE NOS RIOS JAGUARI (JN1 A JT) E CAMANDUCAIA (CN1 A CT).....	70
TABELA 19. VARIAÇÃO ESPACIAL (Nº POR PONTO DE COLETA =12; MÉDIA PONDERADA PELA VAZÃO) DO ÍON BICARBONATO, ÍON CARBONATO, DIÓXIDO DE CARBONO AQUOSO E PRESSÃO PARCIAL DE DIÓXIDO DE CARBONO POR ESTAÇÃO DE COLETA DE MONTANTE PARA JUSANTE NOS RIOS JAGUARI (JN1 A JT) E CAMANDUCAIA (CN1 A CT).....	71
TABELA 20. VARIAÇÃO DO PERÍODO CHUVOSO (Nº POR PONTO DE COLETA=4; MÉDIA PONDERADA PELA VAZÃO) DO CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO, CARBONO INORGÂNICO DISSOLVIDO, CARBONO ORGÂNICO PARTICULADO DO MATERIAL TRANSPORTADO FINO E GROSSO POR ESTAÇÃO DE COLETA DE MONTANTE PARA JUSANTE NOS RIOS JAGUARI (JN1 A JT) E CAMANDUCAIA (CN1 A CT).	72
TABELA 21. VARIAÇÃO DO PERÍODO CHUVOSO (Nº POR PONTO DE COLETA=4; MÉDIA PONDERADA PELA VAZÃO) DO ÍON BICARBONATO, ÍON CARBONATO, DIÓXIDO DE CARBONO AQUOSO E PRESSÃO PARCIAL DE DIÓXIDO DE CARBONO POR ESTAÇÃO DE COLETA DE MONTANTE PARA JUSANTE NOS RIOS JAGUARI (JN1 A JT) E CAMANDUCAIA (CN1 A CT).DO PERÍODO SECO (Nº POR PONTO DE COLETA=8; MÉDIA PONDERADA PELA VAZÃO) DO ÍON BICARBONATO, ÍON CARBONATO, DIÓXIDO DE CARBONO AQUOSO E PRESSÃO PARCIAL DE DIÓXIDO DE CARBONO POR ESTAÇÃO DE COLETA DE	73
TABELA 22. TRANSPORTE ESPECÍFICO EM KG KM⁻² ANO⁻¹ DE CARBONO ORGÂNICO (DOC) E INORGÂNICO DISSOLVIDO (DIC) EM CÁLCULO MÉDIO E PERÍODOS SAZONAIS NAS BACIAS DOS RIOS JAGUARI (J) E CAMANDUCAIA (C).....	74
TABELA 23. VARIAÇÃO ESPACIAL (N=12) DE N DO NITRITO, N DO NITRATO, N DO AMÔNIO, NITROGÊNIO INORGÂNICO DISSOLVIDO E NITROGÊNIO ORGÂNICO DISSOLVIDO NOS PONTOS DE COLETA DOS RIOS JAGUARI E CMAMANDUCAIA.	76
TABELA 24. VARIAÇÃO DO PERÍODO CHUVOSO (Nº POR PONTO DE COLETA=4) DO N DO NITRITO, N DO NITRATO, N DO AMÔNIO, NITROGÊNIO INORGÂNICO DISSOLVIDO E NITROGÊNIO ORGÂNICO DISSOLVIDO POR ESTAÇÃO DE COLETA DE MONTANTE PARA JUSANTE NOS RIOS JAGUARI (JN1 A JT) E CAMANDUCAIA (CN1 A CT).	77
TABELA 25. VARIAÇÃO DO PERÍODO SECO (Nº POR PONTO DE COLETA=8) DO N DO NITRITO, N DO NITRATO, N DO AMÔNIO, NITROGÊNIO INORGÂNICO DISSOLVIDO E NITROGÊNIO ORGÂNICO DISSOLVIDO POR ESTAÇÃO DE COLETA DE MONTANTE PARA JUSANTE NOS RIOS JAGUARI (JN1 A JT) E CAMANDUCAIA (CN1 A CT).	78
TABELA 26. DEMONSTRAÇÃO DOS MODELOS LINEARES GENERALIZADOS (GLM) ENCAIXADOS TESTADOS COM O DETALHAMENTO DOS EFEITOS PRINCIPAIS, INTERAÇÕES E TESTES DE SIGNIFICÂNCIA E ESCOLHA DO MELHOR MODELO.....	79
TABELA 27. EFEITO DAS VARIÁVEIS TESTADAS NO MODELO 6. RESPOSTA N-NO₃⁻	80
TABELA 28. MATRIZ DE CORRELAÇÃO DA ACP ENTRE AS VARIÁVEIS TESTADAS.	82
TABELA 29. δ¹³C E δ¹⁵N (‰) DA MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO FINO (MOP-F) E GROSSO (MOP-G) NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.	86
TABELA 30. δ¹³C E δ¹⁵N DO SEDIMENTO FRACIONADO EM FINO (<63 μm) E GROSSO (>63 μm) E VALORES MÉDIO NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA.....	87
TABELA 31. FLUXO TRANSPORTE ESPECÍFICO EM kg km⁻² ano⁻¹ DAS PARTIÇÕES DE NITROGÊNIO E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO NOS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA EM DADOS MÉDIOS E PERÍODO SAZONAL.....	89
TABELA 32. MATRIZ DE CORRELAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTE PRINCIPAL DAS VARIÁVEIS TESTADAS.	96

TABELA 33. FLUXO NITROGÊNIO EM $\text{kg N km}^{-2} \text{ano}^{-1}$ CALCULADO PARA AS SEGUINTE FONTES, FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO (BNF), A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N BIOLÓGICO (BNF-AGR.), FERTILIZANTES, DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA E A IMPORTAÇÃO/EXPORTAÇÃO DE ALIMENTOS E RAÇÃO PARA ANIMAIS. 101

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água para populações humanas depende da estabilidade dos ecossistemas terrestres, que por sua vez depende da dinâmica dos nutrientes ao longo do contínuo solo-água-atmosfera (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). No entanto, essa dinâmica vem sendo alterada pela intensificação das atividades antropogênicas. Em escala global, a expansão populacional das sociedades humanas e o contínuo crescimento econômico aumentaram as demandas por água doce e potável (Silva et al., 2016). Padoxalmente, apesar do aumento na demanda, a qualidade das águas, das quais as atividades humanas tanto dependem, vem diminuindo progressivamente em várias partes do globo (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

No Brasil, a agricultura é responsável por cerca de 60% da demanda total (OECD-FAO, 2015). Paralelamente, projeta-se que o aumento de áreas agricultáveis no país entre 2006 e 2030, pode causar uma perda aproximada de 1 milhão de hectares da vegetação natural na região Amazônica, 400 mil hectares na região do Cerrado e 50 mil hectares na região da Mata Atlântica (World Bank, 2010). O impacto do uso da terra sobre os recursos hídricos em bacias hidrográficas é relatado em diversos estudos conduzidos em vários continentes (Dodds, Oakes, 2008; Whitehead et al., 2009; Rai et al., 2010; Andrade et al., 2011; Markewitz et al., 2011; Silva et al., 2012; Vazquez et al., 2013; Amarathunga, Kazama, 2016). Especialmente, o desordenado e elevado crescimento populacional associado ao alto nível de urbanização são fatores que afetam negativamente a qualidade da água (Martinelli et al., 1999; Ouyang et al., 2006; Ternus et al., 2011; Shi et al., 2017).

A utilização eficiente e sustentável da água doce global depende do entendimento dos processos que regulam a distribuição de espécies químicas nas bacias hidrográficas, e de como os efeitos de mudanças no uso da terra alteram esses processos. No entanto, nos últimos anos, em países emergentes como o Brasil, as modificações no uso da terra, causadas pela agricultura e pecuária e a não adoção por práticas agrícolas que minimizem os impactos ambientais, tem levado a uma intensificação insustentável, contrariando a teoria preconizada da “intensificação sustentável” da agricultura (Tilman et al., 2011; Davis et al., 2016).

Essa intensificação, somada ao desenvolvimento urbano desordenado, alteram no ambiente terrestre a dinâmica do carbono e de nutrientes essenciais como nitrogênio e fósforo (Fowler et al., 2015; Galloway et al., 2008; Galloway, Leach, 2016). Além dessas alterações, fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais e nutrientes associados também são alterados, gerando impactos significativos na qualidade da água em bacias hidrográficas (Germer et al., 2009; Martinelli et al., 2010; Bustamante et al., 2015). Nesse sentido, é fundamental investigar os impactos dominantes em uma bacia hidrográfica e como esses alteram os processos biogeoquímicos que regular a distribuição de espécies químicas essenciais, tendo como paradigma que os rios são integradores de processos que ocorrem nas respectivas bacias hidrográficas.

O rio Jaguari é juntamente com o rio Atibaia, formador do rio Piracicaba. Esse rio é considerado um dos rios menos alterados da bacia do rio Piracicaba e várias cidades da região dependem do Jaguari para abastecimento público. No entanto, atualmente, a intensificação agrícola e o número de habitantes tem aumentado na sub-bacia do rio Jaguari, aumentando a poluição tanto por fontes difusa como por fontes pontuais, necessitando de medidas administrativas imediatas da gestão da água para o seu uso sustentável (Ramos et al., 2016). Vale ressaltar também, que o rio Jaguari é também um importante supridor do Sistema Cantareira, que abastece aproximadamente 6 milhões de habitantes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A mesma RMSP que enfrentou uma grave crise de abastecimento de água no ano de 2015, devido a uma estiagem sem precedentes ao longo do último século. O volume

da água no reservatório diminuiu a partir de meados 2013 e a capacidade operacional foi esgotada em julho de 2014, sendo necessária posteriormente, a utilização do “volume morto” (Coutinho et al., 2015).

No contexto dos elementos condicionantes à manutenção da vida, o carbono e o nitrogênio exercem papel primordial nos principais processos ecossistêmicos como, por exemplo: fixação biológica de nitrogênio e sequestro de carbono, que direta ou indiretamente afetam a percepção humana de bem-estar através dos serviços ecossistêmicos (Watanabe; Ortega, 2011). Evidências científicas, quanto às alterações de ações antropogênicas nas vias de ciclagem global do nitrogênio (Vitousek et al., 1997) e do carbono, provam a modificação na quantidade desses elementos nos recursos hídricos, o que provoca distúrbios ecológicos.

O uso da variação da composição isotópica de constituintes naturais na interface solo-planta-água-atmosfera, como material em suspensão e sedimentos de rios, por exemplo, possibilita entender o estabelecimento das vias de ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres e aquáticos e a determinação de fontes de poluição (Lajtha; Michener, 1994). Tal observação pode auxiliar no planejamento de uma bacia hidrográfica, embasando o gerenciamento dos recursos hídricos visando a adoção de práticas sustentáveis.

Diante da real necessidade da conservação dos recursos hídricos, este trabalho visa entender quais processos da dinâmica de carbono e nitrogênio, precisam ser potencializados para a utilização eficiente da água em uma sociedade, como aquela usuária dos recursos hídricos dos estados de São Paulo e Minas Gerais.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Investigar a distribuição e o transporte de carbono e nitrogênio em rios das bacias hidrográficas dos rios Jaguari e Camanducaia, relacionando a distribuição desses elementos com processos biogeoquímicos naturais e aqueles intensificados por ações humanas

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as variações espaço-temporais nas concentrações e fluxos de nitrogênio e carbono, tanto nas suas formas orgânicas como inorgânico.
- Mensurar a quantidade de material particulado em suspensão transportado pelos rios estudados;
- Investigar as fontes da matéria orgânica presentes no meio fluvial pela utilização de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio, no material particulado em suspensão e no sedimento depositado;
- Relacionar as mudanças no uso da terra com possíveis alterações nos fluxos de carbono e nitrogênio.

2.3. Hipóteses

- A magnitude das concentrações e fluxos de carbono e nitrogênio nos rios Jaguari e Camanducaia serão mais elevada quanto mais intensa forem as atividades antrópicas que ocorrem nas respectivas bacias hidrográficas;
- O material particulado em suspensão e o sedimento de leito dos rios guardam sinais relacionados as mudanças de uso do solo que ocorreram nas bacias hidrográficas;
- O aumento populacional e expansão das zonas urbanas das cidades das sub-bacias dos rios Jaguari e Camanducaia aliada a falta de gestão dos recursos hídricos se refletirá em maiores fluxos de carbono e nitrogênio nas bacias hidrográficas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Cenário de desenvolvimento e a bacia do rio Piracicaba: aspectos gerais

O Brasil é um dos países da América do Sul que mais exporta água no mundo, contabilizando sua produção agrícola, com uma exportação líquida de 54,8 bilhões m^3 ano⁻¹, principalmente para a Europa e China (Silva et al., 2016). Atualmente, uma das peças chaves da economia global da era do antropoceno são os recursos hídricos, pois o comércio de exportação incluindo os produtos agrícolas é uma maneira indireta de transferência de água de um país para o outro (Chapagain et al., 2006). A América do Sul exporta significativa quantidade de água para todos os continentes do mundo, exceto à América do Norte (Dalin et al., 2012; Mekonnen et al., 2015).

Na perspectiva de desenvolvimento econômico do Brasil, está inserida a bacia do rio Piracicaba no estado de São Paulo, localizada no estado mais industrializado e populoso do Brasil, apresentando uma das maiores exportações de “água virtual” no mundo. No período de 1997 a 2012, exportou de 500 a 11400 m^3 ano⁻¹ de água com produtos agrícolas processados (Silva et al., 2016). São Paulo é o principal centro econômico do país, tanto pela presença e concentração de atividades, como também por destacar-se na área de inovação (Montenegro et al., 2011), representando 35% do ICMS e 12% do PIB nacional (IBGE, 2011; SEFA, 2015).

Essas características estratégicas da bacia do Piracicaba aumentam a responsabilidade com a integridade do recurso hídrico dessa bacia, no qual, além da irregularidade na oferta de água por causa das mudanças climáticas (Coutinho et al., 2015), a bacia sofre também uma acelerada degradação da qualidade da água. Em 14 anos, as concentrações de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) aumentaram em 14 e 57% (Tabela 1), respectivamente, no trecho à jusante da bacia do rio Piracicaba (Filoso et al., 2003; Vendramini et al., 2013).

Tabela 1. Comparação das concentrações (μM) de nitrogênio total (TN), nitrogênio inorgânico ($N-NO_3^-$; $N-NO_4^+$; $N-NO_2^-$), nitrogênio orgânico (NOD), carbono orgânico (DOC) e carbono inorgânico dissolvidos em rios da bacia do Piracicaba.

Rio	Cidade/ Estado-SP	TN	$N-NO_3^-$	$N-NH_4^+$	$N-NO_2^-$	NOD	DIC	DOC	Referência
Atibaia+ Jaguari+ Camanduia	-	-	44	0	-	-	395	212	Martinelli et al. (1999)
Atibaia+ Piracicaba	-	-	52	35	-	-	694	321	Martinelli et al. (1999)
Jaguari	Morungaba	129	36	14	7	71	-	-	Filoso et al. (2003)
Jaguari+ Camanduia	Cosmópolis	143	57	7	21	57	-	-	Filoso et al. (2003)
Piracicaba	Piracicaba	189	68	32	14	75	-	-	Filoso et al. (2003)
	Piracicaba	-	-	-	-	-	1154	559	Mortatti et al. (2006)
	Piracicaba	-	79	74	-	-	-	-	Vendramini et al. (2013)

* Células sem resultados (-) significam que a espécie química não foi avaliada no artigo em questão.

O cenário de expectativas positivas de desenvolvimento nessa região vem sendo ameaçado pela pressão do crescimento da demanda de água, devido a densidade populacional e aos efeitos das mudanças climáticas, que estão afetando negativamente os padrões de disponibilidade hídrica regional e global (Orlowsky et al., 2014). Medidas efetivas e urgentes de controle e gestão precisam ser tomadas visando tornar o uso da água mais eficiente e sustentável (Silva et al., 2016), para evitar o comprometimento da segurança hídrica, alimentar e econômica das gerações futuras, principalmente em áreas de intensa atividade antrópica.

3.2. Impactos do uso da terra na qualidade da água

A agricultura extensiva no estado de São Paulo começou no século XVII com substituição da vegetação nativa por plantios de café e cana de açúcar (Filoso et al., 2006). A acelerada mudança no uso da terra pela agricultura e desenvolvimento populacional desordenado na bacia do rio Piracicaba, reflete-se no aumento nas concentrações de nitrogênio e carbono na água (Krusche et al., 2002; Mortatti; Probst, 2010; Botelho et al. 2013; Vendramini et al., 2013).

Em estudo conduzido nos anos de 1995 a 1997, o aporte de esgoto na parte média da bacia do Piracicaba foi avaliada como um dos responsáveis para o aumento do carbono orgânico e inorgânico dissolvido na jusante do rio (Martinelli et al., 1999). Comparando-se com dados gerados 5 anos depois por Mortatti et al. (2006), observou-se um acréscimo de 43 e 40%, nas concentrações médias de carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono inorgânico dissolvido (CID), respectivamente, na bacia do rio Piracicaba (Tabela 1).

No Brasil, com a aceleração da expansão da agricultura, em 10 anos (2004 – 2014) o consumo de fertilizantes químicos (N-P-K) aumentou em 26%, ocorrendo separadamente um aumento de 41% no uso de nitrogênio, 19% no de fósforo e 23% no de potássio (FAOESTAT, 2016), colaborando com o crescimento das exportações dos setores agrícolas e indústrias agro-alimentares em 36% da demanda total no ano de 2013 (OECD-FAO, 2015). Esse acréscimo proporcionou a manutenção da elevada demanda atual de produção de alimentos (Tilman et al., 2011), que compõe a dieta global média suportada pelos seguintes elementos: 776 m³ H₂O, 15,3 kg N, 299 kg CO₂eq e 0,85 ha (Davis et al., 2016).

O uso indiscriminado de fertilizantes, segundo Erisman et al. (2013), interfere no ciclo do nitrogênio provocando um efeito em cascata que afeta negativamente os componentes do ecossistema, como os rios por exemplo. Tilman et al. (2011), afirmaram que a demanda global de alimentos tem aumentado de forma acelerada e na mesma proporção que os impactos ambientais da expansão agrícola têm atingindo os recursos hídricos.

Avanços das mudanças antrópicas na bacia do rio Piracicaba se expandiram para trechos da bacia que há 20 anos eram considerados não poluídos (Martinelli et al., 1999) como as sub-bacias dos rios Jaguari e Camanduaia. Em uma análise de 16 anos de dados de 1978 a 1994 (Figura 1), verificou-se a variabilidade espacial e temporal da qualidade de água na bacia do rio Piracicaba e considerou-se que o rio Jaguari apresentava o menor impacto na qualidade de água em comparação com os rios Atibaia, Corumbataí e Piracicaba (Krusche et al., 1997).

Esses impactos são causados, principalmente, por cargas difusas geradas em áreas rurais a partir do escoamento superficial da água no solo agrícola, carreando agroquímicos (como nitrogênio e fósforo) e sedimento (Mansor; Filho; Roston, 2006), os quais provocam elevação dos fluxos transportados de carbono e nitrogênio em bacias hidrográficas.

Ballester et al. (1999) verificaram que as cabeceiras do rio Piracicaba apresentaram melhor qualidade de metabolismo aquático em relação a jusante, pois foram encontrados baixas taxas de respiração e valores médios elevados de O_2 dissolvido na água de $8,4 \text{ mg L}^{-1}$, sendo 45% maior que na jusante. No rio Jaguari ocorreu CO_2 de $\approx 45 \text{ } \mu\text{M}$ na baixa vazão e $\approx 35 \text{ } \mu\text{M}$ na alta vazão, diferentemente das águas do rio Piracicaba, que teve faixa de variação de 115 a $170 \text{ } \mu\text{M}$.

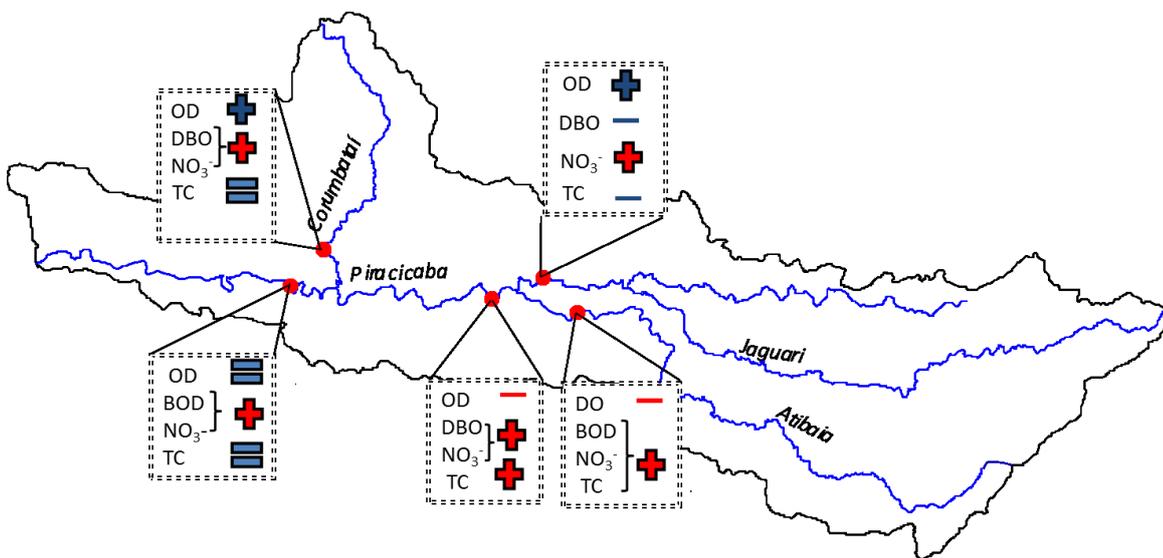


Figura 1. Resultados da porcentagem de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato (NO_3^-) e coliforme total (TC), parâmetros com sinal azul positivo ou negativo indicam boa qualidade da água, sinal de igualdade são valores na média em todos os pontos avaliados de 1987 a 1994 (CETESB), os sinais vermelho negativo ou positivo demonstram valores prejudiciais a bacia do rio Piracicaba, adaptado de Krusche et al. (1997).

Salomão et al. (2008), após 5 anos, estudaram a dinâmica de CO_2 e O_2 em bacias com impacto antropogênico no estado de São Paulo, e encontraram altas taxas de respiração na faixa de $0,65$ a $2 \text{ } \mu\text{M O}_2 \text{ h}^{-1}$, baixa saturação de O_2 dissolvido na água, na faixa de 20 a 40%, e alta pressão parcial de CO_2 , assumindo que o metabolismo do rio Piracicaba pode ser influenciado pelo uso da terra da bacia hidrográfica, pois encontraram correlações significativas entre a taxa de respiração (0,6) e O_2 dissolvido (-0,7) com a urbanização.

Filoso et al. (2003), verificaram que o rio Jaguari apresentou concentrações médias menores em 32 e 67% de NO_3^- e NH_4^+ , respectivamente, quando comparadas com as do rio Piracicaba nos anos de 1995 a 1997, e que o Jaguari também foi menor em 19 e 92% de NO_3^- e NH_4^+ , respectivamente, que as concentrações encontradas no ponto mais a jusante no rio Atibaia.

Mansor et al. (2006), no período de 1996-2002, em estudo no rio Jaguari após a junção com o rio Camanducaia, verificaram carga média transportada da zona rural de $230 \text{ kg N km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. Filoso et al. (2003) consideraram aporte total por fertilização de $\approx 3318 \text{ kg N km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, tendo a pastagem como uso da terra de maior influência na bacia entre os anos de 1995 e 1997. Em paralelo, na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, impactada por pastagem e cana de açúcar na sua porção inferior do estado do rio de Janeiro, Figueiredo et al. (2011) estimaram $370 \text{ kg N km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ de carga transportada de nitrogênio total dissolvido (NTD).

A exportação de NTD, no período de 1995 a 1997, na bacia do rio Piracicaba foi de aproximadamente $1750 \text{ kg N km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ com 29% do N na forma inorgânica. Nesse mesmo período, na bacia do rio Jaguari na área urbana, a exportação foi de $1502 \text{ kg N km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e no rio Camanducaia foi de $798 \text{ kg N km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ (Filoso et al., 2003). Outros rios de médio porte com influência urbana como o Mogi-Guaçu e Peixes, apresentaram exportação de 634 e $171 \text{ kg N km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

km² ano⁻¹, respectivamente, tendo contribuição de 77% de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) no rio Peixes e 40% no Mogi-Guaçu (Martinelli et al., 2010).

Grandes rios tropicais como Paraná com área de 2.654.000 km² (Brasil), Lena com 2.433.000 km² (Rússia) e Amazonas com 5.833.000 km² (Brasil) exportam \approx 44,21 e 172,5 kg NID km⁻² ano⁻¹, respectivamente, tendo tendência similar a rios temperados como Columbia com área de 729.300 km² (EUA) e Mississippi com 3.191.000 km² (México), que apresentam média de exportação de 74 e 256 kg NID km⁻² ano⁻¹ (Dumont et al., 2005; Martinelli et al., 2010). Observou-se covariância do nitrogênio total com a densidade populacional tanto nos rios tropicais como nos temperados (Martinelli et al., 2010).

Além do nitrogênio, outro componente importante da demanda global da produção de alimentos é o carbono, por desempenhar um papel primordial no sistema climático e na manutenção da biosfera (Chapin et al., 2002; Watanabe; Ortega, 2011). O carbono transportado de vias terrestres para rios e conseqüentemente oceanos, integra uma etapa importante no ciclo global que ocorre em escala de microbacia a bacias regionais, como a do Piracicaba e continental (Hope; Billett; Cresser, 1994; Richey, 2004; Huntington; Aiken, 2013). O balanço entre a quantidade de carbono removido da atmosfera em relação ao retorno nos diferentes caminhos fluviais globais, é uma questão importante para o entendimento do ciclo do carbono (Richey, 2004).

A matéria orgânica particulada e dissolvida autóctone, relacionada à produção biológica, e alóctone, referente à exportação terrestre como poluição doméstica e industrial, reage com metais traços como ferro e alumínio, e com pesticidas/inseticidas ocorrendo sorção com o sedimento em suspensão (Degens, Kempe, Richey, 1991; Santschi, et al. 1999; Sachse et al, 2005), sendo transportados a longas distâncias e atingindo grandes rios e oceanos (Balakrishna; Kumar; Srinikethan, 2006).

Sousa et al., (2011) no rio Acre verificaram diferenças em estações seca e chuvosa nas concentrações do carbono orgânico e inorgânico dissolvido, ocorrendo um aumento de 57% no DOC na estação chuvosa e 59% do DIC na estação seca. Figueiredo et al. (2011) confirmaram esse efeito de concentração do DIC nas baixas vazões e elevação do DOC com o aumento do fluxo superficial do rio (Tabela 2). Rios com nível elevado de poluição apresentam DIC maior que DOC, como pode ser observado nos rios Piracicaba, Mogi-Guaçu, Tiête, Peixes e Turvo, pois processos anaeróbios associados à mineralização da matéria orgânica fluvial tem como produto final da oxidação química, a formação de ácido carbônico e CO₂ por metanogênese, no entanto o metabolismo aeróbio também gera consumo oxidativo, através da respiração de microrganismos produzindo CO₂ (Tabela 2) (Stets et al., 2017).

Mortatti et al. (2006) afirmaram que a influência de efluentes domésticos nas partições de carbono inorgânico são significativas, apesar das complexas combinações das diversas fontes como atmosfera, solo e rocha e processos redução/oxidação de aportes antropogênicos.

Tabela 2. Fluxo ($\text{kg km}^{-2} \text{a}^{-1}$) de carbono orgânico (FDOC) e inorgânico dissolvido (FDIC) e concentração (μM) de carbono orgânico (DOC) e inorgânico (DIC) dissolvido em bacias hidrográficas de diferentes escalas.

Rio	Área km^2	País	Uso da Terra	DOC	FDOC	DIC	FDIC	Referência
Amazonas	7.050.000	Brasil	Mata	371	4461	-	-	Richey et al. (1990)
Amazonas /Obidos	4.690.000	Brasil	Mata	-	4072	-	6759	Degens, kempe (1991)
Mississipi	2.981.000	México	-	732	1319	-	-	Leenheer (1982)
Paraná	2.583.000	Brasil	Past*	723	1432	-	-	Depetris, Cascante (1985)
Niger	22.120.000	África	-	309	539	-	-	Martins and Probst (1991)
Godavari	313.147	Índia	-	103	415	-	8073	Balakrishna et al. (2006)
Delta rio das pérolas	43.000	China	Urb*	649	-	-	-	Ouyang et al. (2006)
Delta rio das pérolas	43.000	China	Rural	216	-	-	-	Ouyang et al. (2006)
Baixo Paraíba do Sul	22.400	Brasil	Past*	241	1500	394	2300	Figueiredo et al. (2011)
Acre	23.000	Brasil	Urb*	413	-	614	-	Sousa et al. (2011)
Acre	23.000	Brasil	Rural	393	-	600	-	Sousa et al. (2011)
Dan	16.800	China	Past*	833	-	-	-	Shi et al. (2017)
Dan	16.800	China	Urb*	1415	-	-	-	Shi et al. (2017)
Mogi-Guaçu	13.314	Brasil	Urb*	236.4	1827	≈390	2949	Martinelli et al. (2002); Salomão et al. (2008)
Piracicaba	12400	Brasil	Urb*	519	2275	≈750	3250	Martinelli et al. (2002); Salomão et al. (2008)
Peixes	12.976	Brasil	Urb*	333	739	≈1155	2560	Martinelli et al. (2002); Salomão et al. (2008)
Turvo	11.497	Brasil	Urb*	250	823	≈800	2633	Martinelli et al. (2002); Salomão et al. (2008)
Tiête	9.060	Brasil	Urb*	641	3642	5208	14610	Mortatti et al. (2006)
Rola	7.600	Brasil	Rural	516	-	362	-	Sousa et al. (2011)
SJ Dourado	5.785	Brasil	Urb*	250	507	≈805	1632	Martinelli et al. (2002); Salomão et al. (2008)
Apiai	4.424	Brasil	Rural	250	278	≈600	667	Martinelli et al. (2002); Salomão et al. (2008)
Itapetininga	3.384	Brasil	Rural	317	708	≈200	447	Martinelli et al. (2002); Salomão et al. (2008)
Paranapanema	2.551	Brasil	Rural	483	1434	≈100	297	Martinelli et al. (2002); Salomão et al. (2008)

* Uso da terra: Urb = Urbano; Past = Pastagem;

*Uso da terra rural foi considerado quando a área do estudo era uma mistura de vários usos agrícolas.

3.3. Matéria orgânica como indicador de alteração dos processos de carbono e nitrogênio em rios

As atividades humanas alteram as complexas interações das diversas fontes naturais ou antropogênicas de carbono e nitrogênio, ocorrendo uma elevada variação na contribuição relativa de cada uma dessas fontes para a bacia hidrográfica, pois fatores da paisagem como relevo, regime de precipitação, presença de reservatório, uso da terra e outros influenciam na composição do material orgânico transportado nas águas dos rios (Martinelli, et al. 2002; Middelburg; Herman, 2007).

A questão-chave é como identificar a intensidade da contribuição das atividades humanas, como despejo de efluente doméstico, aplicação de fertilizantes, alteração na cobertura vegetal, na composição da matéria orgânica particulada (MOP) do rio, e conseqüentemente, a magnitude deste impacto nos processos dos ciclos do carbono e nitrogênio em escala regional e global.

A composição isotópica de carbono e nitrogênio ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) é um excelente traçador para auxiliar na resposta dessa questão, pois a partir do valor de referência isotópico as partículas transportadas por fluxos hídricos que carregam misturas de material vegetal, solos e outros componentes presentes na parte terrestre e que geralmente alcançam os rios, podem ser separados e identificados pela origem desses elementos (Hedges et al., 1986). O $\delta^{13}\text{C}$ presente no tecido das plantas é alterado de acordo com os ciclos fotossintéticos, podendo ser classificados como C3 e C4 (Martinelli, et al. 2001), que apresentam assinaturas isotópicas de -29,7 e -13,3 ‰, respectivamente, (Krusche et al., 2002).

Ao considerar as interações dos diferentes componentes da bacia hidrográfica, esse traçador permite a identificação de mudança no uso da terra de floresta (representadas por plantas dicotiledôneas C3) para pastagem (representadas por plantas monocotiledôneas C4), bem como, em sinais de despejos de efluentes domésticos ($\delta^{13}\text{C}$ - 23; $\delta^{15}\text{N}$ 10 a 20‰), uso elevado de fertilizantes ($\delta^{15}\text{N}$ -2 a 4 ‰), escoamento superficial de nitrato do solo ($\delta^{15}\text{N}$ 3 a 8 ‰), por causa da mudança na assinatura ou fracionamento isotópico dependente de variados processos biogeoquímicos (Heaton, 1986; Aravena, Evans, Cherry, 1993; Krusche et al., 2002; Gao, Li, Ishizaka, 2014).

A mistura de componentes que formam a MOP de origem terrestre, citado acima, e aquática como fitoplâncton e plantas aquáticas, compõem o material particulado fino ($<63 \mu\text{m}$) e grosso ($> 63 \mu\text{m}$). O primeiro representa principalmente a matéria orgânica mais recalcitrante dos solos e o segundo os detritos de plantas (Angradi, 1993; Devol e Hedges, 2001; Martinelli, et al. 2001), representando o reflexo da cobertura vegetal na bacia hidrográfica.

Martinelli et al. (2001), verificaram na fração fina da MOP uma faixa de variação no rio Piracicaba de $\delta^{13}\text{C}$ de -28 a -23 ‰, e nos rios Jaguari e Atibaia, -32 a -23 ‰ e -31 a -23 ‰, respectivamente. Os valores mais leves ou mais negativos refletem a sinal de vegetação C3 ou fitoplâncton de -29 ‰ (Krusche et al., 2002).

Para o material particulado grosso, a variação no rio Piracicaba foi de -26 a -21 ‰, no rio Atibaia de -30 a -23 ‰ e no rio Jaguari de -29 a 24 ‰. Como a bacia do rio Piracicaba tem solos de textura argilosa de média a alta o $\delta^{13}\text{C}$ da MOP refletiu a composição isotópica da vegetação predominante das diferentes regiões da bacia devido ao escoamento superficial predominante nesses solos (Martinelli et al., 2001). No rio Juruá e Jutáí, afluentes do rio Amazonas, foram encontrados valores da fração grossa da MOP de -29 e -29 ‰, respectivamente, refletindo sinal de plantas C3 da floresta (Quay et al., 1992).

Moraes (2015), ao analisar as bacias Jundiáí e Capivari verificou variação do $\delta^{13}\text{C}$ devido a influência de efluentes domésticos e sazonalidade. Nas nascentes e na foz dos rios Jundiáí e Capivari, o material particulado fino

apresentou valor médio de -23 ‰ no período seco, no entanto, o período chuvoso mostrou influência de escoamento superficial do solo, com o $\delta^{13}\text{C}$ de -21 ‰ nas duas bacias. O $\delta^{15}\text{N}$ variou nas faixas de 4,5 a 9 ‰ e de -0,48 a 6 ‰ na nascente e foz do rio Jundiá, respectivamente. No rio Capivari a variação de $\delta^{15}\text{N}$ foi de 7 a 9 ‰ na nascente e 3 a 12 ‰ na foz, demonstrando influência de poluição com rejeitos de animais ou urbanos, considerando que o $\delta^{15}\text{N}$ encontrava-se acima de 10 ‰ (Heaton, 1986; Aravena, Evans, Cherry, 1993; Moraes, 2015).

Krusche et al. (2002), encontraram correlação positiva entre o fluxo de material particulado em suspensão transportado (F-MPS 940 kg C km⁻² ano⁻¹) na água e o $\delta^{13}\text{C}$ (-28 ‰) da fração grossa da MOP na Amazônia e em outras duas bacias com influência de despejo de efluentes domésticos, Cabras ($\delta^{13}\text{C}$ -22‰; F-MPS 817 kg C km⁻² ano⁻¹) e Piracicamirim ($\delta^{13}\text{C}$ -25; F-MPS 755 kg C km⁻² ano⁻¹). Além de encontrar resultados de $\delta^{13}\text{C}$ similar ao de Moraes (2015), verificaram influência direta de esgoto doméstico nos rios Mogi-Guaçu, Cabras e Piracicamirim, com valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ de -23, -22 e -21 ‰ e F-MPS de 2002 kg C km⁻² ano⁻¹, 2196 kg C km⁻² ano⁻¹ e 2419 kg C km⁻² ano⁻¹, respectivamente.

Na bacia do rio Piracicaba foi verificado uma relação C/N baixa, demonstrando degradação da matéria orgânica por microrganismo e enriquecimento de N, explicado pelo despejo de esgoto doméstico contendo nitrogênio e fitoplâncton (Krusche et al., 2002). Resultado semelhante foi encontrado por Blume et al., (2010), ao estudar a qualidade de água do rio dos Sinos na região Sul do Brasil, onde detectaram que a água fluvial apresentou-se contaminada com poluentes relacionados a esgoto doméstico e descargas urbanas não tratadas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Jaguari possui uma área de drenagem de 3.290 km², dos quais 2.323 km² encontram-se em território paulista e 967 km² localizam-se nos municípios mineiros de Extrema, Camanducaia, Toledo, Itapeva e Sapucaí-Mirim, onde ficam as cabeceiras dos rios Jaguari e Camanducaia (Figura 2), que pertencem ao grupo de rios formadores do rio Piracicaba (CBH-PCJ, 2014). Esse por sua vez, é afluente da margem direita do rio Tietê, que faz parte da bacia do rio Paraná e cujo encontro com os rios Paraguai e Uruguai em território argentino, formam o rio Prata cuja bacia hidrográfica é a segunda maior bacia hidrográfica do mundo, com uma superfície de aproximadamente 3.200.000 km². Devido suas dimensões em relação a outras bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, a bacia hidrográfica do rio Jaguari é classificada com uma mesobacia, rios de 4° a 6° ordem com ≈ 1 a 10.000 km² ou 100 a 1.000.000 ha (Vannote et al. 1980; Beck et al., 2013).

No município de Jaguariúna, localizado no estado de São Paulo, o rio Jaguari recebe as águas do rio Camanducaia, seu principal afluente, e une-se ao rio Atibaia para formar, no município de Americana, o rio Piracicaba. Por sua vez, a bacia de drenagem do rio Camanducaia possui área de 1.030 km², sendo 871 km² pertencentes aos municípios do Estado de São Paulo e 159 km² aos municípios do Estado de Minas Gerais.

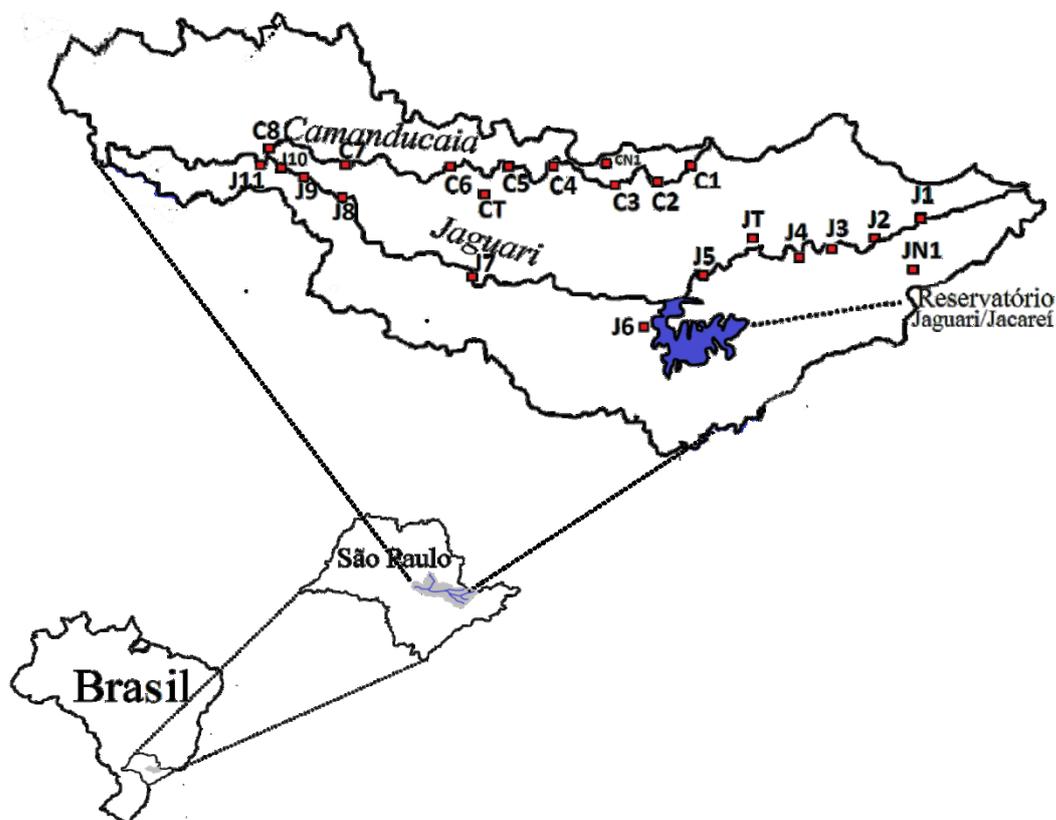


Figura 2. Mesobacia hidrográfica do rio Jaguari com alocação dos pontos de coleta ao longo dos rios Jaguari e Camanducaia.

A mesobacia do rio Camanducaia, tem suas nascentes e córregos formadores situados no município mineiro de Toledo e nos municípios paulistas de Pedra Bela e Socorro, e integra em seus limites territoriais os municípios de Amparo, Jaguariúna, Monte Alegre do Sul, Pinhalzinho, Serra Negra, Socorro e Toledo (MG), além de ser composta parcialmente pelos municípios de Pedra Bela, Pedreira, Tuiuti, Santo Antônio de Posse e Holambra (COBRAPE, 2011).

A mesobacia do rio Jaguari ocupa áreas dos municípios de Americana, Amparo, Araras, Artur Nogueira, Bragança Paulista, Camanducaia, Campinas, Cordeirópolis, Cosmópolis, Extrema, Holambra, Itapeva, Jaguariúna, Joanópolis, Limeira, Mogi-Mirim, Morungaba, Nazaré Paulista, Nova Odessa, Paulínia, Pedra Bela, Pedreira, Pinhalzinho, Piracaia, Santo Antônio de Posse, Tuiuti e Vargem (COBRAPE, 2011).

A seguir são apresentados os aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrometeorológico e de vegetação baseados principalmente nos relatórios de situação do CBH-PCJ 2010-2020 (2010), mapas geológicos publicados pelo IPT (1981a,b) e do plano diretor de recursos hídricos Bacia Piracicaba/Jaguari 2008-2009 e 2010-2020 (IRRIGART, 2008; COBRAPE, 2011).

4.1.1. Geologia

A bacia do rio Piracicaba está localizada na região centro-leste da bacia sedimentar do Paraná, representada basicamente por quatro grandes domínios geológicos: o embasamento cristalino, as rochas sedimentares, as rochas ígneas básicas (efusivas/intrusivas) e as coberturas sedimentares Cenozóicas (CBH-PCJ, 1999).

Em Extrema, MG, as bacias do rio Jaguari e Camanducaia tem sua geologia representada por unidades cenozóicas com sedimentos continentais indiferenciados, correlatas à formação São Paulo (sedimentos pouco consolidados incluindo argilas, siltes, e arenitos finos argilosos com raros e pequenos níveis de cascalhos) no trecho paulista (CBH-PCJ, 1999).

Ao longo das bacias também são encontrados: areias finas a grossas e sedimentos silto-argilosos encontrados nas planícies; depósitos em terraços suspensos - cascalheiras e aluviões pré-atuais compostos por arenitos médios grossos estratificados (IPT, 1981a).

Os municípios de Pedra Bela, Jaguariúna e Vargem encontram-se nas unidades pré-cambianas com corpos granitos e granitóides de granulação variada (granitos - fácies cantareira- corpos graníticos foliados granulação fina a média, textura porfirítica frequente)(IPT, 1981a; CBH-PCJ, 1999).

Monte Alegre do Sul, Morungaba, Amparo e Pedreira são representados pelo Complexo Amparo com gnaisses – biotita, migmatizados, migmatitos de estruturas diversas, subordinadamente biotita – xistos, quartzitos, anfibólitos e metaultrabasitas. Em Monte Alegre do Sul também são encontrados quartzitos – quartzitos feldspatos e micáceos com intercalações de biotita – xistos (CBH-PCJ, 1999).

Toledo e Camanducaia são representados pela unidade Granitoide Serra da Água Limpa, são rochas graníticas de composição variável (sienogranítica a granodiorítica) foliadas a isotrópicas, compostas por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita e hornblenda, com granada varietal (CODEMIC-MG, 2015).

Em Extrema ocorre o Complexo Gnáissico São João da Mata, em que ocorrem Gnaiss ortoderivado, bandado ou migmatítico, com ampla variabilidade composicional (monzodiorito a granito). A composição mineralógica é dada por ortopiroxênio, plagioclásio, quartzo e feldspato potássico; ocorrem como minerais secundários biotita e anfibólio e granada como acessório (CODEMIC-MG, 2015).

4.1.2. Geomorfologia

A bacia do rio Piracicaba está inserida em três grandes compartimentos geomorfológicos do Estado de São Paulo: o Planalto Atlântico, situado a leste, caracterizado pelo embasamento cristalino; a Depressão Periférica, composta por sedimentos finos, localizada na porção centro-oeste da bacia; e as Cuestas Basálticas, restritas a uma pequena faixa localizada no extremo oeste da região (IPT, 1981b; CBH-PCJ, 2010).

Na porção de Minas Gerais ocorrem quadros bastante distintos da sua porção paulista a jusante, com vales profundos e estreitos, rios encachoeirados e grandes monólitos de rocha que não sofreram processos importantes de intemperismo físico ou químico. Observa-se a unidade geomorfológica designada Planalto - Sul de Minas ao centro, resultante da erosão remonta dos contrafortes da Serra da Mantiqueira pelos cursos d'água principais (CODEMIC-MG, 2015).

Na região existe uma extensa paleo-superfície caracterizada por sucessão de morros com altitudes entre 900 – 2080 m (CBH-PCJ, 2011), interrompida eventualmente por cristas que coincidem com orientações gerais lito-estruturais. Essa superfície, cuja formação atribui-se a época que vai do Cretáceo Superior até o Oligoceno, denomina-se Alto Rio Grande (Moreira, Camelier, 1977; Amorin Filho, Bueno, 1999), cujo relevo do tipo Mar de Morros, apresenta evidências de dissecação (Superfície Alto Rio Grande) e relevos de colinas amplas associadas a depósitos sedimentares aluviais e coluviais (CODEMIC-MG, 2015).

Os relevos da porção paulista variando de 400 a 1420 m de elevação (CBH-PCJ, 2011) estão representados na Figura 3 e descritos na Tabela 3 segundo IPT, (1981b) e Ross, Moroz, (1997).

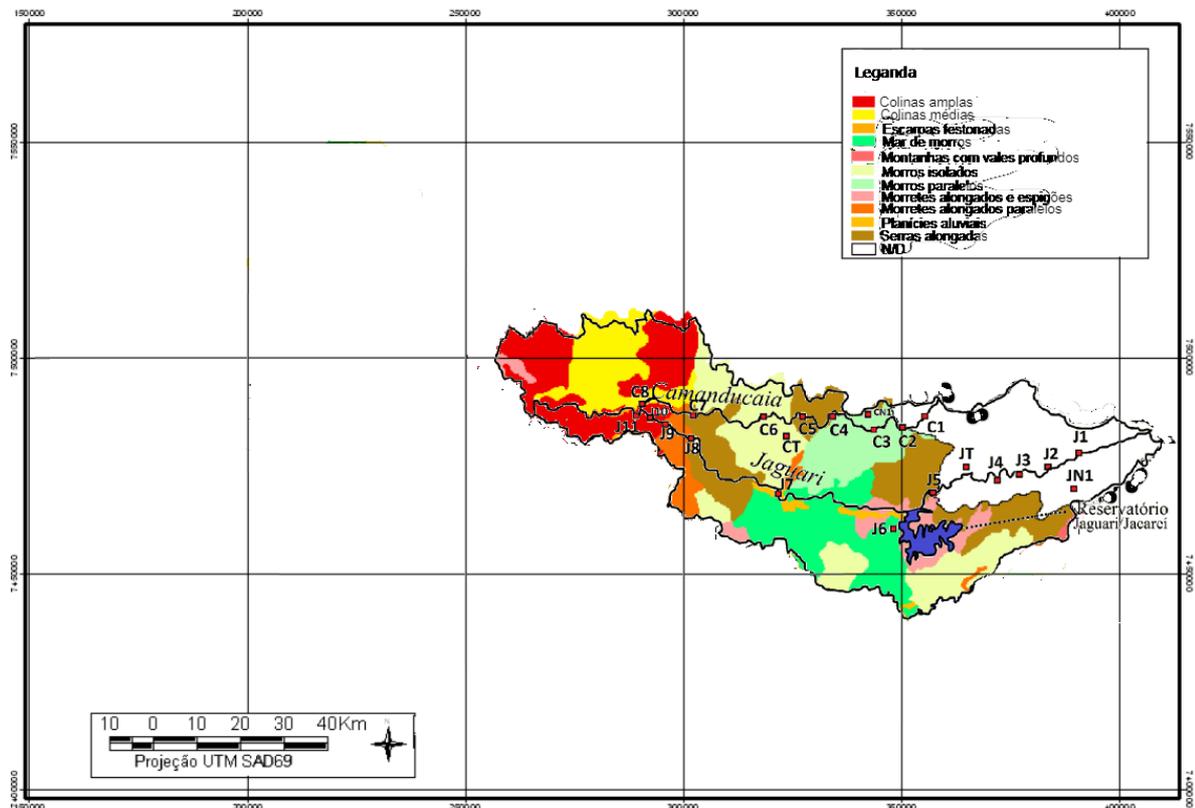


Figura 3. Mapa geomorfológico da Mesobacia do rio Jaguari. Fonte: Adaptado de IPT (1981b).

Tabela 3. Detalhamento das principais feições geomorfológicas da Mesobacia do rio Jaguarí.

Tipo	Feição	Característica
Relevo de Agradação ou Acumulação (Continentais)	Planícies Aluviais	Terrenos baixos mais ou menos planos, junto às margens dos rios.
Relevos de Degradação (Relevo Colinoso - Predomínio de baixas declividades (0 a 15%) e amplitudes locais inferiores a 100 m)	Colinas Amplas	Predomínio de interflúvios com área superior a 4 km ² , topos extensos aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixa densidade, vales abertos, a fechados, planícies aluviais interiores.
	Colinas Médias	Predomínio de interflúvios com áreas de 1 a 4 km ² , topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas.
Relevo de Morrotes (Predomínio de declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais inferiores a 100 m)	Morrotes Alongados Paralelos	Topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de alta densidade, vales fechados.
	Morrotes Alongados e Espigões	Predomínio de interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, vales fechados.
Relevo de Morros (Predomínio de declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 200 m)	Mar de Morros	Topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular, vales abertos a fechados, planícies aluvionares interiores desenvolvidas. Constitui um conjunto de formas em "meia laranja".
	Morros Paralelos	Topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de alta densidade, vales fechados a abertos, planícies aluvionares interiores restritas.
	Morros Isolados	Topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos, por vezes abruptas, presença de serras restritas. Drenagem de alta densidade, planícies aluvionares interiores restritas.
Relevo Montanhoso (Predomínio de declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais acima de 300 m)	Serras Alongadas	Topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, por vezes abruptas. Drenagem de alta densidade, vales fechados.
Encostas de Transição (amplitudes maiores que 100m e altas declividades acima de 30%)	Escarpas Festonadas	Escarpas desfeitas em anfiteatros separadas por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, vales fechados.

4.1.3. Pedologia

Três grandes grupos de solos (Latosolos, Argissolos e Cambissolos) predominam nas bacias dos rios Jaguari e Camanducaia (Figura 4), alternando-se nas superfícies mais elevadas de acordo com o relevo, os Neossolos flúvicos aparecem nas planícies dos rios e córregos (CBH-PCJ, 1999; Oliveira et al., 1999; IRRIGART, 2008; COBRAPE, 2011).

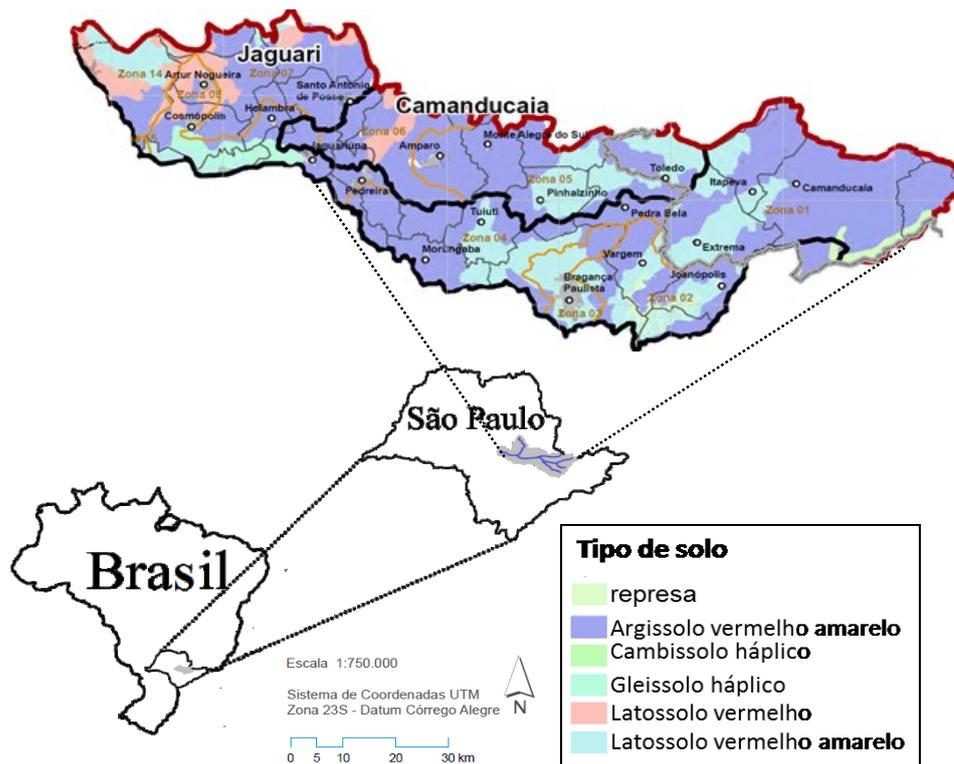


Figura 4. Mapa das principais tipos de solos na mesobacia do rio Jaguari. Fonte: Adaptado de PBH-PCJ 2010-2020, 2010 – Mapa 5.

4.1.4. Hidrometeorologia

As sub-bacias dos rios Jaguari e Camanducaia tem regime de chuva de 1400 a 1800 mm, e as maiores incidências de chuva acontecem na porção nordeste da bacia localizada no Estado de Minas Gerais, que é a região mais elevada das sub-bacias estudadas (CBH-PCJ, 2010). No entanto, o ano de 2015, ano das coletas de dados do presente estudo foi atípico devido ao prolongado período de seca que ocorreu nos anos de 2014/15 (Figura 5) (Coutinho et al., 2015).

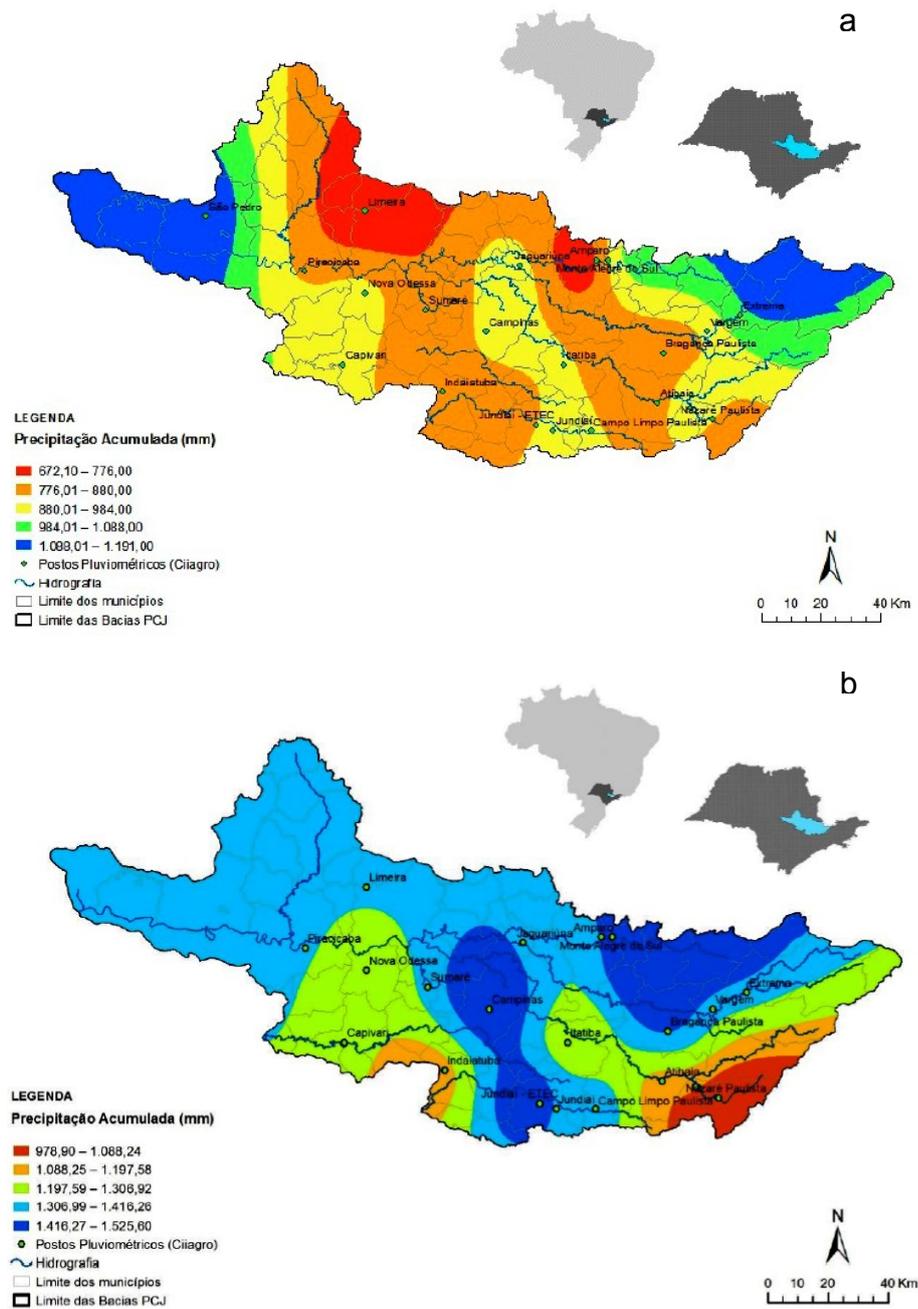


Figura 5. Pluviometria média anual nas bacias PCJ nos anos de (a) 2014 e (b) 2015. Fonte: Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das bacias PCJ, 2015 e 2016.

Padrões de sazonalidade nas bacias dos rios Jaguari e Camanducaia, como o período chuvoso entre os meses de outubro e abril, e o de estiagem, entre maio e setembro (Pellegrino, 1995) e os índices de precipitação pluviométrica foram alterados (CBH-PCJ, 2016), ocorrendo valores abaixo da média histórica de 30 anos (Figura 6).

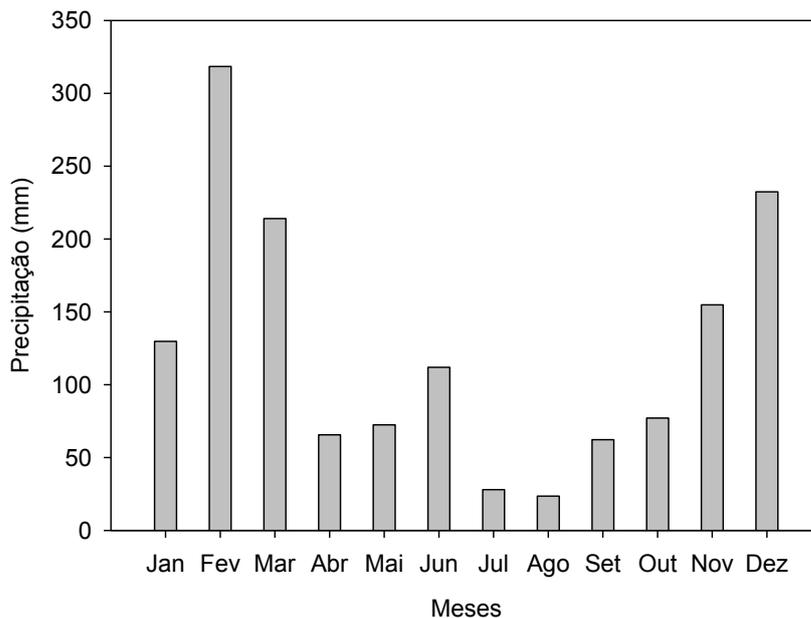


Figura 6. Precipitação pluviométrica acumulada mensal em 2015 na Mesobacia do rio Jaguarí. Fonte: DAEE 2016.

A região enquadra-se segundo a classificação de Köeppen em: subtipo Cfb, subtipo Cfa e, nas porções serranas das cabeceiras, subtipo Cwa (Golfari, 1975). A evaporação potencial anual varia entre 650 e 800 mm na porção mineira e nessas áreas, segundo Nimer (1989), o verão é brando e o mês mais quente acusa média inferior a 22°C, predominando médias entre 20 e 18°C. O inverno possui pelo menos um mês com temperatura média inferior a 15°C. Em junho-julho, os meses mais frios, são comuns mínimas diárias abaixo de 0°C, com a média das mínimas variando em torno de 8 a 6°C. O fenômeno da geada é comum no sul de Minas Gerais.

No ano de 2015 as temperaturas do ar variaram entre 16 - 31°C nos pontos medidos no rio Camanducaia e 12 - 31°C no rio Jaguarí, com covariação com a temperatura da água (Figura 7).

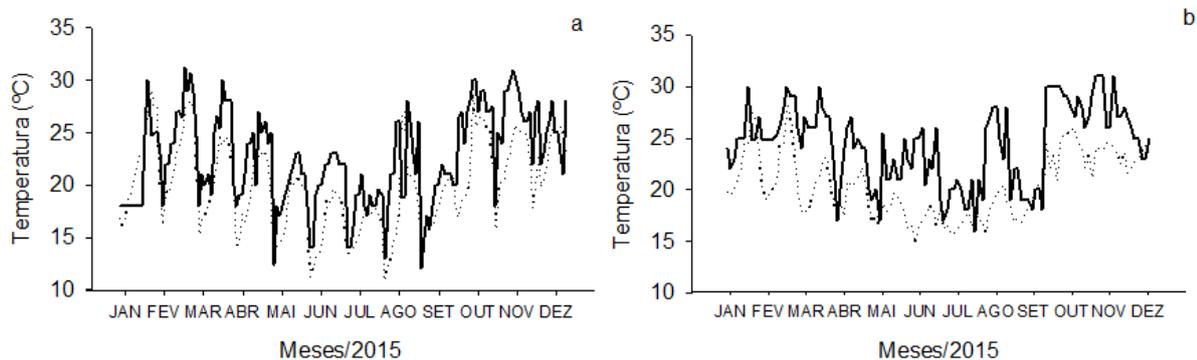


Figura 7. Variação da temperatura do ar (°C) em linha contínua e da temperatura da água (°C) em linha pontilhada. (a) medidas nos pontos de coleta nos rios Jaguarí (b) medições nos pontos de coleta no rio Camanducaia (b) ao longo do ano de 2015.

4.2. Delineamento experimental

Com suporte do projeto Agrohidro da Embrapa Meio Ambiente (Zuccari et al., 2015) efetuou-se a seleção dos pontos de coleta. As mesobacias dos rios Jaguari e Camanducaia foram delimitadas topograficamente para serem analisadas como paisagens independentes. Em seguida, buscou-se informações nas bases do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Agência Nacional de Águas (ANA) sobre a hidrografia (escala de 1:100.000), segmentação das mesobacias em microbacias, estações pluviométrica e fluviométrica em formato shapefile ou DWG.

Todo o material foi agrupado e ajustado para a base do trabalho, definindo padrões geoespaciais de escalas, projeção, *datum* (*Córrego alegre*), para posteriormente ser utilizado como consulta em campo. Previamente, selecionaram-se pontos de interesse com o auxílio do *Google Earth* imagem 2015, bem como as rotas para visitas de campo.

Ao longo das duas bacias hidrográficas foram percorridos 154 pontos de interesse e esses foram avaliados segundo os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido na água; medidos no momento da visita. Essa avaliação inicial dos parâmetros físico-químicos foi feita para identificar pontos com poluição pontual e para confirmar a influência da cobertura da terra observada no *Google Earth* e confirmado no momento da visita; o parâmetro que melhor demonstrou essa influência foi a condutividade elétrica. Posteriormente, também foram considerados os seguintes parâmetros: acessibilidade ao ponto de amostragem, uso da terra, estado biofísico do ambiente aquático.

Após a análise de todos os dados coletados em campo, fotografias e o material de consulta prévia, buscaram-se as mesmas feições de uso da terra nas duas bacias, e assim, foi feita uma análise em gradiente do ponto de menor ao maior em concentração iônica, avaliados através da condutividade elétrica relacionada ao uso da terra do entorno de cada ponto avaliado nas duas mesobacias para separação de trecho de influência. E assim, foram selecionados 23 pontos, 13 no rio Jaguari e 10 no rio Camanducaia (Figura 8 e 9) apresentados na Tabela 4. A descrição detalhada dos pontos amostrais encontram-se no Apêndice A.

Tabela 4. Caracterização dos pontos de coleta no rio Jaguari e Camanducaia.

Pontos de coleta	Bacia	Município	Latitude	Longitude	Observação
JN1	Jaguari	Camanducaia	22°51'55.36"S	46° 1'30.55"W	Área de cabeceira preservada em Monte Verde-MG; córrego do Cadete
J1	Jaguari	Camanducaia	22°48'24.05"S	46° 4'46.26"W	Área de cabeceira preservada em Monte Verde-MG; calha principal do rio Jaguari à montante
J2	Jaguari	Camanducaia	22°49'56.31"S	46° 7'25.18"W	Área de cabeceira preservada em Monte Verde-MG; calha principal do rio Jaguari à montante
J3	Jaguari	Camanducaia	22°49'9.74"S	46° 9'18.58"W	Área de cabeceira preservada em Monte Verde-MG; calha principal do rio Jaguari à montante
J4	Jaguari	Extrema	22°50'14.39"S	46°13'18.14"W	Calha principal do rio Jaguari em área de cabeceira zona rural
JT	Jaguari	Extrema	22°49'5.61"S	46°17'59.39"W	Trecho médio do rio Jaguari; Tributário rio Camanducaia Mineiro; confluência J4 e J5
J5	Jaguari	Extrema	22°49'5.61"S	46°17'59.39"W	Trecho médio rio Jaguari após a influência da cidade e do tributário JT
J6	Jaguari	Vargem	22°52'17.75"S	46°21'43.30"W	Trecho médio rio Jaguari; saída secundária da represa Jaguari/ Jacaréi
J7	Jaguari	Morungaba	22°56'56.78"S	46°27'1.07"W	Trecho médio rio Jaguari; área de agricultura intensiva
J8	Jaguari	Pedreira	22°51'43.98"S	46°43'36.89"W	Jusante; rio Jaguari; área urbana
J9	Jaguari	Jaguariúna	22°44'44.95"S	46°54'55.49"W	Jusante; rio Jaguari; área urbana
J10	Jaguari	Jaguariúna	22°42'28.92"S	46°58'57.00"W	Jusante; rio Jaguari; área urbana
J11	Jaguari	Jaguariúna	22°42'11.19"S	47° 0'0.48"W	Jusante; rio Jaguari; confluência do rio Jaguari com o rio Camanducaia na cidade de Jaguariúna, porém em uma fazenda com lavoura diversas
CN1	Camanducaia	Toledo	22°40'9.68"S	46°23'28.14"W	Área de cabeceira conservada; córrego afluente (sem nome) do rio Camanducaia
C1	Camanducaia	Toledo	22°43'25.21"S	46°19'4.44"W	Área de cabeceira conservada; córrego afluente (sem nome) do rio Camanducaia
C2	Camanducaia	Toledo	22°43'21.17"S	46°20'58.31"W	Área de cabeceira conservada; calha principal do rio Camanducaia à montante
C3	Camanducaia	Pedra Bela	22°44'8.05"S	46°25'36.81"W	Rio Camanducaia; Área de cabeceira conservada; divisa entre os estados de SP e MG
C4	Camanducaia	Socorro	22°41'49.66"S	46°33'56.38"W	Trecho médio do rio Camanducaia; área de agricultura
C5	Camanducaia	Monte Alegre do Sul	22°41'48.05"S	46°40'27.79"W	Trecho médio do rio Camanducaia; área de agricultura
CT	Camanducaia	Monte Alegre do Sul	22°43'29.46"S	46°41'32.18"W	Trecho médio; tributário rio Mosquito; confluência C5 e C6
C6	Camanducaia	Amparo	22°43'29.46"S	46°41'32.18"W	Jusante ; calha principal do rio Camanducaia após a influência da cidade e do tributário CT
C7	Camanducaia	Jaguariúna	22°41'31.07"S	46°44'56.71"W	Jusante; calha principal do rio Camanducaia em área urbana
C8	Camanducaia	Jaguariúna	22°40'28.18"S	46°58'17.88"W	Jusante; calha principal do rio Camanducaia em área urbana

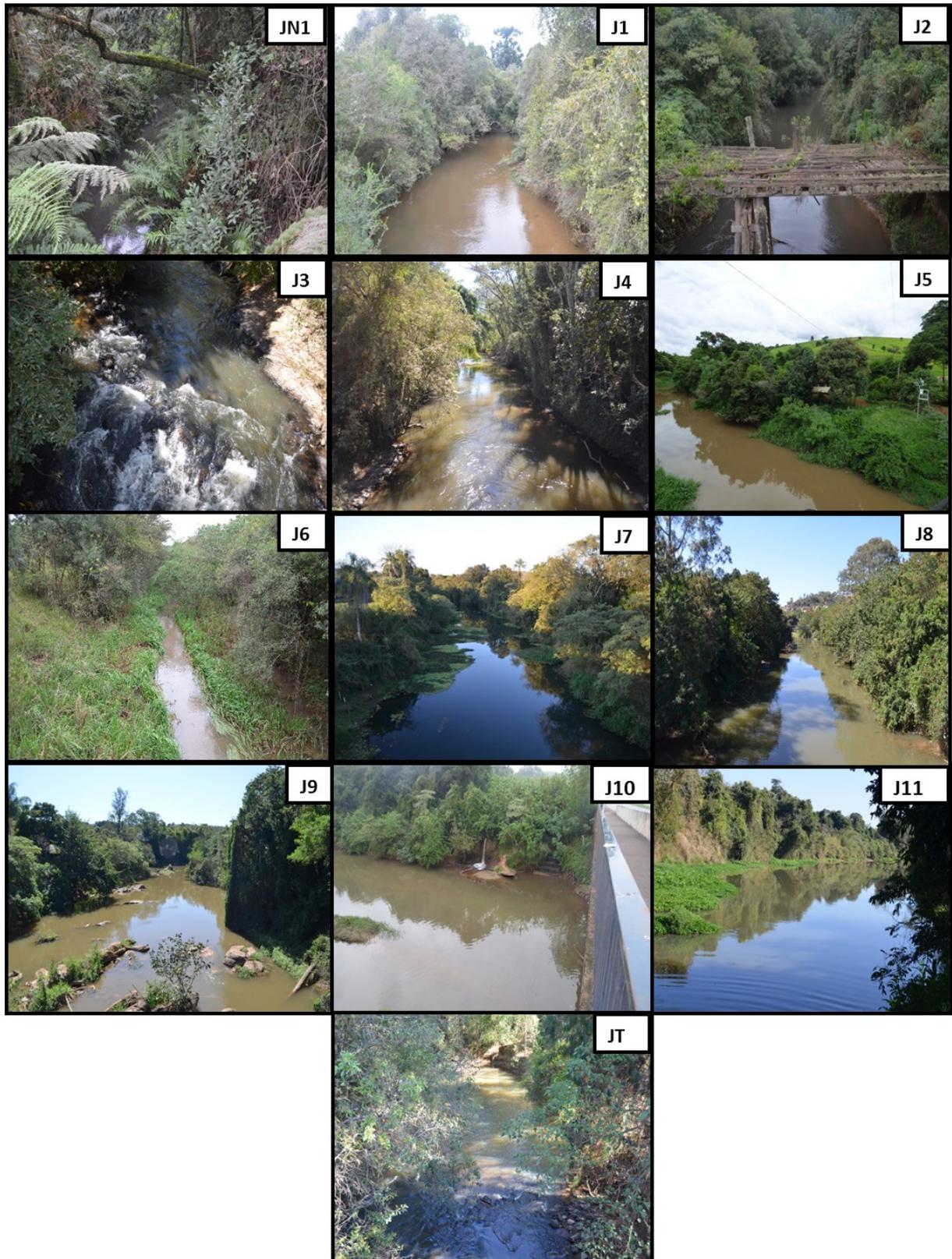


Figura 8. Locais em que foram coletadas amostras do rio Jaguari ordenadas de montante a jusante (J1 a J11); e o JT-tributário (Camanducaia Mineiro) que tem sua confluência entre os pontos J4 e J5 com o rio Jaguari, e o córrego de cabeceira em Monte Verde/MG (JN1).

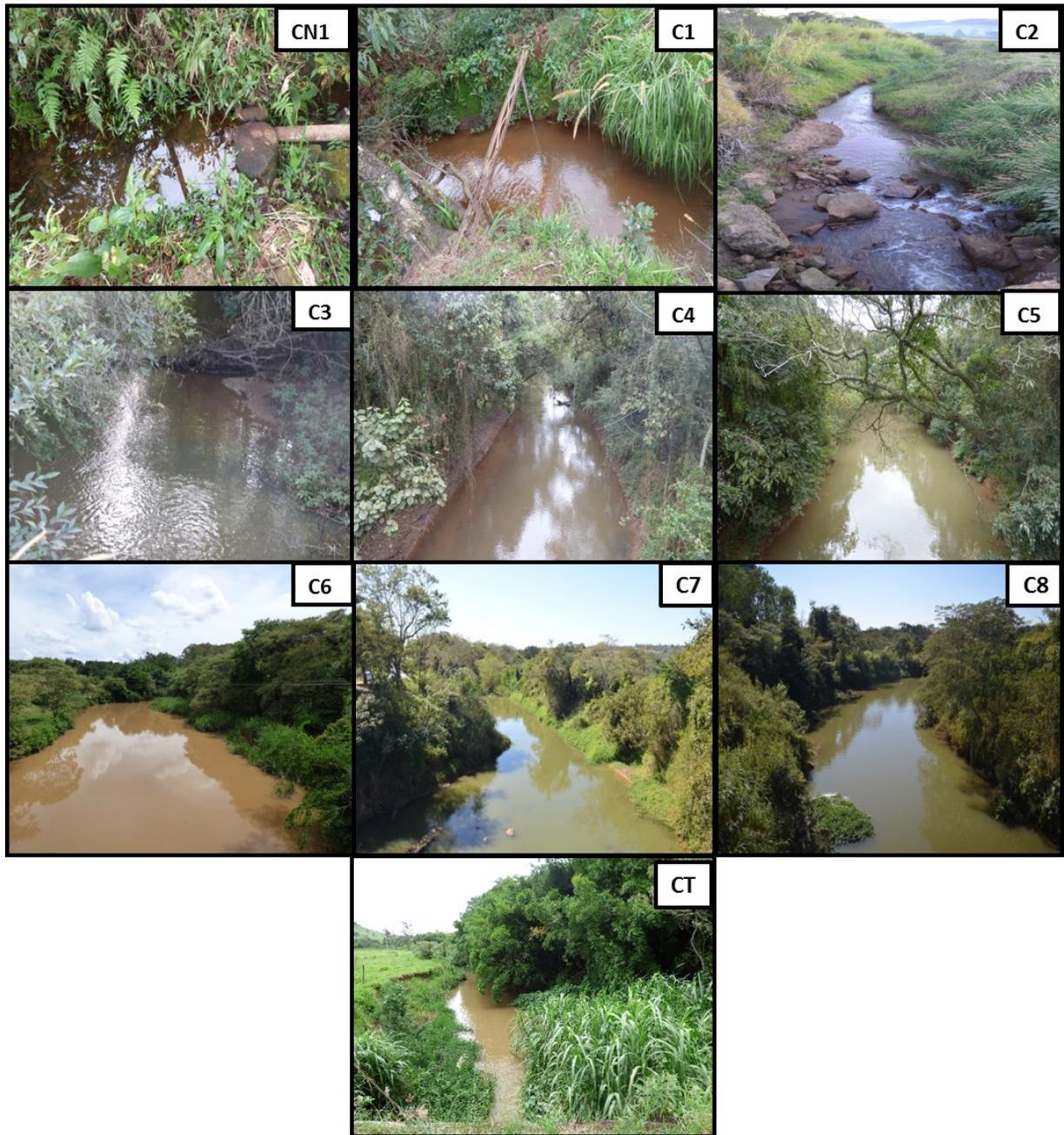


Figura 9. Locais em que foram coletadas amostras no rio Camanducaia (ou Guardinha) da montante a jusante (C1 a C8); seu tributário rio Mosquito (CT) que deságua no rio Camanducaia entre os pontos C4 e C5, e o córrego de cabeceira em Toledo/MG (CN1).

4.2.1. Cobertura e uso da terra

Para a delimitação da área da bacia hidrográfica foi utilizada a base da hidrografia digitalizada de cartas topográficas em escala 1:100.000 para o estado de São Paulo e Sul de Minas Gerais, essas foram determinadas a partir do modelo Digital de Elevação de Terreno com resolução de 30 m. A subdivisão das áreas de drenagem foi feita a partir da codificação de bacias proposta por Otto Pfafstatter (1989) chamada de *Ottabacias* em nível 6 (ANA, 2016) (Figura 8).

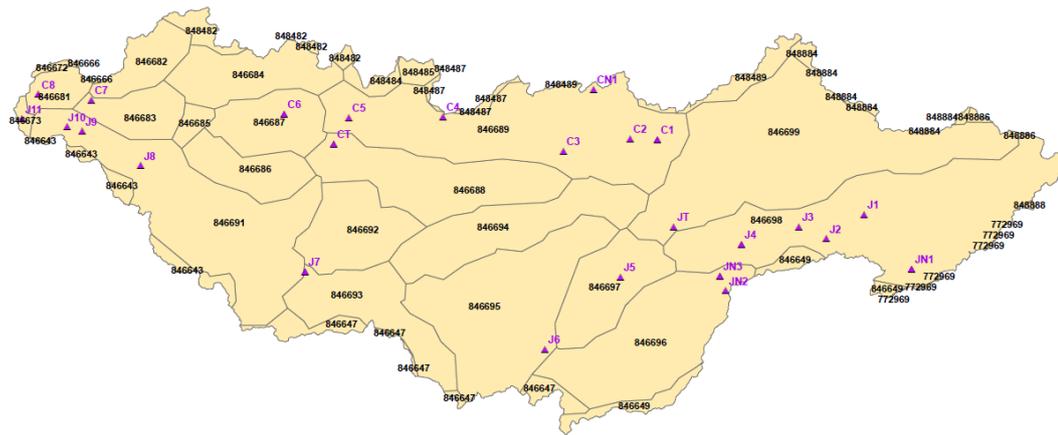


Figura 10. Metodologia de corte para subdivisão de bacias em Ottobacias (nível 6). Fonte: EMBRAPA Meio Ambiente, 2017.

A obtenção das classes de uso da terra, foi realizada utilizando o *software ArcGIS 10.5* e a partir da inspeção visual de limite das sub-bacias dos rios Jaguari e Camanducaia, sobreposto a composições coloridas (baseadas em imagens de Satélite Landsat, sensor TM, RGB345) sobre as áreas das bacias, além da confirmação de campo. A validação foi efetuada mediante a checagem de analistas de laboratório de geoprocessamento (Figura 9).

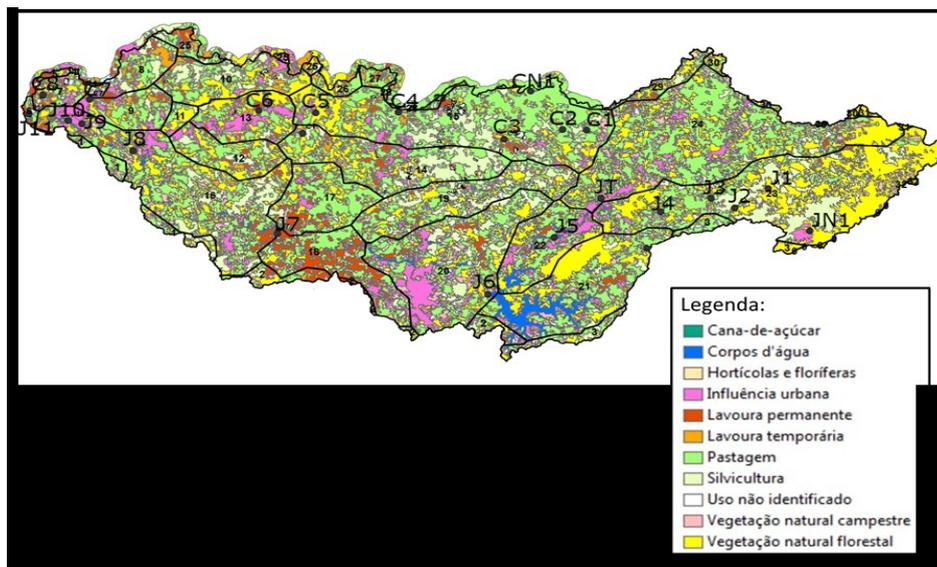


Figura 11. Uso da terra na mesobacia do rio Jaguari em escala de 1:100.000. Fonte: EMBRAPA Meio Ambiente 2017.

Dessa forma, o uso da terra nas bacias dos rios Jaguari e Camanducaia foi classificado segundo a Tabela 5 e 6 abaixo:

Tabela 5. Classes de cobertura e uso da terra calculado segundo a área de influência definida pela Ottobacias (nível 6) para as zonas de Cabeceira, Trecho médio, Jusante e Tributário no rio Jaguari.

Rio Jaguari	Cabeceiras				Trecho Médio				Jusante				Tributário	
	JN1/J1/J2/J3/J4		J5		J6		J7		J8/J9/J10		J11		JT	
	A. (km ²)	%												
Cana-de-açúcar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
Hortículas e floríferas	0,1	0,0	0,3	0,3	0,5	0,3	0,7	0,3	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,1
Urbano	11,1	2,8	17,8	16,4	8,1	4,7	12,2	4,4	28,5	9,3	5,1	4,0	29,9	7,0
Lavoura permanente	0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	0,2	2,6	0,9	5,4	1,8	2,7	2,2	0,1	0,0
Lavoura temporária	1,3	0,3	3,9	3,6	4,5	2,6	41,1	14,8	12,2	4,0	15,8	12,6	4,7	1,1
Pastagem	65,6	16,7	34,5	31,8	76,1	44,1	98,0	35,2	105,0	34,1	65,9	52,4	204,5	47,7
Silvicultura	98,8	25,2	3,9	3,6	13,3	7,7	44,1	15,8	47,2	15,3	5,3	4,2	19,7	4,6
Vegetação natural campestre	22,0	5,6	7,3	6,7	19,0	11,0	20,4	7,3	25,2	8,2	7,3	5,8	37,5	8,7
Vegetação natural florestal	190,9	48,7	30,2	27,8	17,3	10,1	52,3	18,8	76,3	24,8	22,3	17,7	128,3	29,9
Corpos d'água	0,5	0,1	9,0	8,3	29,9	17,3	2,0	0,7	7,6	2,5	0,5	0,4	0,0	0,0
Uso não identificado	2,1	0,5	1,4	1,3	3,4	2,0	4,8	1,7	0,3	0,1	0,4	0,3	4,0	0,9
Soma áreas (km ²)	392	100	109	100	173	100	278	100	308	100	126	100	429	100

*Fonte: Embrapa Meio Ambiente, 2017;

*A.(km2), Área calculada em km2; %, Área em porcentagem.

Tabela 6. Classes de cobertura e uso da terra em km² calculado segundo a área de influência definida pela Ottobacias (nível 6) para as zonas de Cabeceira, Trecho médio, Jusante e Tributário no rio Camanducaia.

Rio Camanducaia	Cabeceiras/ Trecho médio				Jusante				Tributário	
	CN1/C1/C2/C3/C4/C5		C6		C7		C8		CT	
	A. (km ²)	%	A. (km ²)	%	A. (km ²)	%	A. (km ²)	%	A. (km ²)	%
Cana-de-açúcar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,9	0,2	0,1
Hortículas e floríferas	3,6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	2,7	1,5
Urbano	11,6	3,3	21,2	24,5	8,4	14,1	22,2	7,9	11,0	6,1
Lavoura permanente	4,3	1,2	2,4	2,8	4,1	6,9	23,2	8,2	1,9	1,1
Lavoura temporária	11,3	3,2	3,3	3,8	3,0	5,0	17,4	6,2	8,4	4,7
Pastagem	180,5	51,1	24,0	27,7	25,7	43,0	86,3	30,6	63,3	35,0
Silvicultura	62,5	17,7	3,4	3,9	5,5	9,1	51,2	18,2	46,0	25,4
Vegetação natural campestre	5,2	1,5	0,0	0,0	0,9	1,6	2,6	0,9	1,7	0,9
Vegetação natural florestal	68,7	19,5	32,1	37,1	12,1	20,2	74,0	26,3	43,6	24,1
Corpos d'água	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,0	0,0
Uso não identificado	5,2	1,5	0,1	0,1	0,0	0,0	1,2	0,4	1,9	1,1
Soma áreas (km ²)	353	100	87	100	60	100	282	100	181	100

*Fonte: Embrapa Meio Ambiente, 2017;

*A.(km2), Área calculada em km2; %, Área em porcentagem.

O município foi utilizado como a menor unidade territorial para a investigação de dados socioambientais da bacia do rio Jaguari. A partir dessa organização territorial buscaram-se dados do IBGE, CESTEB e CBH-PCJ para a análise de parâmetros socioambientais (Tabela 7).

Tabela 7. Parâmetros socioambientais da bacia do rio Jaguari.

Pontos	Municípios	Bacia	Área da unidade territorial 2015		Pop.		*Pop. crescimento %	Densidade demográfica 2010 hab/km ²	Coleta de esgoto 2008%	*ICTEM 2013	*Esgoto tratado 2016%	Matéria orgânica remanescente 2016 %
			km ²	Pop. 2008	Pop. 2016							
JN1	Camanducaia MG	Jaguari	528688	19660	22007	11	40	1	1	100	-----	
J1	Camanducaia MG	Jaguari	528688	19660	22007	11	40	1	1	100	-----	
J2	Camanducaia MG	Jaguari	528688	19660	22007	11	40	1	1	100	-----	
J3	Extrema MG	Jaguari	244586	25809	33729	23	117	89	1	100	-----	
J4	Extrema MG	Jaguari	244586	25809	33729	23	117	89	1	100	-----	
J5	Extrema MG	Jaguari	244586	25809	33729	23	117	89	1	85	-----	
J6	Vargem SP	Jaguari	142597	6876	10000	31	62	68	1	70	31	
J7	Morungaba SP*	Jaguari	146752	12320	19697	6	80	92	8	96	13	
J8	Pedreira SP	Jaguari	108817	38772	46094	16	383	97	5	88	42	
J9	Jaguariúna SP	Jaguari	141391	37763	53069	29	313	95	5	59	48	
J10	Jaguariúna SP	Jaguari	141391	37763	53069	29	313	95	5	59	48	
J11	Jaguariúna SP	Jaguari	141391	37763	53069	29	313	95	5	59	48	
JT	Extrema MG	Jaguari	244586	25809	33729	23	117	89	1	40	-----	
CN1	Toledo MG	Camanducaia	192	5832	6282	7	33	86	1	100	-----	
C1	Toledo MG	Camanducaia	192	5832	6282	7	33	86	1	100	-----	
C2	Toledo MG	Camanducaia	192	5832	6282	7	33	86	1	100	-----	
C3	Pedra Bela SP	Camanducaia	159	5881	6062	3	36	94	1	100	-----	
C4	Monte Alegre do Sul SP	Camanducaia	110	7097	7804	9	65	40	1	85	-----	
C5	Monte Alegre do Sul SP	Camanducaia	110	7097	7804	9	65	40	1	85	-----	
C6	Amparo SP	Camanducaia	445	63354	70742	10	148	89	5	71	42	
C7	Amparo SP	Camanducaia	141391	37763	53069	29	313	95	5	59	48	
C8	Jaguariúna SP	Camanducaia	141391	37763	53069	29	313	95	5	59	48	
CT	Jaguariúna SP	Camanducaia	110	7097	7804	9	65	40	1	40	-----	

*Pop., número de habitantes;

* Esgoto tratado, proporção de efluente doméstico tratado em relação ao efluente doméstico total gerado;

* Células ausentes, cidades sem informação;

* ICTEM, Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município;

* Pop. crescimento%, Ano base 2008 a 2016;

* A população da cidade de Morungaba-SP foi somada a população de Tuiuti-SP;

* Esgoto tratado nas áreas de cabeceira foi considerado 100% por causa do uso de fossa séptica na região.

4.3. Caracterização dos métodos

Primeiramente no item 4.3.1. são descritos todos os procedimentos de campo e, em seguida, no item 4.3.2. os procedimentos analíticos em laboratório.

4.3.1. Procedimentos de campo

Os procedimentos detalhados nos próximos tópicos foram utilizados para avaliação da dinâmica de carbono e nitrogênio no ambiente aquático. Assim, foram medidos "*in situ*" os atributos físico-químicos (pH, temperatura da água, temperatura do ar, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido) e coletadas amostras de água fluvial nas 23 estações de amostragem estabelecidas nas mesobacias dos rios Jaguari e Camanducaia em intervalo de 30 dias ao longo do ano de 2015. Adicionalmente, foram coletadas amostras de água para determinação da taxa de respiração e demanda bioquímica de oxigênio, como também amostras de sedimentos e material particulado em suspensão para a determinação das concentrações de C e N e para avaliar as possíveis fontes de matéria orgânica nas mesobacias estudadas, por meio de análise da composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Dados secundários climatológicos e fluviométricos foram obtidos para vários locais específicos das bacias.

4.3.1.1. Dados pluviométricos

A série histórica de 30 anos e precipitação pluviométrica do ano de 2015 foram obtidas através de 11 estações do DAEE (Tabela 8) e postos pluviométricos do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - CIIAGRO. Para os dados de 2015, realizou-se uma análise de consistência e estações com falhas e erros de três meses foram eliminadas, considerou-se os dados de precipitação da estação mais próxima em cada ponto de coleta de amostra de água fluvial. Após as análises de consistência, os dados pluviométricos de 1 dias (24 horas antes da coleta), 7 dias, 14 dias, 21 dias e 30 dias de chuva acumulada por pontos, foram testados por análise de correlação com as variáveis de química da água.

Tabela 8. Estações pluviométricas encontradas no site do DAEE para os municípios da bacia do rio Jaguari.

N	Estação (Código)	Nome	Tipo de Observação	Responsável
1	D3-018	Vargem	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
2	D3-023	Amparo (Arcadas)	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
3	D3-027	Monte Alegre do Sul I	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
4	D3-031	Fazenda Chapadão	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
5	D3-035	Pedra Bela	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
6	D3-036	Pinhalzinho	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
7	D3-042	Jaguariúna	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
8	D3-046	Morungaba	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
9	D3-052	Pedreira	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
10	D3-054	Joanópolis	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP
11	D3-068	Toledo	Pluviométrica (Chuva e Clima)	DAEE-SP

Fonte: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>, 2017.

4.3.1.2. Dados fluviométricos

Os dados fluviométricos foram ajustados a partir de estações fluviométricas da ANA, DAEE e da sala de Situação do CBH-PCJ (Tabela 9), com localização coincidente ou próxima das estações de amostragem utilizadas no presente trabalho. Estações com falhas e erros de 3 meses consecutivos foram desconsideradas. Pontos de coleta sem estação fluviométrica foram ajustados por meio de regressão simples com a precipitação de 21 dias acumulada. Utilizou-se essa precipitação acumulada por causa do menor número dias sem chuva, ajudando em um melhor ajuste da regressão.

A validação dos dados das estações foi feita através de medições de campo de nível da água, vazão medida com ADCP-M9 (Medidor de vazão pelo método acústico - *Doppler- Sontek*) em pontos com coluna d'água maior que 50 cm e com molinete de baixa vazão nos demais pontos. Os dados de vazão (Figura 13) foram utilizados como dados secundários para ponderação dos dados químicos de carbono e nitrogênio, considerando a vazão do dia da coleta.

Tabela 9. Estação Fluviométrica da bacia do rio Jaguari utilizadas para análise da vazão ($m^3 s^{-1}$) do ano de 2015.

N	Estação/ PCJ/		Nome	Rio	Ponto de coleta	Município
	Estação/ ANA	DAEE				
1	62597000	3D-015	Guaripocaba	Jaguari/ jacareí	J6	Vagem-SP
2		4D-001	Foz	Rio Jaguari	J11	Jaguariúna-SP
3	62628000		Fazenda Barra	Rio Jaguari	C7	Jaguariúna-SP
4	62620000	3D-017	Formiga	Camanducaia	C3	Divisa MG/SP
5	62622000	3D-002	Monte Alegre do Sul	Camanducaia	C5	Monte Alegre do Sul-SP
6		D3-045T/3D-008T	Jaguariúna	Rio Jaguari	J10	Jaguariúna-SP
7		D3-044T/3D-001T	Dal-Bo	Camanducaia	C7	Jaguariúna-SP
8	62614800		Captação de Jaguariuna	Rio Jaguari	J9	Jaguariúna-SP
9	62615500		Ponte Rodovia SP-340	Rio Jaguari	J10	Jaguariúna-SP
10	62621000		Bairro Ponte Preta	Camanducaia	C5	Monte Alegre do Sul-SP
11	62622100		Captação de Amparo	Camanducaia	C6	Amparo-SP
12	62584000		Bairro do Tenente	Camanducaia	JT	Extrema - MG
13	62590000		Pires	Rio Jaguari	J5	Extrema - MG
14	62596150		PCH Jaguari MONTANTE 2	Jaguari/ jacareí	J6	Vagem-SP
15	62605100	3D-009	Morungaba	Rio Jaguari	J7	Morungaba-SP
16	62606000		UHE Jaguari Jusante	Rio Jaguari	J8	Pedreira-SP
17	62610000		PCH Macaco Branco Jusante	Rio Jaguari	J8	Pedreira-SP

4.3.1.3. Química da água fluvial

As coletas de água fluvial foram realizadas nas 23 estações de amostragem nos rios Jaguari e Camanducaia, por meio da imersão a 20-25 cm da coluna d'água de um balde graduado de alumínio (10 L) no centro da corrente da água. Em seguida uma alíquota de água foi armazenada em frascos de polietileno de 250 mL (boca larga; $\varnothing = 4$ cm) e mantida sob refrigeração de $\approx 4^{\circ}C$. Ressalta-se que as coletas foram feitas em pontes e buscou-se sempre coletar no mesmo ponto ao longo dos meses do ano de 2015.

4.3.1.4. Material particulado em suspensão (MPS)

O material particulado em suspensão foi dividido em duas frações: fino (MPSF) e grosso (MPSG). As coletas do MPS foram feitas em um ponto no centro da corrente de água por meio da imersão a 20-25 cm da coluna d'água de um balde de 10 L graduado, repetidas vezes, totalizando aproximadamente 40 L de água. Esse material era passado em peneira de malha de $63 \mu m$, o material particulado em suspensão grosso ($MPSG > 63 \mu m$) retido na peneira foi retirado através de pipeta *Pasteur* e transferido para um frasco plástico de acondicionamento. Para a amostragem do material particulado em suspensão fino ($MPSF < 63 \mu m$) uma alíquota da água peneirada foi armazenada em frasco de polipropileno de 1L em cada ponto de coleta, totalizando 23 amostras de MPSG e 23 de MPSF.

4.3.1.5. Sedimento (remanso)

Amostragens de sedimento (camada superficial < 5 cm de profundidade) foram realizadas em agosto de 2015, durante o período mais seco do ano de 2015 nas áreas de remanso próximo as margens. Dessa maneira, em cada ponto de amostragem ao longo dos rios Jaguari e Camanducaia foram coletadas amostras de sedimento, por meio de dragagem (draga Ekman) evitando-se cuidadosamente a perda do material mais fino presente na camada superficial. O material sedimentar coletado (≈ 3 kg) foi acondicionado em sacos plásticos, devidamente etiquetados, e transportados para laboratório refrigerados, e então congelados até seu processamento e análise.

4.3.1.6. Caracterização físico-química e da água fluvial

Os parâmetros físico-químicos pH, temperatura, condutividade elétrica e concentração e saturação de oxigênio dissolvido (CETESB, 1978) foram medidos com medidores portáteis marca YSI na água coleta no balde graduado de alumínio. Essa medição foi efetuada dessa forma por causa das alturas das pontes localizadas na maior parte dos 23 pontos de coleta. Para correções de erros, na primeira coleta fez-se medições com os sensores diretamente na água do rio e no balde em alguns pontos ao longo do rio, não se verificando diferença de valores.

4.3.1.7. Taxa de respiração, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Utilização aparente de O₂ (AOU) e Excesso de CO₂ (Excess-CO₂)

A determinação das taxas de respiração (TR) consistiu em coletar a água do rio em balde graduado de alumínio no centro da corrente e separar alíquotas em 6 frascos de borosilicato para análise de DBO (com capacidade para 60 mL) em cada ponto de coleta (CETESB, 1978). Três, denominados controle, foram imediatamente preservados com cloreto de mercúrio (HgCl₂ - 0,5 μ M) e armazenados junto com os demais em uma caixa incubadora escura a $\approx 20^\circ\text{C}$. Após aproximadamente 5 dias (período calculado em função da concentração de oxigênio medido no rio no momento da coleta), o oxigênio dissolvido de todos os frascos foi quantificado com o oxímetro YSI model 58 equipado com DBO *probe* (5905 - sonda polarográfica de compensação automática de temperatura e agitador automático). Assim, a taxa de respiração microbiana (expressa em $\mu\text{M h}^{-1}$) pôde ser calculada a partir do consumo de oxigênio durante o período de incubação, de acordo com a equação 1 (Ballester et al., 1999), segundo o método adaptado de CETESB (1978).

$$TR = \frac{([OD_i] - [OD_f])}{t}$$

Eq.(1)

onde:

[OD_i] = valor médio da concentração de OD “inicial” (frascos preservados);

[OD_f] = valor médio da concentração de OD “final” (frascos não preservados);

T = período de incubação (em horas).

Para obter os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) os resultados de TR foram multiplicados por 120 (horas), o que equivale ao período de 5 dias de incubação.

Para o estudo do metabolismo de O₂ foi calculada a utilização de oxigênio aparente (AOU), expressa pela equação 2:

$$\text{AOU} = [\text{O}_2]_{\text{eq.}} - [\text{O}_2] \quad \text{Eq. (2)}$$

onde:

[O₂]_{eq.}, equilíbrio do oxigênio dissolvido com a atmosfera (para as condições do estudo é de aproximadamente 250µM); [O₂], é o valor de oxigênio dissolvido obtido em campo. Isso significa que valores negativos de AOU corresponderão à supersaturação de oxigênio na água (Richey et al., 1988; Ballester et al., 1999).

O metabolismo do gás carbônico foi estudado pelo excesso de CO₂ (Excess-CO₂), expresso através da equação 3:

$$\text{Excess-CO}_2 = [\text{CO}_2] - [\text{CO}_2]_{\text{eq.}} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde:

[CO₂]_{eq.}, valor de equilíbrio do gás carbônico dissolvido, para as condições do estudo de aproximadamente 10 µM (Devol et al., 1995; Richey et al., 1988); [CO₂], CO₂ livre que foi calculado a partir do pH e do carbono inorgânico dissolvido (DIC).

Um ambiente será considerado aeróbico quando obtivermos valores de AOU < 200µM e Excess-CO₂ < 250µM. Por outro lado, será anaeróbico, ou microaeróbico, quando apresentar elevados valores AOU > 200µM e Excess-CO₂ > 250µM (Richey et al., 1988; Ballester et al., 1999).

4.3.1.8. Preparo do material de coleta e acondicionamento

Todo o material utilizado no armazenamento de amostras de água foram lavados previamente com solução ácida (HCl 5%) e água deionizada ultra-pura (*Sistema Milli-Q®* – marca *Millipore*) (ABNT, 2001). As amostras coletadas foram acondicionadas sob refrigeração a aproximadamente 4°C (CETESB, 1987) para preservar a maioria das características físicas e químicas até sua chegada no laboratório e a realização do preparo das amostras coletadas e, então, realizada a filtração e armazenamento apropriado em freezer.

4.3.2. Análises em laboratório

4.3.2.1. Nitrato (NO₃⁻) e Amônio (NH₄⁺)

No máximo em 48 horas após a coleta, as amostras de água coletadas de água fluvial foram filtradas através de membranas de acetato de celulose (Ø poro = 0,45 µm) em kit de filtração de polipropileno (*Sterifil Aseptic System Millipore*), utilizando uma bomba a vácuo livre de óleo lubrificante (marca *Gasl*) de baixa pressão. Após a referida filtração para separação da fração dissolvida, as amostras foram armazenadas sob refrigeração (≈ 4 °C) até o momento de se realizarem as determinações de amônio (NH₄⁺) e de nitrato (NO₃⁻) (APHA, 1995).

As concentrações NO_3^- e NH_4^+ foram determinadas por meio de cromatografia líquida por troca iônica (cromatógrafo de íons Metrohm dotado de amostrador automático 813 compact).

As espécies químicas após interação com coluna analítica específica (A300 - ânions; Metrosep C2 150/4.0 - Cátions; supressora MSM II - resistência a pressão 25 bar e duração do switching 140 ms) são medidas por meio de um detector de condutividade que compõe o sistema de análise (833 IC liquid Hanfling unit). Nas análises se utilizou como ferramenta analítica de automação o *Software Metrohm*.

Todas as soluções, incluindo eluente, regenerante, solução-estoque e solução-padrão foram preparadas com água ultrapura (*Milli-Q®* - marca *Millipore*), de baixa condutividade ($0,054 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C). Com o objetivo de garantia da qualidade das análises realizadas foram utilizadas soluções-padrão internacionais de referência (*Environmental Research Associates*). O desvio-padrão (SD) das repetições do padrão de NO_3^- ($n=40$), NH_4^+ ($n=60$) e NO_2^- ($n=40$) ao longo da análise das amostras foi utilizado para a determinação da precisão analítica dos íons, e cujos valores foram de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$, $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,42 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

4.3.2.2. Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) e Nitrogênio Total Dissolvido (NTD)

Para a determinação da concentração de COD, CID e NT foram realizadas análises no equipamento TOC V-CSH combinado ao TNM-1 (módulo de nitrogênio - Shimadzu), sendo as amostras de COD e CID feitas pelo método de infravermelho, com oxidação da amostra por combustão catalítica e NT por quimiluminescência.

Para o carbono orgânico dissolvido (COD) foram filtrados aproximadamente 20 mL de amostra de água em um kit de filtração de vidro (*Millipore*) e membranas de microfibras de vidro *Millipore* ($\varnothing \approx 0,7 \mu\text{m}$), previamente calcinadas a 500°C por 5 horas. Posteriormente essas amostras foram armazenadas em frascos (calcinados) de quartzo (20 ml), preservadas com $30 \mu\text{L}$ de HgCl_2 (250 mM) e retidas sob refrigeração até a realização das análises no analisador.

As amostras para a determinação do CID e NT, foram filtradas (alíquotas de 60 mL) em membrana de acetato de celulose ($\varnothing = \approx 0,45 \mu\text{m}$), armazenadas em frasco de polietileno de 60 mL e mantidas congeladas até a realização das análises. No analisador TOC V-CSH somente as amostras de carbono inorgânico dissolvidos são acidificadas ($\text{HCl } 2\text{N}$) no próprio sistema do analisador, para a conversão das espécies de carbono inorgânico em CO_2 .

A partir das determinações das concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD), é obtido o valor da concentração de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) por meio da subtração das concentrações das formas inorgânicas de nitrogênio (nitrito, nitrito e amônio; $\text{NID} = \text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$), tendo em vista que $\text{NTD} = \text{NID} + \text{NOD}$.

Para testar a acurácia do sistema, quanto à presença de NTD, DIC e COD, utilizou-se o desvio-padrão (SD) das repetições como amostra dos padrões analíticos, esses apresentaram valores de SD de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, 2 mg L^{-1} e $1,5 \text{ mg L}^{-1}$.

4.3.2.3. Material Particulado em Suspensão Fino (MPSF) e Grosso (MPSG) e sedimento

O material particulado em suspensão (MPS) na água fluvial foi dividido em duas frações - fina e grossa (Meade, 1985). A fração grossa do material particulado ($>63 \mu\text{m}$) após ter passado por peneiramento foi colocada em

placa de *petri* com auxílio de uma pipeta de *Pasteur* e seca em estufa (60°C) por 48 horas e pesada em balança analítica de precisão (0,00001 g) para determinação da massa. Em seguida, as amostras foram maceradas em placa de ágata e armazenadas para análise isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

As amostras de MPSF (< 63 μm) foram filtradas em membranas de acetato de celulose (\varnothing poro = 0,45 μm ; $\varnothing=25$ mm) através de bomba de vácuo de baixa pressão. As membranas, previamente colocadas em estufa a 60°C para secar por 48 horas, foram pesadas em balança analítica de precisão para obtenção da massa inicial. O material filtrado foi desprezado e as membranas com o material retido foram colocadas em estufa à 60°C (≈ 48 horas), e posteriormente foram pesadas em balança analítica de precisão (0,000001 g) para obtenção da massa final, a fim de determinar pelo método gravimétrico a massa de material particulado retido em cada membrana.

Aproximadamente 500 mL de amostra foram transferidos para um *ependorf* tubo de centrífuga de 60 ml para centrifugação a 15000 RPM por 20 minutos e colocadas mais 20 minutos em refrigeração para facilitar o descarte do sobrenadante com pipeta de *Pasteur*, dessa forma, uma amostra precisava de vários ciclos de centrifugação. Posteriormente, esse material foi macerado e armazenado para análise composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Ressalta-se que a calibração da centrifugação durou 7 meses, utilizando diferentes tipos de rotações e durações de ciclos de centrifugação em amostras testes (5 min, 10 min, 15 min e 20 min), considerou-se calibrado quando não se via mais o material particulado no sobrenadante. Por fim, o MPSF foi colocado em placa de *petri* para ser secado em estufa a 60°C.

As amostras de sedimentos (remanso - camada superficial < 5 cm de profundidade) foram peneiradas por via úmida utilizando-se peneiras de aço inoxidável de malha 2 mm para separação de sujeira, e posteriormente, por peneira de malha de 63 μm , para separação das frações fina e grossa, da mesma forma como foi feito para o MPS. O material peneirado foi então colocado em estufa de circulação forçada (60 °C). Posteriormente, a fração grossa foi peneirada em malha de 2 mm, e todas as amostras foram maceradas até o momento da análise composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

4.3.2.4. Isótopos estáveis $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$

As amostras coletadas foram analisadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA – Universidade de São Paulo).

A determinação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foi realizada para amostras de sedimento e material particulado em suspensão fino (MPSF) e grosso (MPSG) dos rios Jaguari e Camanducaia. As amostras armazenadas foram pesadas e colocadas em cápsulas de estanho para posterior análise. O CO_2 gerado pela combustão da amostra foi purificado em uma coluna cromatográfica e injetado no espectrômetro de massas de relação de isótopos de fluxo contínuo Thermo Quest Finningan Delta Plus (Bremen, Germany) acoplado ao analisador elementar CHNS – Carlo Erba EA-1110 (Milão, Itália).

Os teores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, analisados por espectrometria de massas foram determinados pelas razões isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ das amostras em relação ao padrão secundário (isótopo abundante) calibrado pelo - PDB (*Belemnite americana*) e N_2 atmosférico, respectivamente. A precisão analítica foi determinada pelo desvio-padrão (SD) das repetições do padrão secundário ao longo da análise das amostras, e cujos valores foram de 0,15 ‰ para o $\delta^{13}\text{C}$ e 0,25 ‰ para o $\delta^{15}\text{N}$.

A composição isotópica (δ) da amostra (R amostra) é expressa pelo seu desvio em relação à razão de um padrão (R padrão) (Equação 4), em que R é expresso pela relação entre o isótopo raro e o isótopo abundante ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$). Os valores de δ são numericamente pequenos, por isso convencionou-se multiplicar o valor de δ por mil, sendo assim expressa em ‰ (Farquhar, Ehleringer, Hubic, 1989).

$$\delta X (\text{‰}) = \left[\left(\frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} \right) - 1 \right] \quad \text{Eq.(4)}$$

*Notação científica – multiplica-se o número por 1000.

onde:

X = $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$;

R amostra = razões $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ da amostra;

R padrão = razões $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ do padrão.

Abaixo segue a Tabela 10 com os valores de referência encontrados na literatura para as principais fontes de mistura de material particulado fino e grosso transportado no rio.

4.3.3. Cálculo para ajuste das variáveis químicas e fluxo na bacia do rio Jaguari

4.3.3.1. Média padronizada pela vazão

Para eliminar a influência das diferentes ordens de tamanho dos pontos dos rios Jaguari e Camanducaia, o que provoca um efeito de diluição em trechos com maior volume de água, as concentrações médias de N- NO_3^- , N- NH_4^+ , NOD, TN, DIC e DOC foram normalizadas pelas vazões instantâneas por média aritmética ponderada, conforme procedimento descrito por Kattan (1989) e expressado pela equação 5:

$$C_{MNQ} = \frac{Q_i \cdot C_i}{\sum Q_i} \quad \text{Eq.(5)}$$

onde:

C_{MNQ} , representa a concentração média (μM) normalizada pela vazão;

Q_i , a vazão medida para cada dia de amostragem ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

C_i , a concentração instantânea das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas determinadas para cada amostragem (μM); e

$\sum Q_i$, a somatória das vazões no período estudado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

4.3.4. Método estocástico para cálculo do transporte fluvial das espécies químicas

O transporte fluvial das espécies químicas e material particulado fino e grosso foi calculado através do método estocástico proposto por Probst et al., (1992), em que utiliza a concentração padronizada pela vazão na fórmula. Esse foi convertido em transporte específico considerando a área de drenagem das zonas (cabecreira, trecho

médio, jusante e tributári; no rio Jaguari também foi considerada a área da represa) em cada bacia hidrográfica. O transporte e transporte específico fluvial foram expressos nas Equações 6 e 7, respectivamente.

$$T_{fluvial} = C_{MNQ} \cdot Q \cdot 31,536 \quad \text{Eq.(6)}$$

onde:

$T_{fluvial}$, o transporte fluvial da espécie química (kg a^{-1});

C_{MNQ} , a concentração média (mg L^{-1}) normalizada pela vazão;

Q , a vazão média ao longo do período de estudo ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); e

fator, 31,536 corresponde à conversão das unidades de massa e tempo no cálculo do transporte fluvial em toneladas anuais.

$$T_{fluvial\ específico} = \frac{C_{MNQ} \cdot Q \cdot 31,536}{A} \quad \text{Eq.(7)}$$

onde:

$T_{fluvial\ específico}$, o transporte fluvial da espécie química ($\text{kg km}^{-2} \text{a}^{-1}$);

C_{MNQ} , Q ; fator, 31,536 (vide Equação 4); e

A , área drenada a montante da zona de interesse a ser avaliada (km^2).

Para retornar a valor de transporte inicialmente calculado em tonelada para kg multiplicou-se o valor final por 1000.

Dessa forma, para o cálculo de transporte fluvial considerou-se as áreas das zonas, como descrito na Tabela 11 abaixo:

Tabela 10. Área de influência em km^2 medidas em cada zona das bacias dos rios Jaguari e Camanducaia.

Bacia	Cabeceira	Represa	Trecho médio	Jusante	Tributário	Total da Bacia
Jaguari	392	930	451	884	429	3086
Camanducaia	353		620	962	181	2116

4.3.5. Análise de dados

Os resultados foram analisados descritivamente para verificação de dados atípicos (*outliers*) e linearidade das variáveis. Após esta análise preliminar, verificou-se a natureza das distribuições paramétricas (gaussianas) ou não paramétricas (não gaussianas) e a homogeneidade da variância dos dados, a partir do teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnov* e *Levenne*, respectivamente. Verificados esses pressupostos foi feita a correlação dos dados das seguintes variáveis principais: vazão, precipitação, condutividade elétrica, H^+ (valor calculado a partir do pH), oxigênio dissolvido e porcentagem, demanda bioquímica de oxigênio, taxa de respiração, excesso- CO_2 , AOU, amônio, nitrato, carbono orgânico dissolvido, carbono inorgânico dissolvido, nitrogênio orgânico dissolvido, nitrogênio inorgânico total para verificação de multicolinearidade. Posteriormente, verificou-se pelo teste *t de student* a hipótese H_0 de que as bacias dos rios Camanducaia e Jaguari são iguais.

Para as análises multivariadas (*Cluster* e análise de componentes principais-ACP) considerou-se os dados padronizados segundo a equação 8, por causa das unidades diferente de cada variável. A análise de agrupamento

hierárquico (*Cluster*) foi calculada através da de distância euclidiana quadrática (dissimilaridade) pelo método do vínculo médio entre grupos segundo a equação 9, objetivou-se verificar a dissimilaridade entre os pontos de coleta a partir de variáveis químicas da água e socioambientais, para isso as variáveis analisadas foram: oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio, carbono orgânico e inorgânico dissolvido, população, matéria orgânica remanescente, tratamento de esgoto, H^+ , $CO_{2(aq)}$.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde: Z, distribuição em escore Z;

X, valor do dado bruto; μ , média da distribuição; e

σ , desvio-padrão da distribuição.

$$dij = \left\{ \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right\}^{1/2} \quad \text{Eq.(9)}$$

onde:

x_{ik} é o valor da variável X_k para o objeto i; e

x_{jk} é o valor da mesma variável para o objeto j.

Análise de componentes principais consiste em transformar os dados linearmente de modo ocorra à produção de índices Z, que sejam não correlacionados na sua ordem de importância e que descrevam a variação dos dados. A partir de um grande número de p variáveis X_1, X_2, \dots, X_p originais altamente correlacionadas positivamente ou negativamente, procura-se reduzir a um pequeno número de variáveis transformadas (Manly, 2008).

O grau de explicação dos componentes da ACP foi verificado pelo teste de Bartlett's e KMO de esfericidade, considerando valores ($>0,5$) para descrição satisfatória dos dados originais. O cálculo da ACP foi feito sobre a matriz de correlação, em que a soma dos termos da diagonal (os autovalores) são iguais a p , o número de variáveis X. A matriz C é a correlação entre X_i e X_j , $c_{ij}=c_{ji}$, sendo a análise individual de cada variável feita pelo autovalores. Abaixo é expressa a equação (10) da determinação da ACP.

$$Z_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + a_{i3}X_3 + \dots + a_{ip}X_p \quad \text{Eq.(10)}$$

onde:

Z_i , i-ésimo componente principal, em que, $\text{Var}(Z_i) = \text{autovalor } \lambda_i$;

a_i , autovetor correspondente ao autovalor λ_i ; e

X_p , variáveis.

O modelo linear generalizado investigou a relação da variável resposta (y) = N- NO_3^- com os preditores (Bacia, zona, sazonalidade, CE, Q, TR, NOD, N- NH_4^+ , Q), a partir da função de ligação *log* para a distribuição gama ($0 < a < +\infty$), que é uma distribuição aplicável a dados com valores máximos discrepantes. O modelo foi avaliado pela análise de *Deviance escalada*, que mede a discrepância entre o modelo calculado e o modelo completo (maximiza a função log-verossimilhança), pois o modelo completo é a referência por serem considerados todos os parâmetros.

A razão de verossimilhança verificou a significância do modelo e o critério de Akaike's (AIC), foi utilizado para escolha do modelo mais parcimonioso, ou seja, maior grau de explicação com menor número de variável, sendo considerado o menor valor entre os modelos encaixados testados. O teste de Wald ($p < 0,05$) testou a significância da comparação entre as médias marginais das zonas dos rios, e para testar a hipótese H_0 de igualdade das bacias para as variáveis do modelo utilizou-se a ANOVA *oneway* com teste de *Bonferroni* ($p < 0,05$).

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio dos programas computacionais, *Sigmaplot* para execução de gráficos, *SPSS*₂₀ para os testes aplicado e *Excel* para gerenciamento do banco de dados em planilhas eletrônicas.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterização dos regimes pluviométricos e fluviométricos

O ano de 2015 foi um ano atípico por causa da grande estiagem ocorrida no estado de São Paulo no ano de 2014, essa afetou a regularidade de chuva até aproximadamente o mês de maio de 2015. Para entender a relação que envolve o processo de diluição e concentração química na água, analisou por correlação de *Pearson* a chuva acumulada em dias, com a vazão instantânea e alguns parâmetros e variáveis influenciados por uma maior ou menor quantidade de água na Tabela 11.

Observa-se um elevado coeficiente de correlação ($r=0,84$; $p>0,05$) entre a vazão instantânea (Q coleta) e a chuva de um dia (CH 1 dias) e um moderado coeficiente de correlação ($r=0,49$; $p>0,05$) do carbono orgânico dissolvido (DOC) com CH 1 dias. Ao analisar o coeficiente de correlação da CH 14 dias e de CH 30 dias com o DOC o coeficiente se torna baixo e não significativo ($p<0,05$).

Tabela 11. Tabela XX. Matriz de correlação de *Pearson* a partir do conjunto total de dados da bacia do rio Jaguari de pluviometria, vazão, pH, Condutividade elétrica, Demanda bioquímica de oxigênio, Carbono orgânico e inorgânico dissolvido.

	Q coleta	CH 1 dias	CH 3 dias	CH 7 dias	CH 14 dias	CH 21 dias	CH 30 dias	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	pH	DBO	DOC μM	DIC μM
Q coleta	1,00											
CH 1 dias	0,84	1,00										
CH 3 dias	0,67	0,81	1,00									
CH 7 dias	0,40	0,39	0,61	1,00								
CH 14 dias	0,67	0,47	0,50	0,75	1,00							
CH 21 dias	0,60	0,39	0,37	0,75	0,94	1,00						
CH 30 dias	0,57	0,31	0,30	0,75	0,93	0,98	1,00					
CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	-0,06	-0,06	-0,14	-0,42	-0,50	-0,49	-0,50	1,00				
pH	-0,06	0,05	0,02	0,17	0,06	0,10	0,06	-0,10	1,00			
DBO	0,06	-0,06	0,01	-0,16	-0,16	-0,19	-0,17	0,50	-0,24	1,00		
DOC μM	0,50	0,49	0,28	-0,13	0,05	-0,01	-0,09	0,58	-0,09	0,36	1,00	
DIC μM	0,17	0,21	0,15	-0,17	-0,28	-0,32	-0,33	0,86	0,03	0,35	0,57	1,00

CH, chuva; Q coleta, Vazão $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ no 24 horas antes da coleta; CE, Condutividade elétrica; DBO, Demanda bioquímica de oxigênio; DOC, Carbono orgânico dissolvido; DIC, Carbono inorgânico dissolvido.

As médias de 30 e 14 dias antes da precipitação antes das coletas na bacia do rio Jaguari podem ser observadas na Figura 12. A precipitação total mensal na bacia do rio Jaguari foi de 1490,5 mm. Os meses com maiores precipitações mensais foram fevereiro (318,42 mm), março (214,02 mm), novembro (154,80 mm) e dezembro (232,40 mm). As precipitações mínimas ocorreram no mês de julho (28,00 mm) e agosto (23,60 mm).

Como observado na Tabela 11 precipitações mais próximas das coletas representam melhor a real influência desses parâmetros nas concentrações de elementos químicos da água, dessa forma, analisou-se também a precipitação de 14 dias. Os meses com maiores precipitações em 14 dias foram fevereiro (157,42 mm), março (151,07 mm), novembro (88,50 mm) e dezembro (156,60 mm). As precipitações mínimas em 14 dias ocorreram no mês de julho (8,00 mm) e agosto (0,00 mm).

A precipitação de 1 dia antes da coleta de dados e a acumulada de 7 dias antes da coleta de dados nos pontos analisados nos rios Jaguari e Camanducaia ao longo do ano de 2015, apresentaram uma alta quantidade de “zeros”, ou seja, falta de chuva. Nos pontos do rio Jaguari em 37 dias ao longo do ano de 2015 não ocorreu chuva no dia anterior à coleta de dados e no rio Camanducaia esse padrão ocorreu em 62 dias. Com relação ao acumulado de 7 dias de precipitação, esse padrão sem chuva ocorreu em 54 dias no rio Camanducaia e 33 dias no rio Jaguari ao longo do ano

de 2015. A partir dos 14 dias de precipitação acumulada antes da coleta de dados esse efeito diminui, ocorrendo 2 dias sem chuva no rio Camanducaia e 1 dia no rio Jaguari.

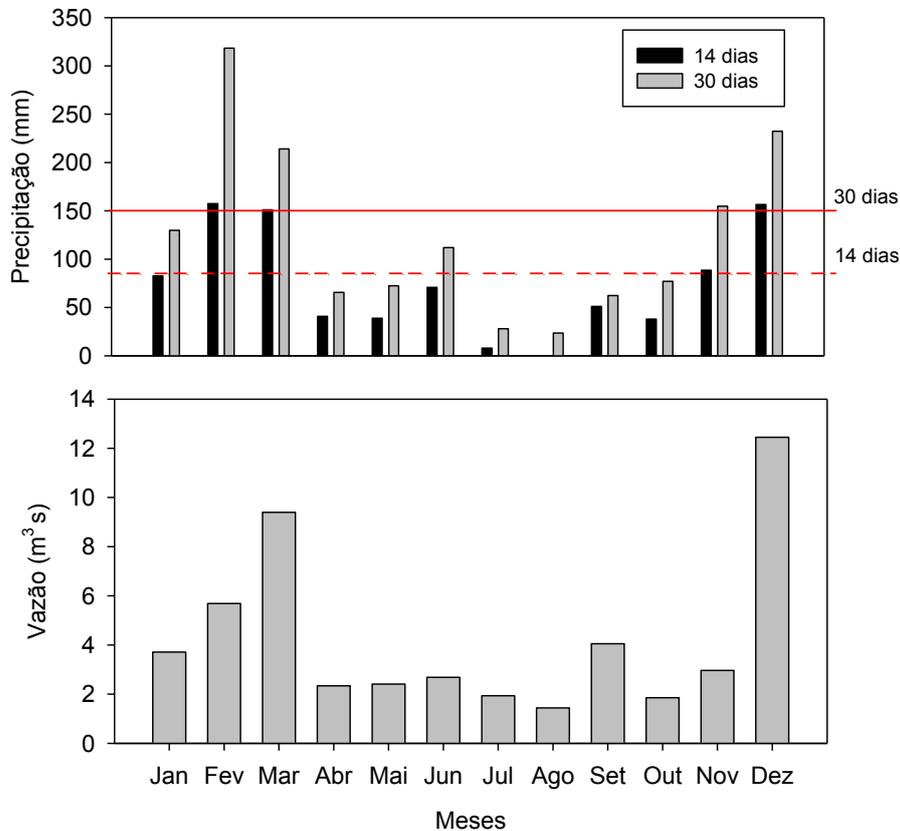


Figura 12. Precipitação acumulada de 14 e 30 dias antes das coletas de dados e vazão instantânea ao longo do ano de 2015 na bacia do rio Jaguari. Limite mínimo para ser considerado um mês chuvoso com precipitação de 30 dias (Linha vermelha sólida) e limite mínimo para ser considerado um mês chuvoso com precipitação de 14 dias (Linha vermelha pontilhada).

A partir da verificação da dependência dos dias acumulados de precipitação antes da coleta de dados para estabelecimento de um padrão de resposta sobre a vazão de um rio e a biogeoquímica da água, avaliou-se dados da média histórica de 30 anos das estações (Agência Nacional de Águas/ Comitês de Bacias - PCJ) da bacia do rio Jaguari e verificou-se que a média mensal mínima histórica de meses chuvosos foi de 90,5 mm.

Ao obter como base a média mínima histórica de meses chuvosos, condicionou-se para esse estudo que meses com precipitações acumuladas de 14 dias acima de 90,5 mm e precipitações acumuladas de 30 dias acima 150 mm seriam considerados como meses chuvosos. Assim, os meses chuvosos considerados para o ano de 2015 foram fevereiro, março, novembro e dezembro.

A vazão dos rios foi utilizada para correlações posteriores com dados de química da água, o maior valor de vazão ocorreu no J11 ($18,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) no rio Jaguari, ponto após a confluência do rio Camanducaia com o rio Jaguari. A menor vazão ocorreu no ponto JN1 ($0,07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) no rio Jaguari e no rio Camanducaia a menor vazão ocorreu na área de cabeceira CN1 ($0,16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). No J6, represa Jaguari/Jacaré a vazão do rio Jaguari foi de $0,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo 84,22% menor que a vazão do último ponto antes da represa. O C7 e C8 no rio Camanducaia apresentaram vazão de $7,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 13).

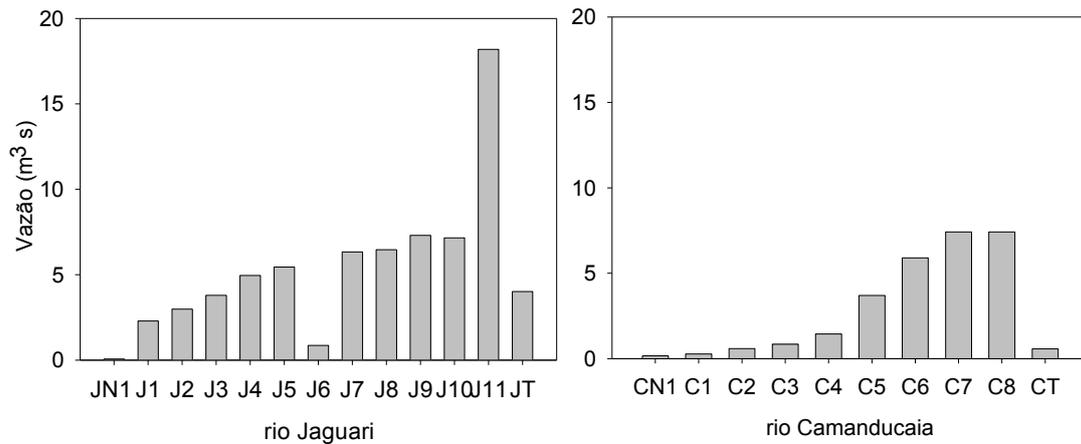


Figura 13. Regime fluviométrico por ponto de coleta nos rios Jaguarí e Camanducaia.

5.2. Variação espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos: Condutividade elétrica, pH, Oxigênio dissolvido e temperatura

No trecho de cabeceira do rio Jaguarí (JN1 a J4) a média mínima da condutividade elétrica (CE) foi de $15 \mu\text{S cm}^{-1}$ no JN1 e a média máxima foi de $31,1 \mu\text{S cm}^{-1}$ no J4, o ponto final do trecho. No rio Camanducaia a média mínima de $27,7 \mu\text{S cm}^{-1}$ ocorreu no CN1 e a média máxima de $54 \mu\text{S cm}^{-1}$ no C3, também no ponto final desse trecho (Figura 14). O rio Camanducaia teve CE 42% maior no ponto final do trecho de cabeceira em relação ao ponto J4 no rio Jaguarí.

A faixa de variação média de $48,5$ a $116 \mu\text{S cm}^{-1}$ de CE foi observada no trecho médio do rio Jaguarí (J5 a J7) e de $53,4$ a $61,3 \mu\text{S cm}^{-1}$ no trecho médio do rio Camanducaia (C4 a C5). Na parte inferior (Jusante) do rio Jaguarí a média de CE máxima foi de $156 \mu\text{S cm}^{-1}$ no ponto de confluência com o rio Camanducaia o J11 e o valor mínimo foi de $132,8 \mu\text{S cm}^{-1}$ no J8 (urbano). No rio Camanducaia a faixa de variação de CE no trecho a jusante foi de 87 a $176 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Figura 14).

No tributário JT (rio Camanducaia Mineiro), ponto de confluência entre o J4 e J5 com influência rural e urbana, a CE média foi de $58 \mu\text{S cm}^{-1}$ e no tributário CT (rio Mosquito), que tem forte influência de agricultura e extração de areia, foi de $93 \mu\text{S cm}^{-1}$, ponto de confluência entre o C5 e C6. Ressalta-se que o tributário JT apesar de ter influência de área rural e urbana, tem um maior volume de água (Figura 14).

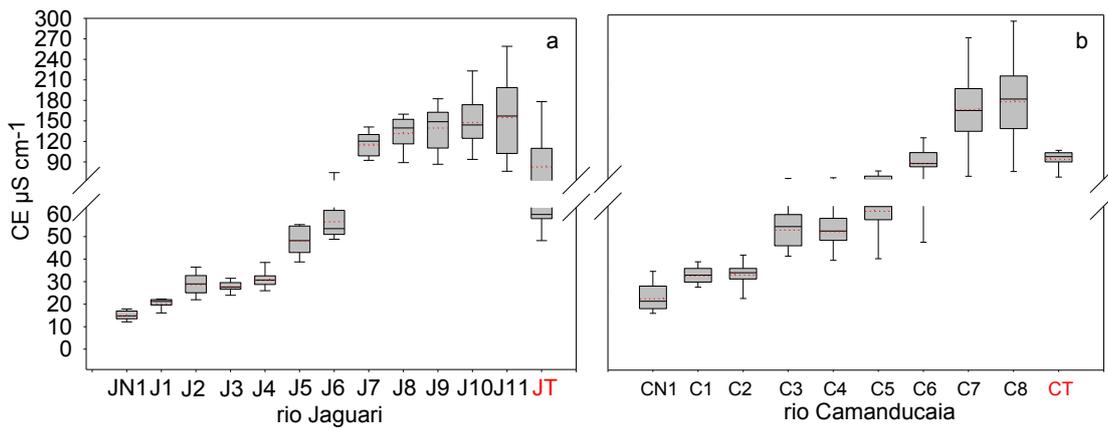


Figura 14. Variação espacial da condutividade elétrica (CE) ao longo dos pontos de coleta nos rios Jaguari e Camanducaia. *Boxplot* com linha vermelha pontilhada representando a média e linha preta sólida a mediana; extremidades são valores máximos e mínimos (n° total=276).

No rio Jaguari a média do pH nas cabeceiras (JN1 a J4) variou na faixa de 6,8 a 7,0, no trecho médio (J5 a J7) a faixa de variação média foi de 6,8 a 6,9, na jusante (J8 a J11) a variação média foi de 6,9 a 7,4 e no tributário o valor médio de pH foi 7,0. No rio Camanducaia a variação média do pH nas cabeceiras (CN1 a C3) foi de 6,6 a 6,8, no trecho médio (C4 a C5) a média foi de 7,2, na jusante (C6 a C8) a variação média foi de 7,0 a 7,2 e no tributário a média foi de 7,2 (Figura XX).

Na saída da represa Jaguari/ Jacaré (J6) ocorreu a menor média de pH de 6,5 e no ponto com despejo de efluentes industriais no rio Jaguari (J10), ocorreu o valor médio máximo de pH de 7,4. No rio Camanducaia a menor média de pH de 6,6 ocorreu no CN1 na área de cabeceira e a média máxima de 7,2, ocorreu no C4, C5, C7 e CT (Figura 15).

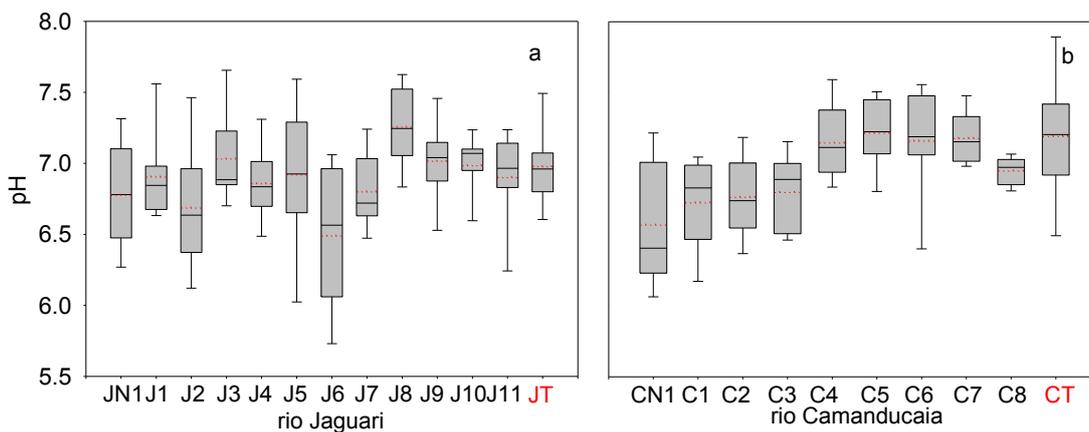


Figura 15. Variação espacial do pH ao longo dos pontos de coleta nos rios Jaguari e Camanducaia. *Boxplot* com linha vermelha pontilhada representando a média e linha preta sólida a mediana; extremidades são valores máximos e mínimos (n° total=276).

A concentração média de oxigênio dissolvido (OD) no rio Jaguari foi de $8,5 \text{ mg L}^{-1}$ no trecho de cabeceira, muito próxima a concentração média na região de cabeceira do rio Camanducaia ($8,0 \text{ mg L}^{-1}$). Nas cabeceiras dos rios Jaguari e Camanducaia valores máximos de OD ocorreram no J3 em Extrema-MG ($10,5 \text{ mg L}^{-1}$) e no C5 ($9,9 \text{ mg L}^{-1}$) áreas com elevação variando de 750 a 2046 m (Tabela 12).

No trecho médio do rio Jaguari a Faixa de variação da concentração média de OD foi de 6,7 a 8,0 mg L⁻¹. Nesse trecho ocorreu uma diminuição média de 14% da concentração de OD no J6, saída da represa Jaguari/ Jacareí em relação ao J5 (ponto antes da represa) e o OD mínimo de 3,8 mg L⁻¹. No rio Camanducaia a faixa média de variação no trecho médio foi de 8,1 a 8,4 mg L⁻¹ (Tabela 12).

No trecho a jusante dos dois rios ocorreu um decréscimo no OD com faixa de variação média no rio Jaguari de 7,4 a 6,4 mg L⁻¹ e no rio Camanducaia de 7,1 a 6,7 mg L⁻¹. O valor mínimo nesse trecho do rio Jaguari ocorreu no J10 (4,6 mg L⁻¹) e no rio Camanducaia de 5,1 no C8 (5,1 mg L⁻¹). A concentração de OD mínima no JT foi de 7,3 mg L⁻¹ e máxima de 8,7 mg L⁻¹ no rio Jaguari e no CT a concentração mínima foi de 7,1 mg L⁻¹ e máxima de 9,4 mg L⁻¹, esses dois rios tributários tiveram OD médio similares (8,0 mg L⁻¹) (Tabela 12).

Tabela 12. Média ponderada pela vazão (nº por ponto de coleta=12), valor máximo e mínimo dos parâmetros físicos (oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio e temperatura) da água e temperatura do ar nos 23 pontos amostrais ao longo dos rios Jaguari e Camanducaia.

Ponto de Coleta	OD mg L ⁻¹			OD%			T°C H ₂ O			T°C ar		
	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.
JN1	8,4 ± 0,09	7,9	9,1	83,1 ± 0,97	79,0	91,5	14,5 ± 0,66	10,9	17,8	17,0 ± 1,23	12,0	26,5
J1	8,6 ± 0,11	8,1	9,2	89,3 ± 1,50	82,0	98,6	16,3 ± 0,83	12,0	19,9	19,8 ± 1,34	14,0	27,0
J2	8,2 ± 0,14	7,7	9,3	85,8 ± 1,42	80,0	97,0	17,1 ± 0,91	12,8	22,9	20,4 ± 1,03	16,0	28,0
J3	8,9 ± 0,19	7,9	10,5	94,1 ± 1,97	84,5	104,0	17,4 ± 0,77	13,6	20,6	21,3 ± 1,09	16,0	29,0
J4	8,3 ± 0,16	7,3	9,4	89,1 ± 1,23	82,6	96,0	18,4 ± 0,86	14,8	22,3	22,3 ± 1,14	18,0	29,0
J5	8,0 ± 0,15	6,8	8,8	88,0 ± 1,39	79,0	94,0	20,5 ± 1,06	16,4	28,8	24,0 ± 1,13	18,0	30,0
J6	6,9 ± 0,37	3,8	8,4	78,5 ± 3,70	47,0	90,0	22,3 ± 0,87	17,9	27,0	23,6 ± 1,33	18,0	31,0
J7	6,7 ± 0,32	5,1	8,5	76,9 ± 2,57	60,5	91,0	22,9 ± 1,01	17,0	27,0	23,7 ± 1,13	17,0	30,0
J8	7,4 ± 0,13	6,8	8,1	86,3 ± 1,78	76,0	96,8	23,2 ± 1,00	17,3	27,8	26,3 ± 1,15	19,0	31,2
J9	6,6 ± 0,24	5,2	7,6	78,6 ± 2,85	60,0	89,3	23,3 ± 1,05	17,4	29,1	24,9 ± 0,95	18,0	29,0
J10	6,4 ± 0,33	4,6	8,6	73,8 ± 2,83	60,0	92,0	23,1 ± 1,00	17,8	28,0	24,2 ± 1,02	18,0	30,7
J11	6,5 ± 0,31	5,0	8,1	75,1 ± 2,76	59,4	89,0	22,6 ± 0,98	17,2	27,4	23,6 ± 0,94	19,6	28,8
JT	8,0 ± 0,12	7,3	8,7	87,3 ± 1,03	82,0	95,0	19,5 ± 0,77	16,1	23,0	23,4 ± 1,01	18,0	28,0
CN1	7,8 ± 0,19	6,7	9,2	85,2 ± 1,46	79,2	97,0	20,1 ± 0,72	17,8	24,4	23,5 ± 1,22	16,0	30,0
C1	8,0 ± 0,15	7,2	9,1	85,6 ± 1,56	77,0	99,1	18,6 ± 0,69	16,2	22,5	22,7 ± 1,14	17,0	30,0
C2	8,1 ± 0,11	7,6	8,9	89,1 ± 1,27	84,4	100,1	19,4 ± 0,79	16,7	23,6	23,4 ± 1,13	18,0	30,0
C3	7,5 ± 0,17	6,8	8,9	80,5 ± 1,24	70,4	87,2	18,3 ± 0,70	14,9	21,6	24,4 ± 1,13	17,0	30,0
C4	8,1 ± 0,16	7,2	8,9	88,9 ± 0,99	83,7	95,0	20,0 ± 0,82	15,9	24,5	25,5 ± 0,98	19,0	31,0
C5	8,4 ± 0,19	7,5	9,9	93,2 ± 1,54	85,0	106,2	20,9 ± 0,94	16,1	25,4	25,4 ± 1,01	19,0	31,0
C6	7,1 ± 0,25	5,9	8,0	79,5 ± 2,66	64,0	95,0	21,2 ± 0,86	16,8	25,4	25,4 ± 1,32	18,0	31,0
C7	7,0 ± 0,20	6,0	8,1	80,8 ± 2,10	66,0	90,0	22,5 ± 1,03	17,1	28,1	24,5 ± 0,98	18,0	30,0
C8	6,7 ± 0,35	5,1	8,1	76,3 ± 3,32	60,0	95,0	22,6 ± 0,94	17,8	27,2	23,7 ± 0,93	18,0	29,0
CT	8,2 ± 0,17	7,1	9,4	92,8 ± 1,68	81,0	102,8	20,8 ± 0,88	16,5	24,7	25,5 ± 1,12	18,0	31,0

*Medida de dispersão, erro padrão da média;

*OD, Oxigênio Dissolvido;

*T°C H₂O, Temperatura da água;

*T°C ar, Temperatura da ar;

*Mín, Mínimo; Máx., Máximo.

A saturação de OD (OD%) correlacionou-se inversamente com a temperatura da água ($r = -0,5$; $p < 0,05$), temperaturas máximas da água ocorreram em pontos a jusante dos dois rios. Os valores mínimos de OD% ocorreram no J6 (47%) e J11 (59,4%) no rio Jaguari e no C8 (60%) no rio Camanducaia. No rio Jaguari a faixa média de variação de OD% nas cabeceiras foi de 83,1 a 94,1%, no trecho médio de 76,9 a 88 % e na jusante 73,8 a 86,8%.

Nas Tabelas 13 e 14 são observados dados de análise temporal em período sazonal (seco e chuvoso) da condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido e saturação de oxigênio por ponto de coleta. Para isso, os meses considerados chuvosos foram fevereiro, março, novembro e dezembro e os demais meses foram considerados secos.

Tabela 13. Dados médios ponderados pela vazão, valor máximo, mínimo e erro padrão (nº por ponto de coleta=4) da média dos parâmetros físico-químicos e da vazão no período chuvoso ao longo dos rios Jaguari e Camanducaia.

Ponto de Coleta	Q m ³ s ⁻¹			pH			CE µS cm ⁻¹			OD mg L ⁻¹			OD %		
	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.
JN1	0,30 ± 0,02	0,23	0,39	6,78 ± 0,11	6,37	7,30	14,10 ± 0,66	11,90	17,00	8,42 ± 0,09	7,91	9,07	85,23 ± 2,25	81,00	91,50
J1	5,50 ± 0,73	2,00	8,09	6,87 ± 0,03	6,69	6,95	19,93 ± 0,59	17,40	21,90	8,51 ± 0,13	8,20	9,13	91,45 ± 2,52	86,40	98,40
J2	5,80 ± 0,61	3,00	8,17	6,55 ± 0,11	6,07	6,97	27,13 ± 1,72	21,30	34,60	7,91 ± 0,18	7,67	8,09	86,68 ± 1,52	84,10	91,00
J3	6,79 ± 0,80	3,20	9,00	7,04 ± 0,06	6,85	7,24	27,83 ± 1,18	23,30	31,80	8,53 ± 0,24	7,92	8,93	93,63 ± 3,28	85,00	99,40
J4	8,14 ± 1,03	3,60	11,00	6,71 ± 0,07	6,48	6,96	28,15 ± 0,75	25,60	31,60	7,78 ± 0,16	7,29	8,09	87,85 ± 2,50	82,60	93,10
J5	9,17 ± 1,30	3,80	13,68	6,87 ± 0,22	5,85	7,64	47,58 ± 2,52	38,30	55,50	7,88 ± 0,22	7,65	8,26	91,18 ± 1,02	89,40	94,00
J6	1,17 ± 0,19	0,46	2,07	6,20 ± 0,13	5,70	6,64	62,58 ± 3,28	53,50	79,20	5,86 ± 0,27	3,80	7,19	69,38 ± 8,95	47,00	85,50
J7	10,17 ± 1,59	3,92	16,59	6,60 ± 0,04	6,47	6,72	96,45 ± 1,28	90,80	101,30	5,79 ± 0,38	5,30	6,20	71,25 ± 2,66	65,00	77,00
J8	9,20 ± 1,51	4,87	16,77	7,23 ± 0,04	7,13	7,44	105,15 ± 4,71	82,50	118,30	7,20 ± 0,15	6,79	7,79	87,75 ± 2,84	82,00	94,00
J9	10,73 ± 1,50	5,20	17,00	7,07 ± 0,02	7,00	7,16	102,95 ± 5,72	82,70	129,70	6,74 ± 0,34	6,28	7,18	83,30 ± 2,68	76,20	89,00
J10	10,48 ± 1,60	4,20	17,00	7,45 ± 0,21	7,07	8,53	113,98 ± 6,08	86,90	135,70	6,01 ± 0,44	4,98	7,19	73,18 ± 5,21	63,60	86,00
J11	33,80 ± 5,96	10,53	54,72	6,71 ± 0,14	6,14	7,16	101,10 ± 5,97	73,20	122,20	6,32 ± 0,41	5,07	7,48	76,18 ± 5,21	63,80	89,00
JT	6,37 ± 0,80	2,82	8,61	6,83 ± 0,07	6,53	7,08	52,85 ± 2,06	45,60	60,10	7,83 ± 0,18	7,73	7,91	89,15 ± 1,18	85,70	91,00
CN1	0,44 ± 0,03	0,31	0,57	6,63 ± 0,13	6,20	7,25	33,40 ± 1,57	26,30	39,60	7,27 ± 0,21	6,66	7,58	82,88 ± 1,86	79,20	87,00
C1	0,65 ± 0,05	0,46	0,85	6,58 ± 0,08	6,34	6,94	37,25 ± 0,81	33,80	40,60	7,81 ± 0,21	7,52	8,00	86,75 ± 1,44	83,00	89,00
C2	0,97 ± 0,07	0,68	1,25	6,59 ± 0,03	6,50	6,68	34,85 ± 0,95	30,40	38,10	7,86 ± 0,13	7,57	8,20	89,05 ± 1,78	84,40	93,00
C3	1,36 ± 0,07	1,07	1,65	6,67 ± 0,06	6,47	6,94	50,30 ± 2,12	43,30	58,00	7,14 ± 0,22	7,04	7,29	80,23 ± 0,73	79,00	81,90
C4	1,88 ± 0,05	1,73	2,04	7,05 ± 0,03	6,94	7,17	48,88 ± 2,18	41,60	57,20	7,85 ± 0,23	7,74	8,00	89,83 ± 1,69	86,00	93,00
C5	7,50 ± 1,59	2,30	14,04	7,27 ± 0,05	7,07	7,50	53,85 ± 3,84	41,80	71,10	8,05 ± 0,28	7,92	8,20	93,88 ± 1,87	90,40	99,00
C6	12,10 ± 2,56	3,71	22,65	7,17 ± 0,08	6,87	7,55	65,83 ± 5,17	46,90	81,70	7,46 ± 0,30	6,20	8,01	87,13 ± 4,69	73,50	95,00
C7	15,56 ± 3,54	4,26	32,52	7,22 ± 0,02	7,11	7,31	103,33 ± 10,82	58,50	138,40	6,92 ± 0,27	6,55	7,63	83,43 ± 2,58	78,70	90,00
C8	15,56 ± 3,54	4,26	32,52	6,91 ± 0,03	6,80	7,02	108,10 ± 10,12	65,10	138,30	7,01 ± 0,45	5,48	8,10	83,38 ± 5,76	69,10	95,00
CT	1,67 ± 0,09	1,36	1,97	7,20 ± 0,02	7,10	7,28	82,78 ± 4,99	57,90	95,50	8,04 ± 0,24	7,46	8,40	94,25 ± 2,87	89,00	102,00

*Q, Vazão; CE, Condutividade elétrica; OD, oxigênio dissolvido; OD%, Saturação de oxigênio.

Tabela 14. Dados médios ponderados pela vazão, valor máximo, mínimo e erro padrão da média (nº por ponto de coleta=8) da média dos parâmetros físico-químicos e da vazão no período seco ao longo dos rios Jaguari e Camanducaia.

Ponto de Coleta	Q m ³ s ⁻¹			pH			CE µS cm ⁻¹			OD mg L ⁻¹			OD %		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
JN1	0,04 ± 0,00	0,04	0,05	6,67 ± 0,11	6,23	7,32	17,31 ± 0,49	16,53	18,15	8,05 ± 0,09	7,64	8,74	81,40 ± 0,80	79,00	85,30
J1	0,68 ± 0,08	0,53	1,25	6,82 ± 0,11	6,62	7,64	20,86 ± 0,64	15,50	22,30	8,68 ± 0,13	8,13	9,21	88,25 ± 1,85	82,00	98,60
J2	1,57 ± 0,17	1,24	2,89	6,61 ± 0,13	6,24	7,61	29,95 ± 1,15	24,50	37,30	8,42 ± 0,18	7,66	9,31	85,29 ± 2,04	80,00	97,00
J3	2,29 ± 0,25	0,90	3,19	6,93 ± 0,11	6,68	7,70	27,73 ± 0,34	26,60	29,70	9,10 ± 0,24	8,43	10,48	94,30 ± 2,60	84,50	104,00
J4	3,36 ± 0,41	1,90	6,20	6,88 ± 0,07	6,69	7,31	32,61 ± 1,08	29,10	38,70	8,52 ± 0,16	8,01	9,35	89,68 ± 1,44	85,00	96,00
J5	3,59 ± 0,41	2,00	6,50	6,84 ± 0,10	6,43	7,48	48,96 ± 1,52	39,90	55,10	8,06 ± 0,22	6,83	8,76	86,45 ± 1,81	79,00	93,00
J6	0,70 ± 0,15	0,37	1,93	6,42 ± 0,13	5,80	7,06	54,16 ± 1,60	48,10	62,90	7,40 ± 0,27	6,05	8,35	83,03 ± 2,49	69,80	90,00
J7	4,41 ± 0,73	2,55	10,25	6,85 ± 0,07	6,62	7,25	125,88 ± 3,65	101,50	141,90	7,19 ± 0,38	5,08	8,49	79,69 ± 3,26	60,50	91,00
J8	5,09 ± 0,80	2,60	10,46	7,17 ± 0,09	6,80	7,64	146,69 ± 2,80	133,30	162,40	7,53 ± 0,15	6,83	8,11	85,59 ± 2,36	76,00	96,80
J9	5,59 ± 0,90	2,70	10,73	6,88 ± 0,10	6,39	7,55	159,88 ± 4,74	135,00	184,60	6,60 ± 0,34	5,21	7,60	76,21 ± 3,90	60,00	89,30
J10	5,49 ± 0,92	2,70	10,73	6,93 ± 0,36	6,59	10,38	166,21 ± 10,37	125,40	243,00	6,54 ± 0,44	4,64	8,59	74,08 ± 3,61	60,00	92,00
J11	10,38 ± 2,03	4,00	26,90	6,97 ± 0,05	6,83	7,27	183,48 ± 16,58	83,35	262,00	6,59 ± 0,41	5,03	8,10	74,51 ± 3,47	59,40	88,00
JT	2,84 ± 0,31	1,65	4,78	7,00 ± 0,08	6,80	7,54	60,59 ± 1,20	54,40	68,10	8,03 ± 0,18	7,29	8,67	86,40 ± 1,36	82,00	95,00
CN1	0,03 ± 0,01	0,01	0,09	6,39 ± 0,12	6,03	7,14	24,81 ± 0,68	21,70	27,60	8,04 ± 0,21	7,27	9,22	86,34 ± 1,93	79,70	97,00
C1	0,08 ± 0,01	0,06	0,14	6,67 ± 0,09	6,10	7,05	36,13 ± 1,02	31,10	42,00	8,09 ± 0,21	7,21	9,13	85,03 ± 2,26	77,00	99,10
C2	0,40 ± 0,04	0,29	0,70	6,77 ± 0,08	6,31	7,20	37,80 ± 1,60	26,20	44,70	8,27 ± 0,13	7,55	8,86	89,05 ± 1,77	85,00	100,10
C3	0,58 ± 0,06	0,43	1,06	6,79 ± 0,08	6,46	7,18	55,93 ± 1,77	47,70	65,10	7,75 ± 0,22	6,81	8,90	80,56 ± 1,88	70,40	87,20
C4	1,22 ± 0,04	1,08	1,42	7,10 ± 0,09	6,79	7,64	55,66 ± 1,79	49,60	65,10	8,19 ± 0,23	7,15	8,93	88,49 ± 1,28	83,70	95,00
C5	1,80 ± 0,11	1,14	2,30	7,12 ± 0,08	6,70	7,51	65,04 ± 1,52	58,80	76,20	8,50 ± 0,28	7,52	9,88	92,80 ± 2,18	85,00	106,20
C6	2,81 ± 0,18	1,69	3,71	6,80 ± 0,13	6,20	7,56	97,56 ± 4,54	80,80	130,60	6,87 ± 0,30	5,89	7,93	75,71 ± 2,39	64,00	83,00
C7	3,35 ± 0,27	1,89	4,60	7,13 ± 0,06	6,97	7,50	202,14 ± 17,00	152,30	313,00	7,07 ± 0,27	5,96	8,05	79,44 ± 2,87	66,00	88,30
C8	3,35 ± 0,27	1,89	4,60	6,98 ± 0,03	6,83	7,08	209,76 ± 14,78	144,70	303,00	6,50 ± 0,45	5,06	8,10	72,81 ± 3,69	60,00	89,00
CT	0,03 ± 0,00	0,02	0,03	6,94 ± 0,15	6,34	8,00	97,80 ± 1,78	85,70	104,60	8,31 ± 0,24	7,11	9,36	92,08 ± 2,16	81,00	102,80

*Q, Vazão; CE, Condutividade elétrica; OD, oxigênio dissolvido; OD%, Saturação de oxigênio.

5.3. Variação espaço-temporal das variáveis de metabolismo do rio: demanda bioquímica de oxigênio, Utilização aparente de oxigênio, Excesso de CO₂ e Taxa de respiração

Na cabeceira do rio Jaguari (JN1, J1, J2, J3 e J4) a utilização aparente de oxigênio (AOU) teve variação média de -25,23 a -5,36 μM , o valor mínimo ocorreu no J4 de -74,38 μM e máximo de 25,31 μM no J4. A faixa de variação média de excesso de CO₂ (Excesso-CO₂) foi de 76,22 a 159,68 μM , da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 1,09 a 1,33 μM e da taxa de respiração (TR) de 0,28 a 0,35 μM , o valor máximo de DBO (4,42 μM) e TR (1,15 μM) ocorreu no ponto J2 em Extrema-MG (Tabela 15).

No trecho médio (J5 a J7) do rio Jaguari ocorreu uma elevada faixa de variação média de excess-CO₂ de 165,10 a 347,70 μM em comparação com as outras variáveis metabólicas do rio. O excesso-CO₂ máximo foi verificado na represa Jaguari/Jacareí (J6) (952,42 μM) e o mínimo no J5 (26,50 μM). Apesar do excesso-CO₂ ter apresentado valores altos a AOU não seguiu o mesmo padrão, a faixa de variação média foi de 3,15 a 42,99 μM e o valor máximo de 134,38 μM no J6 (Tabela 15).

Na parte urbanizada da mesobacia do rio Jaguari, jusante (J8 a J11), a faixa de variação média de excess-CO₂ foi de 165,10 a 347,70 μM . No J8 ocorreu o valor máximo medido de 885,46 μM de excess-CO₂, e também de DBO de 8,55 μM . A faixa de variação média foi de AOU foi de 21,25 a 54,30 μM e o valor máximo de 108,13 no J10. O valor mínimo de TR ocorreu no J9 (0,31 μM) e o máximo no J11 ponto após a confluência com o rio Camanducaia (2,36 μM).

No rio Camanducaia a faixa de variação média dos pontos de cabeceira (CN1, C1, C2, C3) para o excesso-CO₂ foi mais elevado que no rio Jaguari (153,10 a 200,09 μM), ocorrendo valor máximo de 353,60 μM no C1, nesse também foram verificados valores máximos de TR (1,23 μM) e DBO (4,76 μM). A variação média de AOU foi de -0,94 a 17,34 μM e o valor mínimos e máximo ocorreu no CN1 (-35,00 μM e 45,00 μM , respectivamente).

O excesso-CO₂ no trecho médio (C4 e C5) do rio Camanducaia também foi elevado com faixa de variação média de 111,58 a 116,89 μM , diferentemente das variáveis AOU, TR e DBO com faixa de variação de -7,92 a 0,92 μM , 0,45 a 0,49 μM e 1,75 a 1,90 μM , respectivamente (Tabela 15).

Valores máximos de DBO (3,24 μM), TR (0,84 μM), AOU (29,69 μM) e excesso-CO₂ (299,83 μM) ocorreram no C4, nesse ponto também foi verificado o valor mínimo de excesso-CO₂ (23,58 μM). No C5 foram verificados os valores mínimos de DBO (0,20 μM), AOU (-55,63 μM) e TR (0,05 μM).

Na Jusante (C6, C7 e C8) do rio Camanducaia, trecho mais urbanizado dessa mesobacia, o excesso-CO₂ com faixa de variação média de 204,84 a 346,18 μM foi o parâmetro mais elevado em relação aos outros analisados. As faixas de variação média da AOU, do DBO e da TR foram de 31,26 a 44,79 μM , 4,11 a 5,97 μM e 1,11 a 1,15 μM , respectivamente, os valores mínimos ocorreram no ponto C6 (AOU -3,91 μM ; DBO 1,59 μM ; TR 0,41 μM). As máximas de excesso-CO₂ e AOU ocorreram no C6 (1031,28 μM) e C8 (95,00 μM).

O excess-CO₂ médio foi mais elevado no tributários CT (204,00 μM) do rio Camanducaia do que no JT (165,71 μM) do rio Jaguari, o valor máximo ocorreu no CT (718,03 μM). As outras variáveis não apresentaram essa diferença entre os dois rios, sendo os valores máximos de DBO (5,51 μM - CT; 4,29 μM - JT), de AOU (30,94 μM - CT; 25,31 μM - JT) e TR (1,43 μM - CT; 1,11 μM - JT) sem elevadas variações (Tabela 15).

Tabela 15. Variação espacial (nº por ponto de coleta=12; Média ponderada pela vazão) das variáveis de metabolismo do rio por estação de coleta de montante para jusante nos rios Jaguari (JN1 a J11) e Camanduaia (CN1 a CT).

Pontos de coleta	TR μM			DBO mg L^{-1}			AOU μM			Excess- CO_2 μM		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
JN1	0,35 ± 0,07	0,10	0,79	1,33 ± 0,25	0,38	3,06	-10,27 ± 2,97	-30,31	7,34	89,58 ± 17,94	8,14	197,02
J1	0,28 ± 0,06	0,01	0,65	1,09 ± 0,24	0,06	2,51	-16,28 ± 3,38	-34,69	-0,94	76,22 ± 12,18	3,69	150,60
J2	0,31 ± 0,08	0,07	1,15	1,18 ± 0,32	0,27	4,42	-4,64 ± 4,32	-37,81	13,75	159,68 ± 22,39	25,33	330,27
J3	0,32 ± 0,06	0,08	0,72	1,22 ± 0,25	0,29	2,79	-25,23 ± 5,83	-74,38	5,63	94,23 ± 15,65	15,50	185,11
J4	0,34 ± 0,07	0,06	0,82	1,31 ± 0,28	0,24	3,15	-5,36 ± 4,85	-39,06	25,31	126,06 ± 21,26	31,23	311,01
J5	0,82 ± 0,13	0,18	1,51	3,15 ± 0,50	0,69	5,81	3,15 ± 4,80	-20,63	39,69	165,10 ± 39,55	26,50	488,69
J6	0,62 ± 0,11	0,15	1,43	2,38 ± 0,42	0,56	5,51	37,84 ± 11,54	-7,81	134,38	347,70 ± 76,72	73,00	952,42
J7	0,77 ± 0,12	0,21	1,24	2,83 ± 0,43	0,80	4,76	42,99 ± 10,03	-12,19	94,38	304,44 ± 35,90	91,89	447,44
J8	1,17 ± 0,15	0,38	2,22	4,55 ± 0,60	1,48	8,55	21,25 ± 4,03	-0,31	40,94	159,56 ± 30,03	56,26	361,51
J9	1,12 ± 0,12	0,31	1,93	4,38 ± 0,48	1,20	7,42	45,42 ± 7,37	15,63	90,31	324,51 ± 63,14	119,34	875,44
J10	1,30 ± 0,11	0,82	2,15	4,76 ± 0,29	3,15	6,32	54,30 ± 10,36	-15,31	108,13	326,99 ± 72,99	3,72	885,46
J11	1,23 ± 0,14	0,52	2,36	4,63 ± 0,46	2,00	7,68	50,12 ± 9,58	0,00	95,94	368,77 ± 51,64	118,36	653,83
JT	0,60 ± 0,09	0,13	1,11	2,33 ± 0,33	0,50	4,29	4,22 ± 3,79	-17,81	25,31	165,71 ± 25,43	58,76	331,50
CN1	0,16 ± 0,02	0,04	0,29	0,63 ± 0,09	0,17	1,13	10,00 ± 5,79	-35,00	45,00	200,09 ± 26,12	61,69	320,97
C1	0,47 ± 0,11	0,09	1,23	1,82 ± 0,41	0,36	4,76	3,39 ± 4,61	-32,19	27,81	175,84 ± 24,25	79,45	353,60
C2	0,37 ± 0,06	0,12	0,76	1,44 ± 0,23	0,47	2,91	-0,94 ± 3,54	-23,75	17,19	153,10 ± 16,57	49,18	230,39
C3	0,41 ± 0,07	0,10	0,92	1,57 ± 0,26	0,40	3,54	17,34 ± 5,25	-25,00	40,31	176,58 ± 22,14	79,77	351,95
C4	0,45 ± 0,07	0,08	0,84	1,75 ± 0,26	0,32	3,24	0,92 ± 4,92	-25,94	29,69	116,89 ± 22,49	23,58	299,83
C5	0,49 ± 0,07	0,05	0,80	1,90 ± 0,29	0,20	3,09	-7,92 ± 6,03	-55,63	18,13	111,58 ± 16,06	47,05	247,70
C6	1,11 ± 0,18	0,41	2,79	4,28 ± 0,70	1,59	10,75	31,26 ± 8,11	-3,91	69,06	204,84 ± 77,27	54,66	1031,28
C7	1,55 ± 0,12	1,18	2,46	5,97 ± 0,46	4,56	9,54	33,83 ± 6,10	1,56	66,88	206,05 ± 25,48	100,38	420,30
C8	1,13 ± 0,16	0,43	2,25	4,11 ± 0,58	1,64	8,65	44,79 ± 10,84	0,00	95,00	346,18 ± 37,56	192,76	635,41
CT	0,58 ± 0,10	0,15	1,43	2,22 ± 0,38	0,58	5,51	-3,78 ± 5,34	-39,38	30,94	204,00 ± 55,22	20,87	718,03

*Medida de dispersão, erro padrão da média; *Min, Mínimo; Máx., Máximo;

*TR, Taxa de respiração; *DBO, Demanda Bioquímica de Oxigênio; *AOU, Utilização Aparente de Oxigênio; *Excess- CO_2 , Excesso de CO_2 .

Em análise temporal, a variação média de AOU foi de -31,09 a -10,00 μM no período seco, de Excess- CO_2 entre 88,61 e 180,17 μM , e de TR entre 0,3 e 0,4 μM . Enquanto que nos meses chuvosos, a faixa de variação de UOA foi de -13,52 a -10,16 μM , do Excess- CO_2 entre 82,92 e 171,01 μM e o TR entre 0,2 e 0,4 μM . Nas cabeceiras do rio Camanducaia (CN1, C1, C2 e C3) nos meses secos a variação média de AOU foi na faixa de -5,20 a 11,02 μM , do Excess- CO_2 de 146,42 a 208,60 μM e a TR entre 0,2 e 0,4 μM . Já nos meses chuvosos, AOU variou de 7,50 a 30,00 μM , Excess- CO_2 variou de 197,96 a 253,29 μM e TR entre 0,2 a 0,6 μM . No rio Camanducaia ocorreu uma elevação nos valores de Excess- CO_2 e AOU e no rio Jaguari houve uma diminuição nos valores de Excess- CO_2 no período chuvoso (Tabela 16 e 17).

A AOU variou em média entre 1,2 a 28,4 μM , o Excess- CO_2 entre 163,6 a 280,1 μM e a TR na faixa de 0,6 e 0,8 μM no trecho médio do rio Jaguari (J5, J6, J7 e JT) no período seco. Nos meses chuvosos, a variação média de AOU foi de 7,0 a 72,1 μM , de excess- CO_2 foi de 186,8 a 546,9 μM e a TR variou de 0,7 a 0,9 μM . O trecho médio do rio Camanducaia (C4, C5 e CT), nos meses secos, teve variação na AOU entre -12,6 a -2,1 μM , no Excess- CO_2 na faixa média de 106,4 a 247,8 μM e a TR entre 0,4 a 0,5 μM .

Por fim, nos meses chuvosos, a variação de AOU foi entre 1,5 e 7,7 μM , do Excess- CO_2 entre 103,8 e 147,9 μM e a TR variou de 0,4 a 0,7 μM . O trecho médio do rio Jaguari, avaliado antes do represamento (J5), possui características semelhantes ao trecho médio do rio Camanducaia (C4 e C5). Esses pontos tem uma condição de UOA e Excess- CO_2 baixos mesmo nos meses chuvosos e alta correlação entre esses parâmetros, o que indica um bom estado de metabolismo do rio (Tabela 16 e 17).

Nos meses secos, no trecho a jusante do rio Jaguari (J8, J9, J10 e J11) a faixa de variação média de AOU foi de 17,7 a 53,9 μM , de Excess- CO_2 entre 191,5 a 415,1 μM e TR de 1,2 a 1,3 μM , enquanto que nos meses chuvosos, a variação de AOU esteve entre 28,3 a 65,2 μM , de Excess- CO_2 entre 127,1 e 379,2 μM e TR variou de 0,8 a 1,3 μM . Já no rio Camanducaia (C6, C7 e C8) nos meses secos a variação foi na faixa de 32,3 a 50,1 μM para a AOU, entre 254,0 e 405,7 μM para o Excess- CO_2 e de 1,3 a 1,7 μM para a TR, nos meses chuvosos, variação de AOU foi entre 20,0 a 36,9 μM , de Excess- CO_2 entre 141,7 e 258,6 μM e para a TR de 0,7 a 1,3 μM (Tabela 16 e 17).

Tabela 16. Variação do período seco (n° por ponto de coleta=8; Média ponderada pela vazão) das variáveis de metabolismo do rio por estação de coleta de montante para jusante nos rios Jaguari (JN1 a JT) e Camanducaia (CN1 a CT).

Pontos de coleta	TR μM			DBO mg L^{-1}			AOU μM			Excess- CO_2 μM		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
JN1	0,43 ± 0,08	0,18	0,79	1,65 ± 0,31	0,71	3,06	-10,37 ± 2,95	-20,00	7,34	97,12 ± 22,59	8,14	197,02
J1	0,34 ± 0,09	0,09	0,65	1,29 ± 0,33	0,35	2,51	-18,09 ± 4,02	-34,69	-0,94	78,11 ± 18,60	3,69	150,60
J2	0,34 ± 0,12	0,07	1,15	1,29 ± 0,48	0,27	4,42	-10,00 ± 5,47	-37,81	13,75	169,67 ± 32,41	25,33	330,27
J3	0,33 ± 0,10	0,08	0,72	1,29 ± 0,37	0,29	2,79	-31,09 ± 7,45	-74,38	-10,31	102,26 ± 20,19	15,50	185,11
J4	0,40 ± 0,10	0,06	0,82	1,52 ± 0,40	0,24	3,15	-13,13 ± 4,85	-39,06	2,81	108,83 ± 19,93	31,23	189,90
J5	0,82 ± 0,12	0,18	1,51	3,16 ± 0,47	0,69	5,81	1,21 ± 5,61	-20,63	39,69	153,14 ± 29,84	28,22	328,23
J6	0,57 ± 0,18	0,15	1,43	2,21 ± 0,67	0,56	5,51	21,80 ± 7,01	-7,81	64,06	253,34 ± 34,14	73,00	577,23
J7	0,72 ± 0,16	0,21	1,24	2,58 ± 0,61	0,80	4,76	28,44 ± 8,35	-12,19	94,38	269,61 ± 67,35	91,89	447,44
J8	1,27 ± 0,17	0,60	2,22	4,97 ± 0,61	2,30	8,55	17,73 ± 11,72	-0,31	39,69	181,05 ± 48,74	56,26	361,51
J9	1,27 ± 0,17	0,82	1,93	5,02 ± 0,67	3,14	7,42	46,88 ± 4,71	15,63	90,31	394,98 ± 43,25	119,34	875,44
J10	1,41 ± 0,12	1,03	2,15	5,04 ± 0,45	3,98	6,32	48,83 ± 10,77	-15,31	108,13	430,21 ± 84,63	177,97	885,46
J11	1,18 ± 0,14	0,52	2,36	4,38 ± 0,32	2,00	7,68	47,40 ± 13,80	0,00	95,94	368,80 ± 87,37	118,36	609,30
JT	0,55 ± 0,21	0,13	1,11	2,13 ± 0,66	0,50	4,29	2,07 ± 12,65	-17,81	25,31	160,41 ± 56,67	58,76	276,84
CN1	0,16 ± 0,04	0,04	0,29	0,63 ± 0,14	0,17	1,13	1,95 ± 6,49	-35,00	25,94	198,10 ± 34,54	61,69	320,97
C1	0,43 ± 0,11	0,09	1,09	1,64 ± 0,42	0,36	4,19	0,47 ± 6,64	-32,19	27,81	142,36 ± 21,43	79,45	226,48
C2	0,37 ± 0,08	0,12	0,76	1,42 ± 0,30	0,47	2,91	-5,20 ± 4,15	-23,75	17,19	135,92 ± 22,26	49,18	230,39
C3	0,42 ± 0,10	0,10	0,92	1,60 ± 0,37	0,40	3,54	11,02 ± 6,87	-25,00	40,31	162,72 ± 30,08	79,77	351,95
C4	0,46 ± 0,10	0,08	0,84	1,79 ± 0,37	0,32	3,24	-2,48 ± 7,16	-25,94	29,69	121,42 ± 33,62	23,58	299,83
C5	0,47 ± 0,10	0,05	0,80	1,80 ± 0,40	0,20	3,09	-12,62 ± 8,69	-55,63	18,13	120,74 ± 23,29	47,05	247,70
C6	1,34 ± 0,09	0,44	2,79	5,15 ± 0,35	1,71	10,75	36,89 ± 7,37	-3,91	69,06	238,72 ± 80,97	60,30	1031,28
C7	1,65 ± 0,23	1,18	2,46	6,36 ± 0,90	4,56	9,54	32,30 ± 10,20	1,56	66,88	243,50 ± 115,41	131,79	420,30
C8	1,29 ± 0,16	0,72	2,25	4,59 ± 0,64	2,78	8,65	50,12 ± 8,58	0,00	95,00	395,21 ± 29,95	257,58	635,41
CT	0,50 ± 0,18	0,15	0,81	1,92 ± 0,68	0,58	3,12	-6,68 ± 13,95	-39,38	30,94	237,30 ± 45,95	20,87	718,03

*Medida de dispersão, erro padrão da média; *Min, Mínimo; Máx., Máximo;

*TR, Taxa de respiração; *DBO, Demanda Bioquímica de Oxigênio; *AOU, Utilização Aparente de Oxigênio; *Excess- CO_2 , Excesso de CO_2 .

Tabela 17. Variação do período chuvoso (nº por ponto de coleta=4; Média ponderada pela vazão) das variáveis de metabolismo do rio por estação de coleta de montante para jusante nos rios Jaguari (JN1 a JT) e Camanducaia (CN1 a CT).

Pontos de coleta	TR μM			DBO mg L^{-1}			AOU μM			Excess- CO_2 μM		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
JN1	0,18 ± 0,05	0,10	0,33	0,70 ± 0,20	0,38	1,28	-10,08 ± 7,50	-30,31	5,94	74,49 ± 32,32	21,07	167,58
J1	0,18 ± 0,07	0,01	0,33	0,70 ± 0,25	0,06	1,29	-12,66 ± 6,60	-32,19	-3,13	72,42 ± 3,35	65,09	80,50
J2	0,25 ± 0,04	0,15	0,34	0,94 ± 0,16	0,57	1,32	6,09 ± 2,82	0,31	13,44	139,71 ± 20,35	80,35	166,60
J3	0,28 ± 0,04	0,17	0,35	1,09 ± 0,16	0,65	1,36	-13,52 ± 6,75	-25,94	5,63	78,17 ± 25,78	47,60	155,09
J4	0,23 ± 0,06	0,11	0,38	0,88 ± 0,23	0,41	1,47	10,16 ± 5,37	0,31	25,31	160,51 ± 50,24	106,09	311,01
J5	0,81 ± 0,20	0,36	1,29	3,13 ± 0,77	1,40	4,97	7,03 ± 4,15	-5,00	14,06	189,00 ± 107,13	26,50	488,69
J6	0,71 ± 0,09	0,47	0,87	2,72 ± 0,33	1,82	3,36	69,92 ± 24,97	28,44	134,38	536,41 ± 160,52	240,08	952,42
J7	0,87 ± 0,09	0,62	1,04	3,34 ± 0,35	2,39	4,02	72,11 ± 6,41	59,38	87,50	374,11 ± 25,82	310,06	436,26
J8	0,97 ± 0,32	0,38	1,73	3,73 ± 1,23	1,48	6,65	28,28 ± 7,08	9,69	40,94	116,59 ± 16,43	75,31	152,37
J9	0,81 ± 0,22	0,31	1,25	3,10 ± 0,86	1,20	4,80	42,50 ± 7,28	28,75	56,88	183,59 ± 22,24	141,72	246,48
J10	1,09 ± 0,14	0,82	1,37	4,19 ± 0,55	3,15	5,27	65,23 ± 15,23	28,44	97,50	120,57 ± 40,87	3,72	192,03
J11	1,34 ± 0,09	1,15	1,58	5,15 ± 0,35	4,43	6,10	55,55 ± 15,72	19,38	94,69	368,72 ± 119,77	154,94	653,83
JT	0,70 ± 0,09	0,51	0,94	2,71 ± 0,35	1,96	3,63	8,52 ± 1,42	5,94	11,56	176,33 ± 53,86	82,34	331,50
CN1	0,16 ± 0,02	0,13	0,20	0,62 ± 0,06	0,50	0,78	26,09 ± 6,53	16,25	45,00	204,08 ± 43,93	73,03	255,00
C1	0,56 ± 0,26	0,11	1,23	2,16 ± 0,99	0,41	4,76	9,22 ± 3,33	3,13	18,13	242,79 ± 45,66	145,66	353,60
C2	0,38 ± 0,10	0,20	0,65	1,47 ± 0,38	0,76	2,52	7,58 ± 4,66	-3,13	16,56	187,46 ± 10,91	162,21	214,95
C3	0,39 ± 0,09	0,23	0,63	1,50 ± 0,34	0,89	2,43	30,00 ± 1,67	25,31	33,13	204,29 ± 28,06	159,87	276,67
C4	0,43 ± 0,08	0,30	0,67	1,66 ± 0,32	1,16	2,60	7,73 ± 2,01	3,13	11,25	107,82 ± 15,78	80,99	147,47
C5	0,55 ± 0,10	0,25	0,73	2,10 ± 0,40	0,94	2,82	1,48 ± 1,92	-3,13	5,63	93,26 ± 11,79	67,85	124,46
C6	0,66 ± 0,09	0,41	0,85	2,53 ± 0,35	1,59	3,28	20,00 ± 13,20	2,81	59,38	137,10 ± 35,14	54,66	225,63
C7	1,35 ± 0,07	1,21	1,54	5,18 ± 0,27	4,65	5,94	36,88 ± 7,78	14,69	48,44	131,16 ± 12,40	100,38	160,87
C8	0,82 ± 0,26	0,43	1,59	3,15 ± 1,02	1,64	6,12	34,14 ± 18,08	0,00	81,88	248,12 ± 29,25	192,76	312,62
CT	0,73 ± 0,24	0,42	1,43	2,82 ± 0,91	1,60	5,51	2,03 ± 6,61	-9,38	20,00	137,39 ± 27,00	81,78	211,43

*Medida de dispersão, erro padrão da média; *Min, Mínimo; Máx., Máximo;

*TR, Taxa de respiração; *DBO, Demanda Bioquímica de Oxigênio; *AOU, Utilização Aparente de Oxigênio; *Excess- CO_2 , Excesso de CO_2 .

5.4. Variação espacial das partições de carbono nos rios Jaguari e Camanducaia

Os dados caracterizados a seguir de carbono orgânico dissolvido, carbono inorgânico dissolvido e carbono orgânico particulado (fino e grosso) analisados espacialmente nos pontos de coleta dos rios Jaguari podem ser observados na Tabela 18.

Nos pontos de cabeceira do rio Jaguari (JN1, J1, J2, J3, J4) a concentração máxima de carbono orgânico dissolvido (DOC) ocorreu no J2 (660,78 μM) e a mínima no JN1 (106,66 μM). Na Cabeceira (CN1, C1, C2, C3) do rio Camanducaia a concentração máxima foi verificada no ponto com influência de um pesqueiro o C2 (889,26 μM), essa foi 26% maior que a concentração máxima da cabeceira do rio Jaguari.

No trecho médio (J5, J6, J7), a maior concentração de DOC de 1223,98 μM foi verificada no ponto com influência direta de agricultura extensiva (J7) e a concentração mínima ocorreu no ponto antes da entrada do rio Jaguari na represa Jaguari/ Jacaréi (J5, 225,23 μM). No trecho médio (C4 e C5) do rio Camanducaia a concentração máxima de DOC ocorreu no C4 (839,30 μM).

No trecho a jusante do rio Jaguari (J8, J9, J10, J11) a concentração máxima de DOC ocorreu no ponto com forte influência de efluentes doméstico na cidade de Pedreira-SP (J8, 812,65 μM) e a média máxima no J10 (812,65 μM), ponto com influência de despejo industrial.

No rio Camanducaia o C7, ponto com influência urbana no trecho a jusante (C6, C7, C8), foi o ponto com maior média de DOC (1016,35 μM) e a maior concentração máxima medida ao longo do estudo de 1669,44 μM .

A concentração média de DOC nos tributários JT (rio Jaguari) e CT (rio Camanducaia) foi de 607,27 μM e 514,18 μM , respectivamente. O valor mínimo de 359,70 μM foi verificado no JT, esse foi 12% menor que a concentração mínima encontrada no CT. A concentração máxima de DOC ocorreu no CT (1199,83 μM).

As concentrações de DIC foram mais elevadas que as de DOC nos trechos (cabeceira, trecho médio, jusante e tributário) avaliados nas duas mesobacias. Na cabeceira (JN1, J1, J2, J3, J4) do rio Jaguari a faixa de variação média do DIC foi de 251,98 a 531,21 μM e na cabeceira (CN1, C1, C2, C3) do rio Camanducaia foi de 523,21 a 638,89 μM , o valor máximo encontrado no C1 de 888,33 μM foi 16% maior que o valor máximo encontrado na cabeceira do rio Jaguari (J4, 748,08 μM).

No trecho do rio Jaguari (J5, J6, J7) a faixa de variação média de DIC foi de 655,12 a 1127,78 μM e no trecho médio (C4, C5) do rio Camanducaia essa variação média foi de 708,36 a 925,90 μM . O valor máximo de DIC no trecho médio do rio Jaguari foi no J7 (1716,88 μM) e no trecho médio do rio Camanducaia foi no C5 (1220,83 μM).

O trecho a jusante com influência de efluentes domésticos nos dos rios apresentaram concentrações de DIC superiores aos outros trechos do rio. No rio Jaguari a faixa de variação média de DIC na jusante (J8, J9, J10, J11) foi de 1308,74 a 1702,82 μM e na jusante (C6, C7, C8) do rio Camanducaia foi de 1096,71 a 1473,05 μM .

A concentração máxima de DIC no tributário JT no rio Jaguari foi de 1072,50 μM , a concentração mínima foi de 555,00 μM e o DIC médio foi de 607,27 μM . No tributário CT a concentração máxima foi de 1583,33 μM , a mínima foi de 750,00 μM e a concentração média de DIC foi de 514,18 μM .

O carbono orgânico particulado do material em suspensão transportado fino (COP-F) foi mais elevado que o carbono orgânico particulado do material em suspensão transportado grosso (COP-G). Na cabeceira (JN1, J1, J2, J3, J4) do rio Jaguari o COP-F variou na faixa média de 30,83 a 227,62 μM e o COP-G variou na faixa média de 20,02 a 66,39 μM . Na cabeceira (CN1, C1, C2, C3) do rio Camanducaia ocorreram menores faixas de variação média de COP-F (73,43 a 136,93 μM) e de COP-G (6,62 a 39,45 μM).

No trecho médio (J5, J6, J7) do rio Jaguari a concentração máxima de COP-F e de COP-G ocorreu no ponto anterior à represa Jaguari/Jacareí, o J5 (2506,69 μM e 54,85 μM , respectivamente). No rio Camanducaia a concentração máxima de COP-F no trecho médio (C4, C5) foi verificada no C5 (2159,47 μM) e de COP-G no C4 (125,26 μM).

A faixa de variação da concentração de COP-F (157,55 a 166,34 μM) e COP-G (5,64 a 21,43 μM) na jusante (J8, J9, J10, J11) do rio Jaguari teve valores menores que no mesmo trecho no rio Camanducaia (COP-F, 371,21 a 475,06 μM ; COP-G, 15,95 a 34,84 μM). A concentração máxima de COP-F e COP-G nesse trecho no rio Jaguari ocorreu no ponto após a confluência do rio Jaguari com o rio Camanducaia (J11 - COP-F, 934,14 μM ; COP-G, 41,89 μM). Na jusante (C6, C7, C8) do rio Camanducaia a concentração máxima de COP-F (1895,11 μM) e de COP-G (74,53 μM) ocorreu no ponto com influência urbana (C7).

A média da concentração de COP-F no tributário JT do rio Jaguari foi de 205,62 μM , o valor máximo foi de 947,45 μM e o mínimo foi de 131,02 μM . No CT, tributário do rio Camanducaia, o COP-F médio de 235,76 μM foi 13% mais elevado do que no JT. A concentração máxima no CT foi de 1140,28 μM .

Para o COP-G a concentração média no JT foi de 27,26 μM e no CT foi de 14,27 μM . O COP-G mínimo no JT foi de 4,27 μM e esse foi próximo ao medido no CT (3,21 μM). A concentração máxima de COP-G no JT (49,95 μM) foi 75,5% menor que a verificada no CT (203,98 μM).

Na Tabela 19 podem ser observados as principais formas de carbono inorgânico: íon bicarbonato (HCO_3^-), íon carbonato (CO_3^{2-}) e o CO_2 aquoso ($\text{CO}_{2[\text{aq}]}$); e a pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$). Nos rios Jaguari e Camanducaia as concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) foram mais elevadas que as de carbonato (CO_3^{2-}). Na cabeceira (JN1, J1, J2, J3, J4) do rio Jaguari a faixa de variação média de HCO_3^- foi de 173,30 a 369,22 μM e de CO_3^{2-} foi de 0,07 a 0,19 μM . O valor máximo de HCO_3^- de 537,81 μM ocorreu no J2 e o mínimo no JN1 (87,33 μM), já para o CO_3^{2-} a concentração máxima ocorreu no J3 (0,886 μM) e a mínima no J2 (0,004 μM).

No rio Camanducaia a faixa de variação média de HCO_3^- na cabeceira (CN1, C1, C2, C3) foi de 353,26 a 436,41 μM , o valor máximo de 698,58 μM ocorreu no C3. Para o íon carbonato a faixa média de variação entre os pontos de cabeceira foi de 0,09 a 0,16 μM e o valor máximo de 0,449 μM ocorreu no CN1.

No trecho médio (J5, J6, J7) do rio Jaguari ocorreu valor máximo de HCO_3^- no 1258,6 μM no J7 e esse ponto também apresentou a maior média de HCO_3^- desse trecho. A faixa de variação do íon carbonato no trecho médio foi de 0,07 a 0,36 μM . No rio Camanducaia a concentração média de HCO_3^- no trecho médio foi 31,6% maior no C5 (807,70 μM), diferentemente, para o CO_3^{2-} a concentração média foi similar entre o C4 (0,38 μM) e o C5 (0,69 μM).

Na jusante (J8, J9, J10, J11) do rio Jaguari a faixa média de variação do íon bicarbonato foi de 1073,6 a 1153,6 μM , o valor máximo ocorreu no ponto com influência de efluente doméstico (J9, 2189,7 μM). Na jusante do rio Camanducaia (C6, C7, C8) o valor máximo de HCO_3^- ocorreu no último ponto do rio o C8 (2611,1 μM).

No ponto J10, que tem influência de despejos industriais, ocorreu o valor mais elevado das concentrações máximas analisadas de CO_3^{2-} (974,5 μM), esse valor foi verificado no dia em que estava ocorrendo despejo da indústria.

A concentração média de HCO_3^- no tributário CT do rio Camanducaia foi de 975,69 μM e no JT foi de 570,99 μM , a concentração máxima no CT de 1334,7 μM foi 29% maior que no JT. O CO_3^{2-} no JT em média foi de 0,24 μM , com valor máximo de 1,20 μM e mínimo de 0,065 μM . No rio Camanducaia o CO_3^{2-} médio no CT foi de 0,72 μM , o valor máximo foi de 4,63 μM e mínimo de 0,056 μM .

A faixa de variação média de $\text{CO}_{2[\text{aq}]}$ na cabeceira (JN1, J1, J2, J3, J4) do rio Jaguari foi de 78,62 a 165,21 μM , a concentração máxima ocorreu no J2 (340,77 μM). No rio Camanducaia a faixa de variação média de $\text{CO}_{2[\text{aq}]}$ na

cabeceira (CN1, C1, C2, C3) foi maior que no rio Jaguari (170,66 a 232,44 μM) e a concentração máxima ocorreu no C3 (362,45 μM). Para a pressão parcial de CO_2 (pCO_2), na cabeceira (JN1, J1, J2, J3, J4) do rio Jaguari, a concentração máxima ocorreu no J2 (4428,59 μatm) e na cabeceira (CN1, C1, C2, C3) do rio Camanducaia C3 (4631,58 μatm).

No trecho médio (J5, J6, J7) do rio Jaguari a concentração mínima de $\text{CO}_{2[\text{aq}]}$ foi de 37,00 μM no J5 e máxima de 962,92 μM no J6. No rio Camanducaia (C4, C5) a concentração mínima de $\text{CO}_{2[\text{aq}]}$ foi de 34,08 μM no C4 e máxima de 258,20 μM no C5. As concentrações máximas de pressão parcial de CO_2 (pCO_2) também ocorreram nos pontos J6 (11729,2 μatm) no rio Jaguari e C5 (3277,42 μatm) no rio Camanducaia.

Na jusante (J8, J9, J10, J11) do rio Jaguari a faixa de variação média de $\text{CO}_{2[\text{aq}]}$ foi de 153,06 a 436,09 μM e na jusante (C6, C7, C8) do rio Camanducaia foi de 175,37 a 221,36 μM . A faixa de variação média de pCO_2 nesse trecho (J8, J9, J10, J11) no rio Jaguari foi de 2089,76 a 4730,88 μatm , já no rio Camanducaia (C6, C7, C8) essa variação média de pCO_2 foi de 2671,55 a 4401,78 μatm . A concentração máxima de pCO_2 na jusante do rio Jaguari ocorreu no ponto com influência de efluentes industriais (J10, 11249,20 μatm) e no rio Camanducaia foi no C6 (13192,70 μatm).

Os tributários apresentaram média de 192,47 μM no JT (rio Jaguari) e 145,24 μM no CT (rio Camanducaia), a concentração máxima no JT foi de 342,00 μM e mínima de 69,26 μM . No CT a concentração máxima (728,53 μM) foi 53% maior que a do JT e a mínima foi de 31,37 μM . A pCO_2 média no tributário do rio Jaguari (JT) foi de 2214,19 μatm e no tributário do rio Camanducaia (CT) foi de 2682,28 μatm .

Nas Tabelas 20 e 21 são observados dados de análise temporal de média, valor máximo, mínimo e erro padrão da média em período sazonal (seco e chuvoso) do carbono orgânico dissolvido, carbono inorgânico dissolvido, carbono orgânico particulado do material transportado fino e grosso, íon bicarbonato, íon carbonato, dióxido de carbono aquoso e pressão parcial de dióxido de carbono por ponto de coleta.

Tabela 18. Variação espacial (n° por ponto de coleta =12; Média ponderada pela vazão) do carbono orgânico dissolvido, carbono inorgânico dissolvido, carbono orgânico particulado do material transportado fino e grosso por estação de coleta de montante para jusante nos rios Jaguari (JN1 a JT) e Camanducaia (CN1 a CT).

Pontos de coleta	DOC μM			DIC μM			COP-F μM			COP-G μM		
	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.
JN1	326,86 ± 42,93	106,66	560,28	251,98 ± 24,94	141,75	446,75	30,83 ± 54,52	12,20	395,41	20,02 ± 16,85	7,55	217,74
J1	384,18 ± 41,19	174,69	565,28	333,90 ± 21,18	226,67	448,25	120,53 ± 219,74	48,01	1681,49	53,63 ± 12,26	4,43	150,10
J2	359,43 ± 38,75	218,90	660,78	450,75 ± 30,96	261,83	631,00	154,60 ± 79,69	56,52	620,17	64,10 ± 18,55	4,38	235,09
J3	385,41 ± 44,45	155,79	557,79	500,13 ± 24,64	292,25	648,25	227,62 ± 288,12	59,33	2470,29	64,67 ± 15,93	3,19	181,62
J4	365,05 ± 43,91	162,45	570,77	531,21 ± 34,40	292,83	748,08	171,40 ± 114,99	101,49	912,39	66,39 ± 12,05	4,59	127,96
J5	456,06 ± 48,00	225,23	695,92	655,12 ± 29,49	446,50	785,33	638,86 ± 267,25	61,25	2506,69	23,08 ± 4,53	4,08	54,85
J6	683,86 ± 74,39	267,28	1065,78	835,93 ± 60,57	465,67	1175,85	190,79 ± 94,84	43,07	704,67	8,84 ± 1,39	1,96	17,30
J7	678,90 ± 94,27	292,67	1223,98	1127,78 ± 66,34	767,25	1716,88	88,58 ± 53,75	13,14	501,83	10,64 ± 3,89	1,41	39,14
J8	737,45 ± 89,19	425,98	1546,21	1308,74 ± 75,70	917,50	1898,66	157,55 ± 88,63	38,39	774,55	5,64 ± 0,86	0,98	9,67
J9	804,24 ± 76,44	475,52	1263,11	1635,26 ± 143,31	1030,09	2491,67	158,70 ± 59,88	125,67	534,85	6,22 ± 1,09	0,95	11,01
J10	812,65 ± 73,17	409,49	1183,18	1702,82 ± 151,48	1024,77	2485,00	166,34 ± 69,77	130,14	744,43	7,52 ± 1,79	0,44	21,77
J11	768,58 ± 94,51	429,31	1341,38	1510,21 ± 157,50	1072,69	2556,67	159,26 ± 116,56	168,93	934,14	21,43 ± 3,63	3,34	41,89
JT	607,27 ± 45,30	359,70	806,74	763,70 ± 54,83	555,00	1072,50	205,62 ± 94,96	131,02	947,45	27,26 ± 4,33	4,27	49,95
CN1	436,02 ± 40,57	119,07	570,19	635,46 ± 40,09	411,38	830,00	73,43 ± 36,01	18,33	301,66	13,48 ± 4,07	0,29	44,51
C1	429,64 ± 32,88	236,30	606,99	638,89 ± 44,77	350,27	888,33	40,59 ± 53,43	91,19	438,15	6,62 ± 1,44	1,55	17,38
C2	402,17 ± 68,42	199,83	889,26	523,21 ± 41,18	339,31	717,75	133,44 ± 54,54	25,65	421,53	39,45 ± 15,06	5,50	164,27
C3	451,76 ± 51,67	225,31	741,55	636,22 ± 42,50	438,08	820,25	136,93 ± 62,24	101,36	629,64	24,59 ± 4,53	7,73	46,34
C4	490,27 ± 51,42	265,70	839,30	708,36 ± 57,26	387,67	1207,92	224,09 ± 112,13	76,86	908,77	36,24 ± 10,01	7,51	125,26
C5	533,03 ± 48,84	283,10	790,26	925,90 ± 59,03	546,25	1220,83	250,24 ± 283,37	40,23	2159,47	18,52 ± 6,59	1,95	84,00
C6	783,84 ± 97,60	372,52	1383,01	1096,71 ± 100,64	678,17	1866,93	371,21 ± 219,28	98,03	1886,59	18,66 ± 4,14	0,63	47,21
C7	1016,35 ± 124,98	415,99	1669,44	1382,47 ± 168,54	1083,33	2863,77	465,06 ± 210,98	93,23	1895,11	34,84 ± 6,26	0,88	74,53
C8	791,02 ± 103,38	411,07	1547,04	1473,05 ± 176,32	1150,00	3132,74	426,84 ± 132,54	59,78	1114,53	15,95 ± 2,89	0,99	28,40
CT	514,18 ± 76,80	407,74	1199,83	1121,64 ± 59,16	750,00	1583,33	235,76 ± 130,10	160,93	1140,28	14,27 ± 16,37	3,21	203,98

*Medida de dispersão, erro padrão da média; *Mín, Mínimo; Máx., Máximo;

*DOC, Carbono orgânico dissolvido; DIC, Carbono inorgânico dissolvido; COP, Carbono orgânico particulado; F, Fino; G, Grosso.

Tabela 19. Variação espacial (n° por ponto de coleta =12; Média ponderada pela vazão) do íon bicarbonato, íon carbonato, dióxido de carbono aquoso e pressão parcial de dióxido de carbono por estação de coleta de montante para jusante nos rios Jaguari (JN1 a JT) e Camanducaia (CN1 a CT).

Pontos de coleta	HCO ₃ ⁻ µM			CO ₃ ²⁻ µM			CO _{2(aq)} µM			pCO ₂ µatm		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
JN1	173,30 ± 20,42	87,33	371,97	0,07 ± 0,02	0,009	0,177	78,62 ± 17,94	18,64	207,52	2199,73 ± 229,11	242,28	2654,87
J1	248,24 ± 14,76	151,04	317,14	0,08 ± 0,03	0,030	0,354	85,58 ± 12,18	14,19	161,10	1109,33 ± 158,11	183,91	2101,32
J2	285,45 ± 38,47	84,73	537,81	0,09 ± 0,06	0,004	0,785	165,21 ± 22,39	35,83	340,77	2168,61 ± 290,24	463,94	4428,59
J3	391,17 ± 23,29	221,77	501,86	0,19 ± 0,08	0,058	0,886	108,77 ± 15,65	26,00	195,61	1333,40 ± 201,62	335,79	2537,69
J4	369,22 ± 25,49	164,50	522,79	0,11 ± 0,03	0,021	0,394	161,87 ± 21,26	41,73	321,51	1724,61 ± 266,97	537,38	4005,09
J5	442,08 ± 38,85	151,27	670,69	0,36 ± 0,10	0,005	1,223	212,68 ± 39,55	37,00	499,19	2182,15 ± 488,03	462,81	6167,03
J6	396,71 ± 38,92	140,22	591,33	0,07 ± 0,03	0,004	0,312	439,15 ± 76,72	83,50	962,92	4416,26 ± 940,49	1059,3	11729,2
J7	771,20 ± 58,74	525,46	1258,6	0,21 ± 0,07	0,073	0,876	356,36 ± 35,90	102,4	457,94	3863,93 ± 445,86	1306,2	5771,32
J8	1153,6 ± 71,63	798,03	1687,1	1,15 ± 0,21	0,251	2,290	153,96 ± 30,03	66,76	372,01	2089,76 ± 377,34	816,35	4670,73
J9	1316,5 ± 130,0	848,02	2189,7	0,72 ± 0,19	0,089	2,512	318,09 ± 63,14	129,84	885,94	4124,50 ± 802,31	1652,8	11158,4
J10	1385,4 ± 132,8	881,63	2138,8	51,9 ± 81,0	0,181	974,5	265,44 ± 77,80	0,09	895,96	3764,23 ± 983,77	1,06	11249,2
J11	1073,6 ± 159,9	408,34	2140,5	0,53 ± 0,16	0,026	1,803	436,09 ± 49,62	165,44	664,33	4730,88 ± 614,95	2001,0	8054,21
JT	570,99 ± 52,06	418,96	948,05	0,24 ± 0,10	0,065	1,209	192,47 ± 25,43	69,26	342,00	2214,19 ± 322,43	887,79	4307,50
CN1	425,50 ± 47,43	136,32	611,36	0,16 ± 0,04	0,006	0,449	209,80 ± 26,12	72,19	331,47	2633,36 ± 327,73	905,79	4209,86
C1	406,35 ± 43,54	117,99	693,02	0,10 ± 0,02	0,006	0,243	232,44 ± 24,25	89,95	364,10	2352,03 ± 305,64	1148,2	4626,84
C2	352,46 ± 39,50	176,68	606,91	0,09 ± 0,03	0,015	0,329	170,66 ± 16,57	59,68	240,89	2053,07 ± 206,43	761,31	3062,93
C3	436,41 ± 42,69	242,14	698,58	0,12 ± 0,03	0,030	0,394	199,68 ± 22,14	90,27	362,45	2366,32 ± 282,09	1149,1	4631,58
C4	555,21 ± 56,98	305,69	1100,8	0,38 ± 0,10	0,116	1,132	152,76 ± 15,88	34,08	231,16	1433,07 ± 238,68	437,32	2957,07
C5	807,70 ± 63,31	488,27	1129,2	0,69 ± 0,14	0,102	1,587	117,51 ± 16,06	57,55	258,20	1527,79 ± 208,11	697,70	3277,42
C6	873,87 ± 85,68	596,83	1668,7	0,88 ± 0,16	0,042	1,582	221,96 ± 81,03	65,16	1041,8	2701,65 ± 1028,0	799,71	13192,7
C7	1206,18 ± 157,5	879,47	2577,2	0,92 ± 0,23	0,385	2,429	175,37 ± 25,48	110,9	430,80	2671,55 ± 321,20	1304,9	5408,88
C8	1150,29 ± 145,9	888,30	2611,1	0,44 ± 0,08	0,250	1,321	322,32 ± 37,56	203,3	645,91	4401,78 ± 480,32	2466,2	8114,90
CT	975,69 ± 64,29	642,08	1334,7	0,72 ± 0,36	0,056	4,635	145,24 ± 55,22	31,37	728,53	2682,28 ± 700,81	401,24	9209,35

*Medida de dispersão, erro padrão da média; *Min, Mínimo; Máx., Máximo;

*HCO₃⁻, Íon bicarbonato; CO₃²⁻, Íon carbonato; CO_{2(aq)}, Dióxido de carbono aquoso; pCO₂, Pressão parcial de dióxido de carbono.

Tabela 20. Variação do período chuvoso (n° por ponto de coleta=4; Média ponderada pela vazão) do carbono orgânico dissolvido, carbono inorgânico dissolvido, carbono orgânico particulado do material transportado fino e grosso por estação de coleta de montante para jusante nos rios Jaguarí (JN1 a JT) e Camanducaia (CN1 a CT).

Pontos de coleta	DOC μM			DIC μM			COP-F μM			COP-G μM		
	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.
JN1	359,84 \pm 92,54	176,77	560,28	130,60 \pm 41,10	126,76	133,78	13,66 \pm 2,81	28,13	33,75	15,13 \pm 0,83	12,65	16,26
J1	385,13 \pm 70,31	227,89	547,46	176,23 \pm 40,56	170,76	180,13	28,25 \pm 19,84	48,01	87,70	52,01 \pm 13,36	21,76	81,76
J2	342,76 \pm 17,62	299,33	379,77	167,73 \pm 57,22	156,37	180,22	72,99 \pm 51,04	153,25	255,32	67,22 \pm 15,88	20,72	89,97
J3	402,69 \pm 81,95	156,70	534,22	196,47 \pm 73,41	190,71	205,89	39,08 \pm 3,45	82,19	89,08	70,43 \pm 22,85	17,65	118,30
J4	394,38 \pm 76,84	202,00	516,82	199,43 \pm 93,59	190,99	215,57	80,86 \pm 12,26	174,73	199,25	79,84 \pm 26,04	4,59	127,96
J5	488,51 \pm 86,05	271,77	689,26	247,76 \pm 63,44	238,78	273,14	655,82 \pm 451,71	203,94	1602,67	28,53 \pm 10,80	8,78	54,85
J6	744,86 \pm 144,46	479,85	1065,78	352,21 \pm 97,75	288,05	398,24	23,84 \pm 168,54	102,48	102,48	9,19 \pm 2,60	6,66	17,30
J7	724,58 \pm 139,82	465,45	1057,45	432,84 \pm 77,70	396,20	448,63	53,19 \pm 19,10	74,66	112,87	10,56 \pm 4,41	2,52	22,13
J8	673,26 \pm 78,77	459,95	805,91	400,80 \pm 56,52	388,00	433,08	63,59 \pm 45,01	38,39	128,41	7,02 \pm 1,01	5,00	9,67
J9	799,42 \pm 122,08	500,50	1020,82	406,44 \pm 103,20	394,73	438,97	49,78 \pm 168,54	125,67	125,67	6,77 \pm 1,82	2,02	10,43
J10	923,25 \pm 166,71	503,16	1183,18	501,66 \pm 270,98	402,09	523,89	88,25 \pm 40,18	158,57	238,93	7,59 \pm 1,65	1,80	8,81
J11	691,38 \pm 132,26	467,94	1010,82	431,81 \pm 41,59	381,75	503,07	43,09 \pm 168,54	553,46	553,46	26,18 \pm 7,68	5,51	41,89
JT	577,30 \pm 62,04	426,14	720,82	279,05 \pm 59,30	260,48	299,25	153,61 \pm 64,18	311,73	440,10	36,51 \pm 7,39	17,14	49,95
CN1	454,03 \pm 96,88	145,30	570,19	204,09 \pm 90,51	166,52	234,22	74,35 \pm 129,49	42,69	301,66	13,49 \pm 9,92	2,89	44,51
C1	446,69 \pm 37,11	339,47	507,66	232,26 \pm 48,05	224,16	241,96	23,23 \pm 168,54	104,77	104,77	6,77 \pm 3,39	3,06	17,38
C2	348,44 \pm 97,35	199,83	646,29	257,58 \pm 70,21	245,69	267,22	116,27 \pm 145,50	130,52	421,53	48,36 \pm 24,77	15,33	121,61
C3	455,33 \pm 106,07	230,64	741,55	315,59 \pm 80,22	294,31	330,82	76,80 \pm 31,00	151,51	213,52	28,00 \pm 7,87	10,28	44,22
C4	566,29 \pm 125,49	296,25	839,30	301,42 \pm 64,43	263,33	346,08	240,78 \pm 168,54	908,77	908,77	57,94 \pm 22,97	27,41	125,26
C5	596,29 \pm 82,92	325,90	729,14	279,43 \pm 92,44	250,30	385,39	178,81 \pm 168,54	382,11	382,11	19,40 \pm 4,27	5,89	25,94
C6	733,14 \pm 114,14	372,52	845,96	335,05 \pm 22,42	307,85	413,13	304,91 \pm 237,95	150,87	626,77	25,41 \pm 10,74	1,26	47,21
C7	1069,57 \pm 221,16	415,99	1387,18	364,98 \pm 13,87	291,50	531,94	435,19 \pm 263,87	269,99	797,73	47,50 \pm 15,06	8,50	74,53
C8	744,47 \pm 125,79	411,07	957,54	386,47 \pm 13,53	356,60	487,05	406,09 \pm 162,17	400,54	724,89	21,57 \pm 5,86	1,22	28,40
CT	506,75 \pm 75,80	407,74	739,97	609,38 \pm 143,99	492,23	671,03	230,74 \pm 244,87	184,17	673,91	13,61 \pm 3,82	6,84	23,24

*Medida de dispersão, erro padrão da média; *Mín, Mínimo; Máx., Máximo;

*DOC, Carbono orgânico dissolvido; DIC, Carbono inorgânico dissolvido; COP, Carbono orgânico particulado; F, Fino; G, Grosso.

Tabela 21. Variação do período chuvoso (n° por ponto de coleta=4; Média ponderada pela vazão) do íon bicarbonato, íon carbonato, dióxido de carbono aquoso e pressão parcial de dióxido de carbono por estação de coleta de montante para jusante nos rios Jaguari (JN1 a JT) e Camanducaia (CN1 a CT).

Pontos de coleta	DOC μM			DIC μM			COP-F μM			COP-G μM		
	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.
JN1	332,53 \pm 49,75	106,66	552,29	114,91 \pm 30,85	90,38	142,07	126,61 \pm 70,28	12,20	395,41	52,84 \pm 23,32	7,55	217,74
J1	380,36 \pm 54,23	174,69	565,28	127,16 \pm 25,92	100,63	154,71	493,42 \pm 295,33	54,98	1681,49	60,21 \pm 17,78	4,43	150,10
J2	390,18 \pm 57,63	218,90	660,78	164,88 \pm 23,35	147,79	174,30	305,13 \pm 100,00	56,52	620,17	58,34 \pm 27,40	4,38	235,09
J3	359,81 \pm 56,69	155,79	557,79	169,38 \pm 12,79	129,46	209,18	506,92 \pm 374,38	59,33	2470,29	56,14 \pm 21,87	3,19	181,62
J4	329,50 \pm 57,17	162,45	570,77	207,19 \pm 29,33	170,27	223,09	281,11 \pm 145,38	101,49	912,39	50,10 \pm 13,39	13,45	111,43
J5	640,85 \pm 61,94	225,23	695,92	312,19 \pm 33,54	230,66	277,35	617,17 \pm 358,90	61,25	2506,69	16,10 \pm 4,67	4,08	42,95
J6	414,59 \pm 87,77	267,28	1027,48	254,72 \pm 66,00	219,60	314,23	329,58 \pm 108,57	43,07	704,67	8,55 \pm 1,75	1,96	17,13
J7	633,16 \pm 129,26	292,67	1223,98	251,74 \pm 94,22	414,14	523,27	129,37 \pm 66,20	13,14	501,83	10,73 \pm 5,82	1,41	39,14
J8	626,24 \pm 119,42	425,98	1546,21	478,85 \pm 74,03	401,41	676,07	242,40 \pm 104,19	79,91	774,55	4,40 \pm 1,13	0,98	8,18
J9	795,43 \pm 99,12	475,52	1263,11	532,49 \pm 146,29	475,85	618,50	263,29 \pm 57,89	151,29	534,85	5,69 \pm 1,49	0,95	11,01
J10	808,87 \pm 80,89	409,49	1061,62	556,37 \pm 159,90	443,84	738,38	240,91 \pm 87,55	130,14	744,43	7,45 \pm 2,75	0,44	21,77
J11	707,05 \pm 122,09	429,31	1341,38	530,59 \pm 138,40	330,05	814,22	348,42 \pm 141,01	168,93	934,14	13,70 \pm 3,97	3,34	25,72
JT	894,29 \pm 60,68	359,70	806,74	638,22 \pm 63,93	289,05	343,73	263,91 \pm 128,23	131,02	947,45	16,90 \pm 3,70	4,27	33,44
CN1	285,99 \pm 28,78	119,07	381,35	162,07 \pm 36,59	155,54	171,76	65,80 \pm 32,42	18,33	224,46	13,36 \pm 4,23	0,29	39,03
C1	359,91 \pm 44,03	236,30	606,99	201,07 \pm 62,20	188,58	212,07	111,60 \pm 61,71	91,19	438,15	5,97 \pm 1,55	1,55	13,30
C2	467,67 \pm 89,57	203,08	889,26	218,25 \pm 53,88	189,82	231,94	154,38 \pm 63,63	25,65	407,59	28,59 \pm 19,48	5,50	164,27
C3	447,57 \pm 62,28	225,31	711,41	234,20 \pm 53,54	211,39	253,54	207,71 \pm 80,17	101,36	629,64	20,58 \pm 5,54	7,73	46,34
C4	431,45 \pm 43,73	265,70	674,52	326,67 \pm 81,91	303,07	378,58	211,18 \pm 68,46	76,86	462,92	19,44 \pm 6,00	7,51	55,84
C5	401,00 \pm 60,25	283,10	790,26	345,13 \pm 79,85	321,79	427,81	399,34 \pm 334,73	40,23	2159,47	16,67 \pm 9,93	1,95	84,00
C6	762,26 \pm 126,42	410,24	1383,01	537,50 \pm 143,05	308,64	711,92	514,13 \pm 284,64	98,03	1886,59	4,09 \pm 2,14	0,63	16,14
C7	893,15 \pm 161,65	481,43	1669,44	377,10 \pm 212,42	544,72	989,65	534,47 \pm 276,01	93,23	1895,11	5,43 \pm 1,22	0,88	10,43
C8	892,69 \pm 138,79	454,04	1547,04	684,20 \pm 188,78	394,24	827,10	475,07 \pm 174,99	59,78	1114,53	2,90 \pm 0,75	0,99	6,49
CT	899,19 \pm 99,54	435,05	1199,83	582,60 \pm 42,52	496,19	576,09	403,41 \pm 163,05	160,93	1140,28	36,24 \pm 24,76	3,21	203,98

*Medida de dispersão, erro padrão da média; *Mín, Mínimo; Máx., Máximo;

*DOC, Carbono orgânico dissolvido; DIC, Carbono inorgânico dissolvido; COP, Carbono orgânico particulado; F, Fino; G, Grosso.

A carga de carbono orgânico e inorgânico pode ser observado na Tabela 22, observaram-se valores de DIC maiores no período chuvoso em 56% para o rio Jaguari e 80% para o rio Camanducaia em relação ao período seco. O DOC também seguiu a mesma tendência sendo 61 e 83% maior no período chuvoso em relação ao seco nos rios Jaguari e Camanducaia, respectivamente.

Tabela 22. Transporte específico em $\text{kg km}^{-2} \text{ano}^{-1}$ de carbono orgânico (DOC) e inorgânico dissolvido (DIC) em cálculo médio e períodos sazonais nas bacias dos rios Jaguari (J) e Camanducaia (C).

Zona	Bacia	Chuvoso		Seco		Média	
		DIC	DOC	DIC	DOC	DIC	DOC
Cabeceiras	J	3197	3097	1458	1068	1975	1743
Represa	J	2855	1823	1072	936	1654	1012
Trecho médio	J	7612	4985	3440	1890	4829	2907
Jusante	J	18006	9999	8351	3139	11973	5979
Tributário	J	3780	3245	2171	2242	2709	2154
Cabeceiras	C	4972	4795	1056	774	2414	1792
Trecho médio	C	5570	5412	1289	1305	2724	1919
Jusante	C	6906	4558	2310	1176	3846	2309
Tributário	C	3898	1772	84	56	1338	614

5.5. Dinâmica do nitrogênio nos rios Jaguari e Camanducaia e a relação com o uso da terra

A faixa de variação do nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) foi de 1 a 310 μM na bacia do rio Jaguari e 1 a 365 μM no rio Camanducaia. A concentração de NOD foi diretamente correlacionada com a condutividade elétrica ($r = 0,65$, $p < 0,05$) e taxa de respiração (TR) de 0,65 (rio Jaguari) e 0,34 (rio Camanducaia), e inversa ($r = -0,3$, $p < 0,05$) com a porcentagem de saturação de oxigênio (OD%). O amônio (N-NH_4^+) variou entre 0,1 a 305 (μM) e 0,5 a 246 (μM), no rio Jaguari e no rio Camanducaia respectivamente, tendo correlação direta ($p < 0,05$) com o NOD de 0,2 e com a CE de 0,5, ocorrendo correlação inversa com o OD de -0,3 ($p < 0,05$).

O nitrito (N-NO_2^-) teve baixa ocorrência nas duas bacias por ser uma fase muito instável do processo oxidativo, e depende diretamente do pH da água sob efeito de tamponamento para ser determinado analiticamente. A faixa de variação do N-NO_2^- foi de 3 a 77 μM no rio Jaguari e 3 a 57 μM no rio Camanducaia, e apresentou alta correlação ($p < 0,05$) com a CE ($r=0,8$), NOD ($r=0,5$) e OD ($r=-0,5$). A última partição do processo oxidativo do nitrogênio, o nitrato (N-NO_3^-) variou entre 3 a 139 μM no rio Jaguari e 3 a 199 μM no rio Camanducaia, e relacionou-se positivamente com a CE ($r=0,7$), NOD ($r=0,3$) e inversamente com o OD ($r=-0,2$).

Na Figura 16 observa-se que as bacias não se diferenciaram estatisticamente ($p > 0,05$) em relação às partições de nitrogênio. Segundo a média normalizada, N-NH_4^+ , NOD e N-NO_3^- foram 21, 10 e 1%, respectivamente, mais elevados no rio Jaguari que no rio Camanducaia.

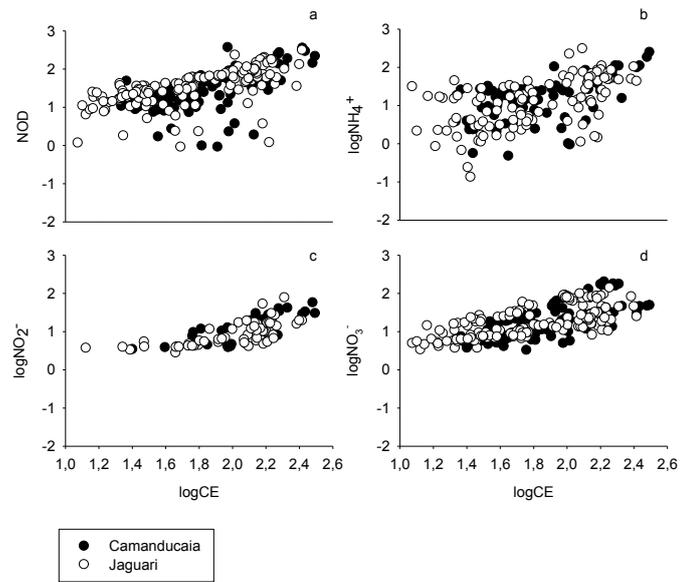


Figura 16. Dispersão dos dados das partições de nitrogênio em relação a a condutividade elétrica (CE) com valores transformados em log natural.

A contribuição do nitrogênio orgânico foi maior nas cabeceiras e no trecho médio do rio Jaguari. Por outro lado, a jusante, a predominância foi de nitrogênio inorgânico. No rio Camanducaia, essa relação foi inversa, o nitrogênio inorgânico foi o maior contribuinte para a concentração total de N na bacia. As cabeceiras apresentaram a maior porcentagem de N-NH₄⁺, o trecho médio e a jusante, a maior porcentagem de N-NO₃⁻, confirmando a dinâmica dos processos oxidativos nas bacias (Tabela 23).

Nas Tabelas 24 e 25 são observados dados de análise temporal de média, valor máximo, mínimo e erro padrão da média em período sazonal (seco e chuvoso) do N do nitrito, N do nitrato, N do amônio, nitrogênio inorgânico dissolvido e nitrogênio orgânico dissolvido.

Tabela 23. Variação espacial (n=12) de N do nitrito, N do nitrato, N do amônio, nitrogênio inorgânico dissolvido e nitrogênio orgânico dissolvido nos pontos de coleta dos rios Jaguari e Cmamanducaia.

Ponto de coleta	N-NO ₂ ⁻ µM			N-NO ₃ ⁻ µM			N-NH ₄ ⁺ µM			NID µM			NOD µM		
	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.
JN1	0,06 ± 1,56	3,68	3,68	3,98 ± 0,98	3,33	14,22	12,29 ± 3,45	0,84	31,03	16,33 ± 3,04	0,84	35,92	10,19 ± 1,88	1,16	24,65
J1	0,08 ± 1,56	3,90	3,90	6,10 ± 1,30	3,67	16,36	9,30 ± 2,11	1,48	17,72	15,48 ± 2,73	3,67	34,09	19,90 ± 3,18	1,78	41,28
J2	0,12 ± 1,56	3,27	3,27	7,65 ± 1,93	5,44	26,29	12,86 ± 4,50	0,66	44,27	20,63 ± 4,17	5,44	54,95	29,05 ± 2,64	10,25	36,62
J3	0,19 ± 1,56	5,34	5,34	10,14 ± 1,94	6,22	23,01	7,81 ± 3,18	0,13	27,52	18,14 ± 2,98	6,22	41,69	17,12 ± 1,57	11,72	29,12
J4	0,13 ± 1,56	3,95	3,95	11,64 ± 1,92	3,67	23,71	3,46 ± 2,82	0,24	27,54	15,24 ± 2,69	3,67	35,20	19,91 ± 2,48	5,02	35,41
J5	0,71 ± 0,23	2,75	4,65	17,54 ± 4,25	6,50	51,13	15,41 ± 2,73	1,51	30,21	33,66 ± 6,11	13,60	67,76	27,14 ± 5,39	0,91	57,31
J6	<LD ± <LD	<LD	<LD	13,05 ± 2,60	7,25	34,16	15,10 ± 4,41	2,25	42,80	28,16 ± 5,30	9,79	54,83	40,12 ± 4,13	10,85	60,95
J7	1,87 ± 0,40	4,05	6,76	31,82 ± 10,35	8,08	97,31	0,37 ± 0,41	1,10	3,82	34,06 ± 10,06	8,08	102,11	59,35 ± 7,02	37,09	120,99
J8	3,59 ± 0,54	4,66	10,48	36,09 ± 8,28	13,63	84,70	32,04 ± 6,93	8,59	83,87	71,71 ± 11,38	28,96	141,26	75,28 ± 11,05	26,14	147,32
J9	8,41 ± 1,21	5,52	16,74	42,41 ± 9,09	10,28	88,06	74,67 ± 16,86	5,55	220,74	125,49 ± 22,82	19,38	295,75	101,02 ± 18,56	27,90	230,75
J10	14,40 ± 3,47	6,35	52,44	41,65 ± 7,53	12,66	81,43	81,20 ± 22,86	1,42	304,88	137,25 ± 27,40	19,01	378,96	65,56 ± 17,32	3,65	189,06
J11	15,27 ± 5,57	6,10	76,95	48,29 ± 10,67	13,24	138,91	31,74 ± 8,73	1,53	102,30	95,30 ± 17,94	26,18	213,89	87,92 ± 24,03	1,19	310,39
JT	2,19 ± 0,20	3,91	5,68	24,39 ± 5,32	7,17	58,71	12,70 ± 3,26	2,96	33,26	39,28 ± 6,22	10,12	72,21	26,63 ± 6,24	2,29	60,85
CN1	0,78 ± 0,08	3,41	3,81	2,53 ± 0,30	3,67	7,32	15,25 ± 3,15	0,55	26,52	18,56 ± 2,78	5,22	32,77	17,35 ± 3,52	7,36	48,23
C1	<LD ± <LD	<LD	<LD	3,34 ± 0,84	4,03	11,13	18,17 ± 2,49	5,45	31,70	21,51 ± 2,79	4,03	34,72	18,42 ± 1,96	1,67	25,82
C2	<LD ± <LD	<LD	<LD	9,72 ± 1,55	5,77	18,06	11,26 ± 3,02	2,04	26,53	20,98 ± 3,33	6,80	42,05	16,65 ± 1,72	8,19	26,94
C3	0,17 ± 1,56	3,87	3,87	12,61 ± 1,98	5,90	23,70	14,96 ± 2,35	0,47	27,42	27,74 ± 2,71	7,17	36,49	16,17 ± 2,75	2,69	29,89
C4	<LD ± <LD	<LD	<LD	11,50 ± 1,83	6,72	25,09	11,12 ± 1,81	7,51	25,59	22,62 ± 4,04	6,72	46,28	19,94 ± 3,04	8,54	43,34
C5	0,23 ± 1,56	4,44	4,44	13,56 ± 3,01	3,23	33,06	10,51 ± 2,38	2,40	24,21	24,30 ± 4,72	6,01	52,51	25,48 ± 3,83	0,97	46,09
C6	1,40 ± 0,01	3,97	4,01	20,46 ± 4,86	7,35	53,87	8,23 ± 2,87	0,99	26,67	30,09 ± 7,10	7,35	72,31	23,96 ± 5,78	0,91	59,51
C7	14,17 ± 2,32	7,87	32,43	49,98 ± 16,83	13,27	170,96	41,00 ± 18,90	24,46	246,17	105,14 ± 26,26	23,30	324,30	85,14 ± 25,66	27,58	288,53
C8	18,46 ± 4,18	11,52	56,73	61,06 ± 19,70	15,14	199,18	30,70 ± 15,78	8,67	181,36	110,22 ± 27,70	26,66	306,06	145,40 ± 32,91	1,87	365,17
CT	3,02 ± 0,48	3,80	7,51	40,30 ± 8,99	4,90	89,34	27,70 ± 11,92	0,93	102,07	71,02 ± 13,49	4,90	153,67	33,32 ± 10,56	2,26	119,18

*<LD, abaixo do limite de detecção;

*Média, valores ponderados pela vazão; Mín. mínimo; Máx., máximo; médias de dispersão, erro padrão da média;

*N-NO₂⁻, nitrogênio do íon nitrito; N-NO₃⁻, nitrogênio do íon nitrato; N-NH₄⁺, nitrogênio do íon amônio; NID, nitrogênio inorgânico dissolvido; NOD, nitrogênio orgânico dissolvido.

Tabela 24. Variação do período chuvoso (nº por ponto de coleta=4) do N do nitrito, N do nitrato, N do amônio, nitrogênio inorgânico dissolvido e nitrogênio orgânico dissolvido por estação de coleta de montante para jusante nos rios Jaguari (JN1 a JT) e Camanducaia (CN1 a CT).

Ponto de coleta	N-NO ₂ ⁻ µM			N-NO ₃ ⁻ µM			N-NH ₄ ⁺ µM			NID µM			NOD µM		
	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.
JN1	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,05 ± 0,17	4,76	5,40	0,21 ± 6,94	2,12	31,03	0,27 ± 6,76	6,98	35,92	2,10 ± 3,60	1,16	18,09
J1	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,08 ± 1,39	5,50	10,57	0,16 ± 3,61	2,12	16,54	0,24 ± 4,29	7,62	27,11	0,27 ± 7,26	8,20	41,28
J2	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,09 ± 1,20	5,91	10,68	0,27 ± 10,08	0,66	44,27	0,36 ± 11,36	6,57	54,95	0,45 ± 3,75	20,82	36,62
J3	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,11 ± 2,17	6,22	14,16	0,18 ± 6,51	1,53	27,52	0,29 ± 8,11	6,22	41,69	0,57 ± 1,31	20,25	25,49
J4	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,13 ± 3,19	6,26	17,85	0,01 ± 1,22	0,24	3,69	0,13 ± 2,86	6,49	17,85	0,33 ± 3,73	18,49	35,41
J5	0,01 ± 1,87	4,16	4,16	0,16 ± 4,75	7,24	24,54	0,25 ± 4,68	7,15	29,54	0,41 ± 8,90	14,38	54,08	2,30 ± 8,32	7,85	48,08
J6	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,16 ± 1,95	7,42	16,45	0,40 ± 9,90	4,45	42,80	0,56 ± 11,47	12,93	54,83	0,50 ± 4,63	29,20	50,11
J7	0,04 ± 1,87	6,76	6,76	0,47 ± 15,98	10,64	77,56	0,01 ± 12,12	3,82	3,82	0,51 ± 15,27	10,64	77,56	0,88 ± 9,46	37,09	79,00
J8	0,04 ± 0,06	5,02	5,19	0,53 ± 15,75	13,63	74,51	0,27 ± 10,68	8,59	53,33	0,84 ± 22,12	28,96	120,02	1,91 ± 7,37	54,65	88,48
J9	0,05 ± 2,00	6,11	11,76	0,65 ± 18,60	13,27	88,06	1,11 ± 52,03	26,39	220,74	1,82 ± 61,06	19,38	295,75	1,56 ± 43,99	27,90	230,75
J10	0,13 ± 2,43	6,35	16,95	0,61 ± 16,19	12,66	74,08	1,55 ± 72,56	34,61	304,88	2,30 ± 79,55	19,01	378,96	0,61 ± 19,31	12,40	97,82
J11	0,14 ± 2,18	11,28	18,91	0,64 ± 14,77	14,75	77,81	0,23 ± 6,84	12,54	37,67	1,01 ± 20,85	26,18	126,75	1,08 ± 13,85	64,90	113,63
JT	0,02 ± 0,08	3,91	4,13	0,25 ± 4,88	7,75	25,80	0,26 ± 7,62	3,69	33,26	0,53 ± 11,27	15,72	58,12	0,23 ± 7,30	2,34	33,02
CN1	0,01 ± 1,87	3,81	3,81	0,03 ± 0,55	4,89	6,44	0,23 ± 6,41	2,90	26,52	0,27 ± 4,85	7,79	27,21	0,26 ± 5,87	7,36	32,18
C1	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,03 ± 0,44	5,10	6,34	0,29 ± 5,48	5,45	31,70	0,32 ± 4,06	11,79	31,70	0,28 ± 3,47	9,36	25,82
C2	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,12 ± 3,28	6,34	18,06	0,24 ± 6,01	2,04	26,53	0,36 ± 7,33	9,17	42,05	2,76 ± 3,50	8,19	25,32
C3	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,16 ± 2,67	6,70	18,45	0,25 ± 6,10	0,47	27,42	0,41 ± 7,11	7,17	36,49	1,92 ± 6,56	2,69	28,93
C4	<LD ± 1,87	<LD	<LD	0,16 ± 2,78	6,72	18,81	0,21 ± 2,81	14,34	25,59	0,37 ± 7,74	6,72	39,01	1,09 ± 4,22	8,54	25,40
C5	0,00 ± 1,87	4,44	4,44	0,16 ± 3,46	3,23	19,53	0,17 ± 0,62	21,88	24,21	0,33 ± 7,94	7,53	41,89	0,37 ± 7,64	9,53	46,09
C6	0,03 ± 1,87	3,97	3,97	0,28 ± 8,69	9,04	45,64	0,13 ± 3,37	17,14	26,67	0,43 ± 14,75	10,14	72,31	0,33 ± 10,53	0,91	44,11
C7	0,17 ± 2,78	9,43	19,56	0,51 ± 14,54	13,87	75,80	0,29 ± 13,19	32,38	82,94	0,97 ± 26,37	23,30	139,94	0,83 ± 7,45	46,28	82,19
C8	0,19 ± 4,30	11,52	29,50	0,68 ± 25,51	15,14	127,89	0,16 ± 3,84	12,91	26,33	1,03 ± 29,96	26,66	167,06	1,92 ± 79,18	1,87	365,17
CT	0,04 ± 1,12	4,36	7,51	0,57 ± 15,16	10,92	76,77	0,40 ± 26,21	2,46	102,07	1,01 ± 32,19	18,44	153,67	0,45 ± 14,49	2,26	68,58

*<LD, abaixo do limite de detecção;

*Média, valores ponderados pela vazão; Mín. mínimo; Máx., máximo; médias de dispersão, erro padrão da média;

*N-NO₂⁻, nitrogênio do íon nitrito; N-NO₃⁻, nitrogênio do íon nitrato; N-NH₄⁺, nitrogênio do íon amônio; NID, nitrogênio inorgânico dissolvido; NOD, nitrogênio orgânico dissolvido.

Tabela 25. Variação do período seco (nº por ponto de coleta=8) do N do nitrito, N do nitrato, N do amônio, nitrogênio inorgânico dissolvido e nitrogênio orgânico dissolvido por estação de coleta de montante para jusante nos rios Jaguari (JN1 a J1) e Camanducaia (CN1 a CT).

Ponto de coleta	N-NO ₂ ⁻ µM			N-NO ₃ ⁻ µM			N-NH ₄ ⁺ µM			NID µM			NOD µM		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
JN1	0,01 ± 2,37	3,68	3,68	0,09 ± 1,47	3,33	14,22	0,11 ± 3,61	0,84	15,29	0,20 ± 2,82	0,84	24,08	0,19 ± 2,31	6,31	24,65
J1	0,01 ± 2,37	3,90	3,90	0,09 ± 1,85	3,67	16,36	0,03 ± 3,13	1,48	17,72	0,13 ± 3,69	3,67	34,09	0,30 ± 3,55	1,78	36,21
J2	0,00 ± 2,37	3,27	3,27	0,14 ± 2,80	5,44	26,29	0,01 ± 1,02	1,11	6,76	0,16 ± 2,75	5,44	26,29	0,33 ± 3,27	10,25	35,41
J3	0,01 ± 2,37	5,34	5,34	0,19 ± 2,63	6,83	23,01	0,01 ± 0,74	0,13	4,14	0,21 ± 2,28	7,34	23,01	0,29 ± 2,24	11,72	29,12
J4	0,00 ± 2,37	3,95	3,95	0,21 ± 2,50	3,67	23,71	0,10 ± 3,93	1,60	27,54	0,31 ± 3,68	3,67	35,20	1,52 ± 3,03	5,02	29,75
J5	0,02 ± 0,34	2,75	4,65	0,35 ± 5,81	6,50	51,13	0,18 ± 3,46	1,51	30,21	0,54 ± 8,38	13,60	67,76	0,75 ± 7,24	0,91	57,31
J6	0,00 ± 2,37	<LD	<LD	0,20 ± 3,82	7,25	34,16	0,06 ± 2,39	2,25	18,46	0,25 ± 5,45	9,79	52,62	0,61 ± 5,97	10,85	60,95
J7	0,01 ± 0,19	4,05	4,80	0,42 ± 14,11	8,08	97,31	0,01 ± 0,49	1,10	3,07	0,43 ± 13,50	8,08	102,11	1,10 ± 10,00	44,11	120,99
J8	0,06 ± 0,74	4,66	10,48	0,48 ± 10,26	13,89	84,70	0,61 ± 8,50	11,65	83,87	1,15 ± 13,87	33,73	141,26	1,15 ± 16,21	26,14	147,32
J9	0,18 ± 1,53	5,52	16,74	0,54 ± 10,69	10,28	85,43	0,98 ± 12,51	5,55	108,25	1,70 ± 20,23	32,32	180,99	1,27 ± 19,93	57,62	199,66
J10	0,27 ± 4,91	8,06	52,44	0,56 ± 8,72	17,86	81,43	0,75 ± 8,00	1,42	74,32	1,57 ± 17,33	42,80	199,27	1,17 ± 23,22	3,65	189,06
J11	0,36 ± 7,75	6,10	76,95	0,79 ± 14,76	13,24	138,91	0,85 ± 11,59	1,53	102,30	2,00 ± 21,82	45,51	213,89	1,58 ± 35,99	1,19	310,39
JT	0,04 ± 0,25	4,14	5,68	0,45 ± 7,59	7,17	58,71	0,08 ± 2,57	2,96	20,82	0,56 ± 8,00	10,12	72,21	0,54 ± 7,45	2,29	60,85
CN1	0,003 ± 2,37	3,41	3,41	0,06 ± 0,40	3,67	7,32	0,09 ± 3,61	0,55	25,45	0,16 ± 3,32	5,22	32,77	0,20 ± 4,66	9,09	48,23
C1	<LD ± 2,37	<LD	<LD	0,11 ± 1,13	4,03	11,13	0,13 ± 2,24	8,57	23,70	0,23 ± 3,60	4,03	34,72	0,22 ± 2,06	1,67	20,37
C2	<LD ± 2,37	<LD	<LD	0,16 ± 1,90	5,77	17,76	0,06 ± 2,73	2,32	16,12	0,22 ± 3,19	6,80	32,89	0,24 ± 2,06	8,38	26,94
C3	0,01 ± 2,37	3,87	3,87	0,20 ± 2,72	5,90	23,70	0,16 ± 1,68	3,42	17,17	0,37 ± 2,25	16,07	34,81	0,49 ± 2,88	9,75	29,89
C4	<LD ± 2,37	<LD	<LD	0,16 ± 2,51	7,55	25,09	0,11 ± 1,95	7,51	21,33	0,28 ± 4,98	8,05	46,28	0,32 ± 3,00	18,03	43,34
C5	<LD ± 2,37	<LD	<LD	0,26 ± 4,05	6,01	33,06	0,10 ± 2,77	2,40	22,61	0,36 ± 6,19	6,01	52,51	0,33 ± 4,54	0,97	39,80
C6	0,01 ± 2,37	4,01	4,01	0,30 ± 6,34	7,35	53,87	0,09 ± 3,26	0,99	21,66	0,39 ± 8,41	7,35	71,50	0,54 ± 7,19	3,66	59,51
C7	0,27 ± 2,91	7,87	32,43	1,14 ± 23,50	13,27	170,96	1,23 ± 26,60	24,46	246,17	2,64 ± 33,74	61,10	324,30	2,03 ± 34,34	27,58	288,53
C8	0,43 ± 4,87	17,17	56,73	1,26 ± 27,03	30,39	199,18	1,05 ± 20,86	8,67	181,36	2,75 ± 33,97	58,19	306,06	2,64 ± 34,00	39,58	352,07
CT	0,02 ± 0,20	3,80	4,59	0,46 ± 11,83	4,90	89,34	0,06 ± 6,84	0,93	28,28	0,54 ± 12,02	4,90	89,34	1,39 ± 13,12	8,66	119,18

*<LD, abaixo do limite de detecção;

*Média, valores ponderados pela vazão; Min. mínimo; Máx., máximo; métricas de dispersão, erro padrão da média;

*N-NO₂⁻, nitrogênio do ion nitrito; N-NO₃⁻, nitrogênio do ion nitrato; N-NH₄⁺, nitrogênio do ion amônio; NID, nitrogênio inorgânico dissolvido; NOD, nitrogênio orgânico dissolvido.

Covariáveis como CE, NOD, N-NH₄⁺, taxa de respiração (TR) e vazão (Q) apresentaram relação com os processos do nitrogênio e podem ser bons preditores para as concentrações de nitrato, fase final da mineralização, nas bacias. Para investigar a contribuição relativa dessas covariáveis, e para explicar a variância geral na resposta de concentração de nitrato, foram utilizados modelos lineares generalizados.

A partir de alguns testes verificou-se que o parâmetro OD% não apresentou efeito significativo no modelo, bem como o nitrito, que teve baixa ocorrência nas bacias prejudicando o *n* amostral, sendo portanto retirados dos testes realizados com os modelos. Para um bom ajuste das variáveis, 7 modelos apresentaram significância, no entanto, o modelo 6 apresentou os melhores resultados de ajuste, tendo baixa *deviance* e menor AIC (Tabela 26). Fatores ambientais (bacias, zona e sazonalidade) não foram considerados nos efeitos principais, somente nas interações do modelo 6.

Tabela 26. Demonstração dos modelos lineares generalizados (GLM) encaixados testados com o detalhamento dos efeitos principais, interações e testes de significância e escolha do melhor modelo.

Modelo	Efeitos Principais	Interações	<i>Deviance</i>	AIC	<i>p</i> -valor
1	β_0 , bacia, zona, sazonalidade, CE, Q, TR, NOD, N-NH ₄ ⁺	-----	65	1489	0,00
2	β_0 , bacia, zona, sazonalidade, CE, Q, TR, NOD, N-NH₄⁺	Q * NOD Q * NH ₄ ⁺ -N zona * sazonalidade Q * NOD	55	1467	0,00
3	β_0 , bacia, zona, sazonalidade, CE, Q, TR, NOD, N-NH₄⁺	Q * N-NH ₄ ⁺ zona * sazonalidade zona * TR * NOD * NH ₄ ⁺ -N	50	1455	0,00
4	β_0 , bacia, zona, sazonalidade, CE, Q, TR, NOD, N-NH₄⁺	Q * NOD Q * N-NH ₄ ⁺ zona * sazonalidade zona * TR * NOD * NH ₄ ⁺ -N	48	1449	0,00
5	β_0 , bacia, zona, sazonalidade, CE, Q, TR, NOD, NH₄⁺-N	Bacia * NOD Q * NOD Q * N-NH ₄ ⁺ zona * sazonalidade zona * TR * NOD * NH ₄ ⁺ -N	48	1450	0,00
6	β_0 , CE, Q, TR, NOD, N-NH ₄ ⁺	Bacia * N-NH ₄ ⁺ Q * NOD Q * N-NH ₄ ⁺ zona * sazonalidade zona * TR * NOD * N-NH ₄ ⁺	48	1447	0,00
7	β_0 , CE, Q, TR, NOD, N-NH₄⁺	Bacia * NOD Q * NOD Q * N-NH ₄ ⁺ zona * sazonalidade zona * TR * NOD * N-NH ₄ ⁺	48	1448,5	0,00

*(n) amostral válido, 192;

* Distribuição gama, valores acima de 0 até +∞;

*Variáveis em negrito são repetições do modelo anterior para forma o modelo encaixado.

As covariáveis testadas no Modelo 6 e as interações com os fatores ambientais apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) para predição da variável resposta (N-NO_3^-) (Tabela 27). Esse efeito demonstra a confirmação da hipótese citada acima, de que são bons indicadores de processos oxidativos do nitrogênio, bem como, comprova a influência de fatores do ambiente como sazonalidade na determinação desses processos.

Os fatores zona e bacia quando testados com interação apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) no modelo, no entanto, a bacia como efeito principal não apresentou significância, diferentemente das zonas, demonstrando uma maior influência direta na concentração de N-NO_3^- nas bacias, provavelmente por causa dos diferentes usos da terra em cada zona. A ANOVA *oneway* com teste de *Bonferroni* confirmou esses efeitos ($p < 0,05$).

Tabela 27. Efeito das variáveis testadas no Modelo 6. Resposta N-NO_3^-

Variáveis	Teste de Wlad	Grau de liberdade	p-valor
β_0 (Intercepto)	114	1	0,000
CE	23	1	0,000
Q	11	1	0,001
TR	44	1	0,000
NOD	14	1	0,000
N-NH_4^+	35	1	0,000
Q * NOD	9	1	0,003
Q * N-NH_4^+	23	1	0,000
zona * sazonalidade	21	7	0,003
zona * TR * NOD * N-NH_4^+	29	4	0,000
Bacia * NOD	12	1	0,001

*n = 192 validas para a análise do total de 281 amostras testadas.

As zonas são indicadores indiretos da influência do uso da terra na concentração e distribuição do nitrogênio nas bacias, pois segundo o teste de comparação de médias marginais a cabeceira apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) ao serem comparadas com as outras zonas. O trecho médio diferiu estatisticamente da jusante, diferentemente do tributário que não apresentou diferença ao ser comparado ao trecho médio e a jusante (Figura 17).

A vazão (Q) apresentou efeito no modelo e correlação significativa com o N-NO_3^- ($r=0,5$; $p < 0,05$). Em geral, nos meses de maiores precipitações os valores de N-NO_3^- foram mais elevados nas três zonas que apresentaram diferença estatística, no entanto, a faixa de variação dessas zonas foi diferenciada ocorrendo maiores valores na jusante (Figura 17).

Na cabeceira as interações “zona x período chuvoso” e “zona x período seco” foram significativas ($p < 0,05$), o trecho médio apresentou significância na interação entre zona e período chuvoso, diferentemente, da jusante que

obteve interação ($p < 0,05$) com o período seco. O tributário não foi significativo para os dois períodos. A interação entre as covariáveis TR, NOD e $N-NH_4^+$ foi significativa em todas as zonas, inclusive no tributário.

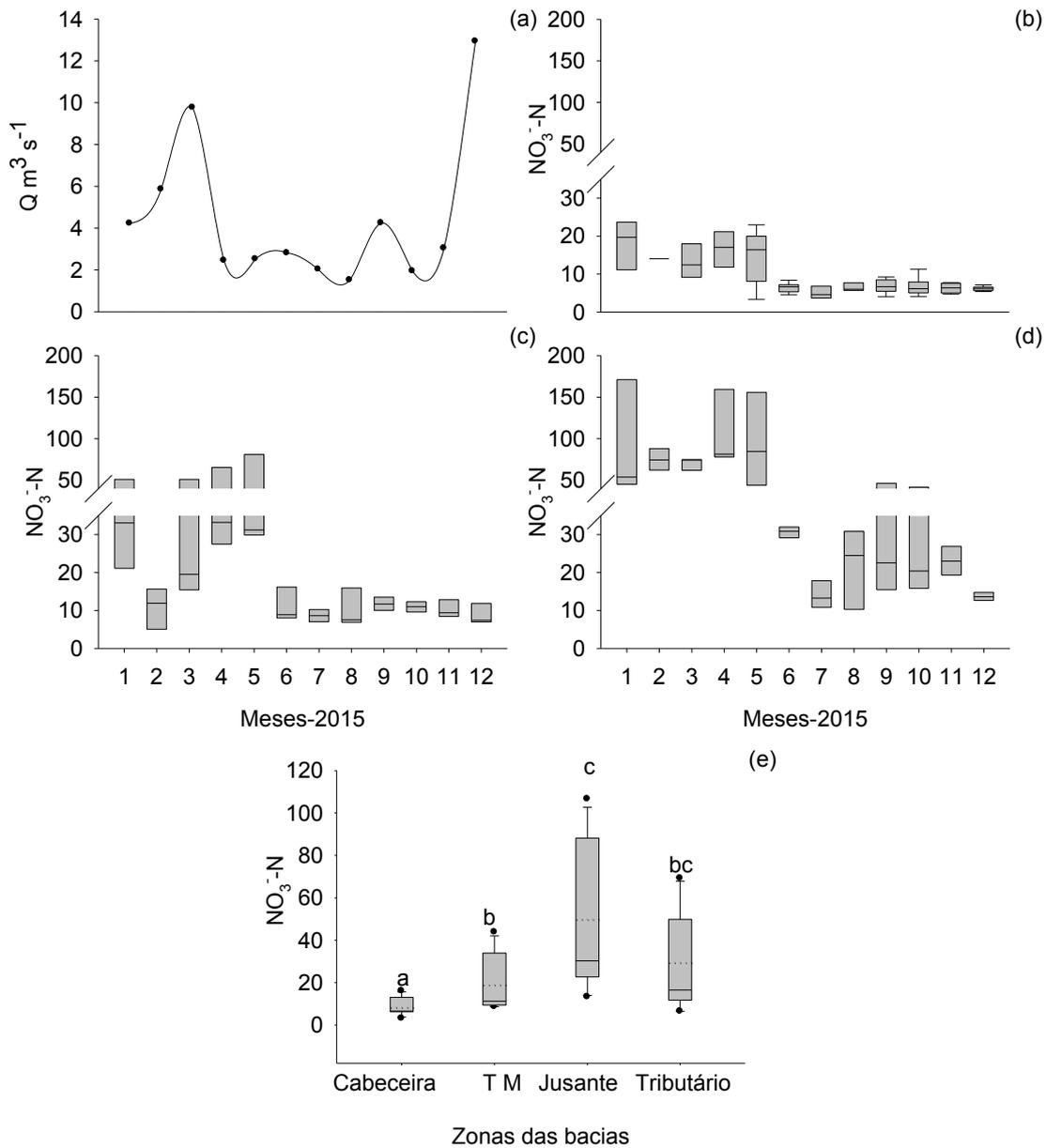


Figura 17. Vazão instantânea medida nas datas de coleta, comparada à distribuição do $N-NO_3$ nas diferentes zonas ao longo dos meses na bacia do rio Jaguari e teste de médias do modelo linear generalizado ($n=192$). (a) Vazão; (b) Cabeceira (c) Trecho médio; (d) Jusante; (e) Comparação estatística das zonas dos rios Jaguari e Camanducaia.

Utilizando-se da análise multivariada de componentes principais (ACP), as 14 variáveis de 3 grupos diferentes (metabolismo do rio, química da água e uso da terra) testadas, indicaram em sua maioria correlações média a forte e significativa ($p < 0,05$), no entanto, dentre essas as variáveis $N-NH_4^+$ e o uso da terra de hortícolas e floríferas apresentaram baixa correlações com os outros parâmetros. O grau de explicação da ACP foi de 0,6 e significativa pelo teste de esfericidade, ou seja, os fatores conseguem descrever satisfatoriamente as variações dos dados originais, no

entanto, para aumentar o grau de explicação do teste foram desconsideradas variáveis que apresentaram baixa correlação e falta de linearidade como N-NO₂⁻, MPSG, pastagem e vegetação natural campestre.

CE, N-NO₃⁻ e NOD apresentaram correlação direta e significativa (p<0,05) com a variável metabólica TR e com os usos da terra de cana-de-açúcar, urbano, lavoura permanente e temporária com variação de 0,4 a 0,8 (p<0,05). Essas variáveis químicas obtiveram relação inversa, altamente significativa, com o OD. Na mesma tendência, os agroecossistemas e a urbanização, também, obtiveram relação direta com a TR (r-variação=0,5 a 0,7; p<0,05) e inversa com o OD, diferentemente, da vegetação natural florestal e silvicultura (Tabela 28).

Tabela 28. Matriz de correlação da ACP entre as variáveis testadas.

Variáveis	OD%	TR	MPSG	CE	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	NOD	C.A.	H.F.	Urb.	L.perm.	L.temp.	Silv.	V.flor.
OD%	1,00													
TR	<u>-0,64</u>	1,00												
MPSG	<u>0,36</u>	<u>-0,56</u>	1,00											
CE	<u>-0,65</u>	<u>0,92</u>	<u>-0,58</u>	1,00										
N-NO ₃ ⁻	<u>-0,54</u>	<u>0,86</u>	<u>-0,49</u>	<u>0,96</u>	1,00									
N-NH ₄ ⁺	<u>-0,50</u>	<u>0,67</u>	<u>-0,43</u>	<u>0,68</u>	<u>0,64</u>	1,00								
NOD	<u>-0,62</u>	<u>0,78</u>	<u>-0,51</u>	<u>0,91</u>	<u>0,90</u>	<u>0,62</u>	1,00							
C.A.	-0,31	0,29	-0,19	<u>0,47</u>	<u>0,56</u>	0,12	<u>0,68</u>	1,00						
H.F.	<u>0,39</u>	<u>-0,43</u>	0,06	<u>-0,28</u>	-0,27	-0,22	-0,38	-0,07	1,00					
Urb.	<u>-0,29</u>	<u>0,65</u>	<u>-0,43</u>	<u>0,41</u>	<u>0,37</u>	0,25	<u>0,25</u>	0,03	<u>-0,34</u>	1,00				
L.perm.	<u>-0,45</u>	<u>0,67</u>	<u>-0,35</u>	<u>0,74</u>	<u>0,72</u>	<u>0,36</u>	<u>0,76</u>	<u>0,70</u>	-0,13	<u>0,39</u>	1,00			
L.temp.	<u>-0,55</u>	<u>0,50</u>	<u>-0,39</u>	<u>0,64</u>	<u>0,58</u>	0,13	<u>0,52</u>	0,26	0,04	0,10	<u>0,34</u>	1,00		
Silv.	<u>0,45</u>	<u>-0,59</u>	<u>0,49</u>	<u>-0,40</u>	<u>-0,33</u>	-0,15	-0,26	0,02	0,20	<u>-0,63</u>	<u>-0,23</u>	<u>-0,38</u>	1,00	
V.flor.	<u>0,34</u>	<u>-0,34</u>	<u>0,49</u>	<u>-0,43</u>	<u>-0,32</u>	-0,25	<u>-0,30</u>	-0,08	<u>-0,50</u>	-0,04	<u>-0,30</u>	<u>-0,55</u>	<u>0,51</u>	1,00

*OD, oxigênio dissolvido; CE, condutividade elétrica; MPSG, material particulado em suspensão grosso; TR, taxa de respiração;

*Uso da terra (%): C.A., cana-de-açúcar; H.F, hortícolas e floríferas; Urb., urbano; L.perm., lavoura permanente; L.tem., lavoura temporária; Silv., silvicultura; V.flor., vegetação natural florestal;

* N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, NH₄⁺, NOD em µM; Valores sublinhados são significativos a 0,05, itálico e sublinhado são significativos a 0,1, negrito e itálico tem r-valor >0,5 <0,7 e valores em negrito tem r-valor >0,7.

A vegetação natural florestal apresentou correlações significativas e positivas com o OD e o uso da terra de silvicultura, e inversa com a TR, CE, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, NOD, hortícolas e floríferas, lavoura temporária e permanente, no entanto, com o uso da terra de cana-de-açúcar e urbanização não houve correlação, em oposição, a silvicultura que demonstrou relação inversa de -0,6 com a urbanização. Essas duas últimas variáveis (vegetação natural florestal e silvicultura) apresentaram correlação direta com o MPSG (p<0,05) demonstrando influência do escoamento superficial no solo nessas áreas (Tabela 28).

A ACP reduziu as 14 variáveis em 3 componentes, tendo proporção da variância total explicada por algumas variáveis como TR, CE, N-NO₃⁻, NOD e vegetação natural florestal que apresentaram os maiores valores de cumunalidade (0,9), as outras variáveis variaram na faixa de 0,5 a 0,8, sendo o OD% a variável com maior erro aleatório associado.

A primeira componente (Eixo-x) representou 50% da variação total dos dados, essa apresentou os maiores valores positivos da matriz de componente para as variáveis de qualidade de água, com exceção do OD que teve

A terceira componente apresentou as maiores correlações positiva para as variáveis silvicultura e cana-de-açúcar ($r=0,6$), obtendo maior correlação negativa com a urbanização ($r= -0,6$), por isso, foi nominada de uso da terra explicando 12% da variação total dos dados. A associação do uso da terra com a qualidade de água mostrou a relação dos pontos de amostragem com as partições de N (componente 2).

O $N-NH_4^+$, forma redutiva do nitrogênio, a CE e a TR teve alta correlação com a urbanização e os pontos J8, J9, J10, C6 e C7 classificados como urbanos inicialmente. O J11, apesar de estar localizado dentro da cidade de Jaguariúna, situa-se em uma área afastada da parte urbana dentro de uma fazenda com lavouras e cana-de-açúcar. Esse juntamente com o J7, obtiveram a maior relação com a lavoura temporária e permanente, cana-de-açúcar, CE, NOD e $N-NO_3^-$, caracterizando o N do nitrato como de área agrícola (Figura 19).

No quadrante 3, observa-se que o OD na componente 3 tem um peso maior que na componente 2, tendo alta correlação com os pontos de cabeceira dos dois rios e trecho médio do rio Camanducaia, juntamente com as covariáveis de vegetação natural florestal, MSPG, silvicultura e H.F., no entanto, os tributários apresentaram baixa correlação e os pontos J5 e J6 (represa) se mantiveram na média.

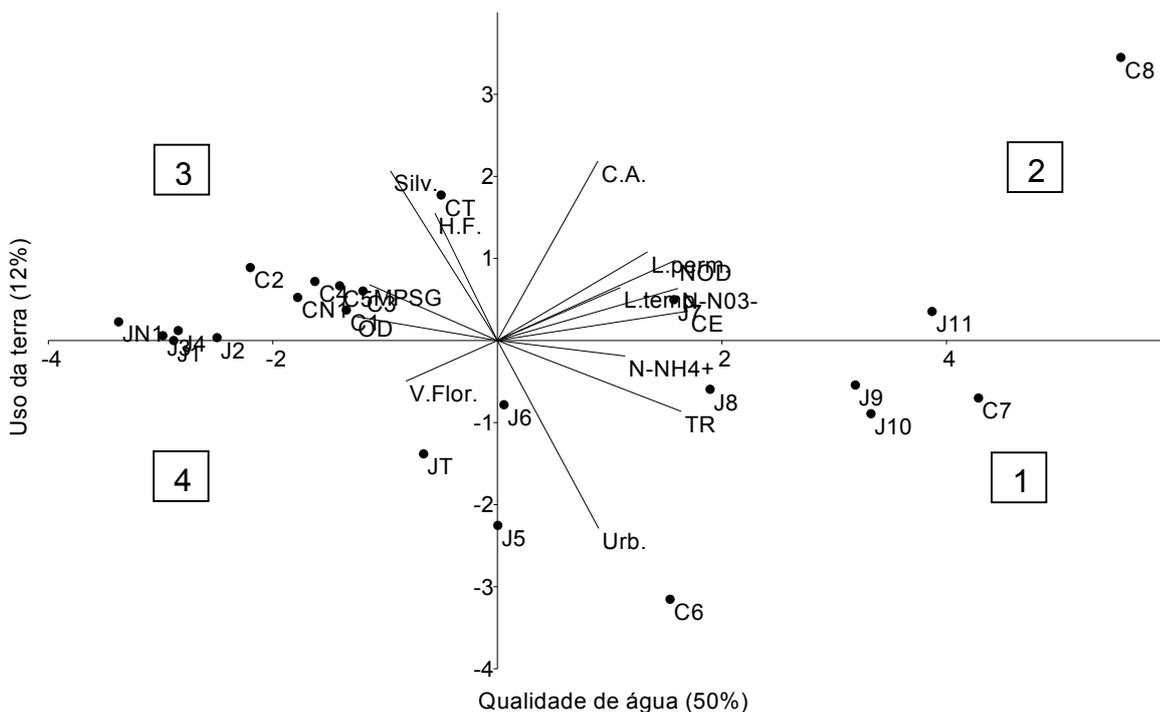


Figura 19. Qualidade de água (C1- Eixo x) e Uso da terra (C3 - Eixo y) da ACP com a demonstração de correlação entre as variáveis e os pontos de coleta ao longo dos rios Jaguarí e Camanducaia ($n= 23$). Parâmetros: OD, oxigênio dissolvido; CE, condutividade elétrica; MSPG, material particulado em suspensão grosso; TR, taxa de respiração; Uso da terra (%): C.A., cana-de-açúcar; H.F, hortícolas e floríferas; Urb., urbano; L.perm., lavoura permanente; L.tem., lavoura temporária; Silv., silvicultura; V.flor., vegetação natural florestal.

Ao analisar a origem da matéria orgânica particulada fina e grossa transportada no rio através do $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$, verificou-se um fracionamento médio do material grosso para o fino na faixa de variação de 2 a 4 ‰ para o $\delta^{13}C$ e 0 a 4 ‰ para o $\delta^{15}N$. Esse fracionamento ocorre porque o material fino se diferencia do grosso por ser mais decomposto e representar uma matéria orgânica mais recalcitrante.

O material orgânico grosso (MOP-G) nas diferentes zonas dos rios Jaguari e Camanducaia refletiu no $\delta^{13}\text{C}$ a vegetação presente na bacia, separando áreas conversadas de áreas mais impactadas. A MOP-G nas cabeceiras do rio Jaguari variou de -26,3 a -25,5 ‰ no período seco e chuvoso, já nas cabeceiras do rio Camanducaia a variação foi de -24,6 a -22,7 ‰ no período seco e -23,8 a -22,7 ‰ no período chuvoso, ocorrendo uma diferença média de 3 ‰ nos dois rios nessa zona, com sinal de maior impacto antrópico na cabeceira do rio Camanducaia (Tabela 29).

O $\delta^{15}\text{N}$ da MOP-G variou de 2 a 3 ‰ no rio Jaguari nos dois períodos sazonais, refletindo valores da vegetação de mata atlântica. No rio Camanducaia ocorreu variação de 4 a 5 ‰ e 3 a 4 ‰ nos períodos seco e chuvoso, respectivamente, observa-se sinal de fertilizantes comerciais no período seco. No trecho médio do rio Jaguari a variação do $\delta^{13}\text{C}$ da MOP-G foi de -25,9 a -23,7 ‰ no período seco e -24,5 a -23,5 ‰ no período chuvoso. No rio Camanducaia a variação foi de -24,1 a -23,5 ‰ e -24,8 a -24 ‰, nos períodos seco e chuvoso, respectivamente. A jusante apresentou faixas de variação similares ao trecho médio com valores médio 1 ‰ mais pesado no período seco nos dois rios. O tributário apresentou valor médio de -24,8 ‰ no rio Jaguari e -23,5 ‰ no rio Camanducaia. Para o $\delta^{15}\text{N}$ as maiores variações ocorreram no trecho médio e na jusante do rio Jaguari de 3 a 7 ‰, refletindo valores de fertilizantes e despejos de esgoto doméstico (Tabela 29).

O material orgânico particulado fino (MOP-F) por ser mais intemperizado apresentou valores mais pesados de $\delta^{13}\text{C}$, com faixa de variação de -23,5 a -21,2 ‰ no período seco e -25,8 a -21,7 ‰ no período chuvoso no rio Jaguari. O rio Camanducaia diferenciou na média 1 ‰ nessa zona em relação ao rio Jaguari. O trecho médio variou de -22,4 a -20,1 ‰ e -25,1 a -20,8 ‰, nos períodos seco e chuvoso, respectivamente no rio Jaguari, e de -21,8 a -21,6 ‰ no rio Camanducaia (Tabela 29).

As jusantes e os tributários dos dois rios apresentaram valores mais pesados no período seco do que no período chuvoso, ocorrendo valores de maior diferenciação da cabeceira, com variação média na jusante de -20,6 a -18,8 ‰ no rio Jaguari e -18,4 a -19,8 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$ (Tabela 29).

O $\delta^{15}\text{N}$ da MOP-F nas cabeceiras no rio Jaguari no período chuvoso variou de -5 a 2 ‰, sendo mais leve ou mais negativo que no período seco. No rio Camanducaia ocorreu variação também com valores mais leves no período chuvoso demonstrando efeitos oxidativos nas bacias nesse período. Os trechos médios, as jusantes e os tributários apresentaram valores menores no período chuvoso do que no período seco, porém com uma variação de -2 a 4 ‰. (Tabela 27).

Os valores mais pesados de $\delta^{15}\text{N}$ no período seco apresentaram faixa de variação de 2 a 6 ‰ no trecho médio e 5 a 7 ‰ na jusante do rio Jaguari. No rio Camanducaia o trecho médio não teve variação nesse período, e a jusante obteve a mesma faixa de variação do como o trecho médio do rio Jaguari. Os tributários variaram nesse período de 0 a 3 ‰ nos dois rios (Tabela 29).

Em média a diferença da cabeceira do rio Jaguari para a jusante foi de 2 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, não ocorrendo a mesma variação no rio Camanducaia para a MOP-G, diferentemente, a MOP-F apresentou uma variação de 3 e 2 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$ e 6 e 4 ‰ de $\delta^{15}\text{N}$ nos rios Jaguari e Camanducaia, respectivamente, sendo mais eficiente na separação das zonas com diferentes influências nas bacias.

Tabela 29. $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) da material orgânico particulado fino (MOP-F) e grosso (MOP-G) nos rios Jaguari e Camanducaia.

MOP-G/ Pontos	Bacia	Zona	$\delta^{15}\text{N}$			$\delta^{13}\text{C}$		
			seco	Chuvoso	Média	seco	Chuvoso	Média
JN1	Jaguari	HW	3 ± 0,4	2 ± 0,3	2 ± 0,4	-26,0 ± 0,3	-25,9 ± 0,2	-26,0 ± 0,3
J1	Jaguari	HW	3 ± 0,3	2 ± 0,2	3 ± 0,3	-26,3 ± 0,2	-26,3 ± 0,1	-26,3 ± 0,2
J2	Jaguari	HW	3 ± 0,4	3 ± 0,1	3 ± 0,3	-25,8 ± 0,4	-26,5 ± 0,1	-26,2 ± 0,3
J3	Jaguari	HW	3 ± 0,3	3 ± 0,1	3 ± 0,3	-26,3 ± 0,3	-26,0 ± 0,1	-26,1 ± 0,3
J4	Jaguari	HW	2 ± 0,4	2 ± 0,3	2 ± 0,3	-25,5 ± 0,2	-25,5 ± 0,3	-25,5 ± 0,2
J5	Jaguari	M	3 ± 0,3	3 ± 0,2	3 ± 0,2	-25,9 ± 0,6	-24,5 ± 0,1	-25,1 ± 0,5
J6	Jaguari	M	5 ± 0,7	6 ± 1,0	6 ± 0,8	-23,7 ± 0,5	-23,5 ± 0,1	-23,6 ± 0,4
J7	Jaguari	M	7 ± 0,7	7 ± 0,4	7 ± 0,6	-24,3 ± 0,3	-23,9 ± 0,2	-24,0 ± 0,2
J8	Jaguari	DS	6 ± 0,7	5 ± 0,5	6 ± 0,6	-24,1 ± 0,4	-23,2 ± 0,2	-23,6 ± 0,4
J9	Jaguari	DS	5 ± 0,7	3 ± 0,3	4 ± 0,6	-24,3 ± 0,3	-23,8 ± 0,2	-24,0 ± 0,2
J10	Jaguari	DS	3 ± 0,6	4 ± 0,5	3 ± 0,5	-24,8 ± 0,3	-24,4 ± 0,4	-24,6 ± 0,3
J11	Jaguari	DS	5 ± 0,5	5 ± 0,2	5 ± 0,5	-24,6 ± 0,3	-24,0 ± 0,1	-24,2 ± 0,3
JT	Jaguari	T	3 ± 0,4	4 ± 0,1	4 ± 0,4	-24,5 ± 0,3	-25,0 ± 0,1	-24,8 ± 0,3
CN1	Camanducaia	HW	5 ± 0,4	4 ± 0,3	5 ± 0,4	-24,3 ± 0,5	-23,8 ± 0,4	-24,0 ± 0,4
C1	Camanducaia	HW	4 ± 0,4	3 ± 0,4	4 ± 0,4	-22,7 ± 0,3	-22,7 ± 0,2	-22,7 ± 0,3
C2	Camanducaia	HW	4 ± 0,3	4 ± 0,1	4 ± 0,3	-23,5 ± 0,4	-21,9 ± 0,4	-22,6 ± 0,4
C3	Camanducaia	HW	4 ± 0,4	3 ± 0,2	4 ± 0,3	-24,6 ± 0,4	-23,0 ± 0,3	-23,7 ± 0,4
C4	Camanducaia	M	5 ± 0,4	4 ± 0,2	4 ± 0,3	-23,5 ± 0,4	-24,0 ± 0,4	-23,8 ± 0,4
C5	Camanducaia	M	3 ± 0,3	2 ± 0,5	3 ± 0,4	-24,1 ± 0,3	-24,8 ± 0,2	-24,5 ± 0,2
C6	Camanducaia	DS	4 ± 1,0	5 ± 0,6	4 ± 0,9	-23,1 ± 0,6	-23,3 ± 0,2	-23,2 ± 0,5
C7	Camanducaia	DS	5 ± 0,4	4 ± 0,1	4 ± 0,3	-23,1 ± 0,2	-23,2 ± 0,2	-23,2 ± 0,2
C8	Camanducaia	DS	5 ± 0,7	4 ± 0,5	4 ± 0,6	-23,6 ± 0,4	-24,1 ± 0,1	-23,9 ± 0,3
CT	Camanducaia	T	2 ± 0,6	6 ± 0,3	4 ± 0,6	-22,6 ± 0,5	-24,2 ± 0,1	-23,5 ± 0,5
MOP-F			$\delta^{15}\text{N}$			$\delta^{13}\text{C}$		
JN1	Jaguari	HW	-3 ± 1,5	-5 ± 0,5	-4 ± 1,3	-23,5 ± 0,8	-25,8 ± 0,3	-22,7 ± 0,8
J1	Jaguari	HW	0 ± 1,4	-3 ± 0,0	0 ± 1,2	-23,4 ± 0,6	-24,1 ± 0,0	-23,5 ± 0,5
J2	Jaguari	HW	-1 ± 1,2	-5 ± 1,6	-2 ± 1,3	-23,3 ± 0,8	-24,4 ± 1,1	-22,2 ± 0,8
J3	Jaguari	HW	0 ± 1,0	-2 ± 0,2	0 ± 0,9	-23,0 ± 0,6	-23,6 ± 0,4	-22,7 ± 0,6
J4	Jaguari	HW	-1 ± 1,2	-3 ± 0,6	-1 ± 1,1	-21,2 ± 0,7	-21,7 ± 1,0	-21,3 ± 0,7
J5	Jaguari	M	2 ± 0,8	2 ± 1,2	2 ± 0,9	-22,4 ± 0,7	-21,5 ± 1,1	-22,1 ± 0,8
J6	Jaguari	M	3 ± 1,5	-1 ± 0,8	3 ± 1,4	-21,5 ± 0,7	-25,1 ± 0,6	-21,9 ± 0,8
J7	Jaguari	M	6 ± 2,0	-2 ± 1,4	5 ± 2,1	-20,1 ± 1,1	-20,8 ± 0,9	-20,3 ± 1,0
J8	Jaguari	DS	7 ± 1,5	1 ± 0,7	6 ± 1,5	-20,4 ± 0,9	-21,3 ± 0,4	-20,6 ± 0,8
J9	Jaguari	DS	5 ± 1,2	2 ± 0,8	5 ± 1,2	-18,2 ± 0,9	-22,4 ± 0,6	-18,8 ± 0,9
J10	Jaguari	DS	5 ± 1,2	0 ± 0,0	4 ± 1,3	-19,8 ± 0,8	-20,2 ± 1,1	-19,9 ± 0,8
J11	Jaguari	DS	5 ± 1,4	3 ± 0,8	4 ± 1,3	-20,1 ± 1,0	-21,1 ± 0,6	-20,3 ± 0,9
JT	Jaguari	T	0 ± 0,9	2 ± 0,8	1 ± 0,9	-20,0 ± 0,5	-21,4 ± 1,0	-20,3 ± 0,6
CN1	Camanducaia	HW	2 ± 1,9	-4 ± 1,9	1 ± 1,9	-22,6 ± 0,6	-20,6 ± 0,4	-22,6 ± 0,7
C1	Camanducaia	HW	2 ± 1,3	0 ± 0,8	1 ± 1,2	-22,8 ± 0,6	-22,2 ± 0,6	-21,9 ± 0,6
C2	Camanducaia	HW	0 ± 1,4	0 ± 1,2	0 ± 1,3	-20,3 ± 0,8	-20,9 ± 0,6	-20,4 ± 0,7
C3	Camanducaia	HW	0 ± 0,8	-1 ± 0,6	0 ± 0,7	-20,6 ± 0,8	-21,2 ± 0,1	-20,7 ± 0,7
C4	Camanducaia	M	2 ± 0,9	0 ± 0,8	2 ± 0,9	-21,6 ± 0,5	-21,2 ± 0,6	-21,5 ± 0,4
C5	Camanducaia	M	2 ± 1,3	1 ± 0,8	2 ± 1,2	-21,8 ± 0,7	-20,7 ± 0,6	-21,6 ± 0,7
C6	Camanducaia	DS	2 ± 0,9	2 ± 0,8	2 ± 0,8	-19,8 ± 0,8	-22,2 ± 0,0	-19,7 ± 0,8
C7	Camanducaia	DS	6 ± 1,8	4 ± 0,4	5 ± 1,6	-19,5 ± 0,7	-20,7 ± 0,8	-19,8 ± 0,7
C8	Camanducaia	DS	6 ± 1,0	2 ± 0,5	5 ± 1,0	-17,9 ± 0,9	-20,4 ± 0,6	-18,4 ± 0,9
CT	Camanducaia	T	3 ± 1,5	-2 ± 1,9	1 ± 1,6	-19,9 ± 0,8	-20,3 ± 0,5	-20,0 ± 0,7

* HW=Cabeceira; M= Trecho médio; DS=Jusante;T=Tributário; * Medida de dispersão= erro-padrão da média;
* Período Chuvoso = 4 meses (Fev, Mar, Nov, Dez);Período seco= 8 meses (Jan, Abr, Mai, Jun, Jul, Set, Out);
* Período Seco (n): Jaguari - HW=40; M=24; DS=32; Camanducaia - HW=32; M=16; DS=24;T= 8.
* Período Chuvoso (n): Jaguari - HW=20; M=12; DS=8; Camanducaia - HW=16; M=16; DS=12; T= 4.

Na Figura 20 observam-se a dispersão dos dados médios de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com uma visível separação, inicialmente da cabeceira do Jaguari por ser a área mais preservada pelo MOP-G. O MOP-F conseguiu detalhar melhor as peculiaridades de cada zona na mesobacia do rio Jaguari. Esse resultado corrobora com os dados de sedimento, esse ao serem separados em fino e grosso, sofreram fracionamento de aproximadamente 1 ‰ para o $\delta^{15}\text{N}$. O $\delta^{13}\text{C}$ do sedimento não apresentou variação isotópica significativa para o rio Jaguari, demonstrando uma mistura de um material altamente intemperizado nesse rio. No rio Camanducaia a diferença entre cabeceira e jusante foi de 4 ‰, ocorrendo valores mais leves (negativos) na jusante (Tabela 30).

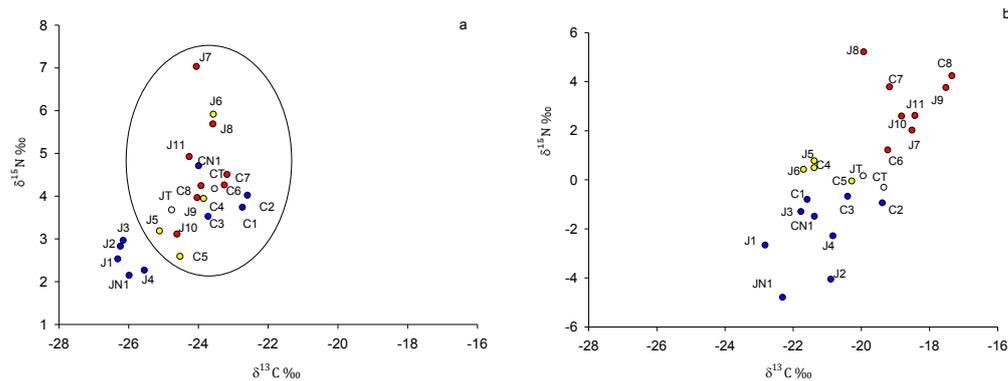


Figura 20. $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ da matéria orgânica transportada na bacia do rio Jaguari. (a) Material orgânico particulado grosso (MOP-G); (b) Material orgânico particulado fino (MOP-F).

Tabela 30. $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do Sedimento fracionado em fino (<63 μm) e grosso (>63 μm) e valores médio nos rios Jaguari e Camanducaia.

Ponto	Bacia	Grosso			Fino			Média		
		$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	C/N
JN1	J		-24,3		4,2	-24,2	16,9	$4,2 \pm 0,3$	$-24,3 \pm 0,01$	$16,9 \pm 0,9$
J1	J	3,3	-23,8	14,4	4,4	-24,8	14,8	$3,8 \pm 0,5$	$-24,3 \pm 0,5$	$14,6 \pm 0,2$
J2	J	4,0	-24,6	14,4	4,6	-24,9	14,9	$4,3 \pm 0,3$	$-24,8 \pm 0,1$	$14,6 \pm 0,2$
J3	J	4,7	-23,6	12,3	5,4	-24,1	14,0	$5,1 \pm 0,3$	$-23,8 \pm 0,3$	$13,1 \pm 0,9$
J4	J	5,1	-22,1	16,9	5,1	-24,3	14,6	$5,1 \pm 0,0$	$-23,2 \pm 1,1$	$15,7 \pm 1,2$
J5	J	5,6	-23,5	14,1	5,4	-23,6	13,1	$5,5 \pm 0,1$	$-23,6 \pm 0,04$	$13,6 \pm 0,5$
J6	J	5,0	-25,3	16,2	7,0	-23,7	14,9	$6,0 \pm 1,0$	$-24,5 \pm 0,8$	$15,5 \pm 0,6$
J8	J	4,8	-25,5	16,6	5,4	-24,0	12,0	$5,1 \pm 0,3$	$-24,8 \pm 0,8$	$14,3 \pm 2,3$
J9	J	5,4	-25,3	12,0	5,9	-24,7	10,9	$5,6 \pm 0,2$	$-25,0 \pm 0,3$	$11,5 \pm 0,5$
J10	J	6,3	-24,0	10,7	6,6	-24,3	11,2	$6,5 \pm 0,2$	$-24,2 \pm 0,1$	$10,9 \pm 0,3$
J11	J	7,8	-23,8	10,1	8,1	-24,4	11,8	$7,9 \pm 0,1$	$-24,1 \pm 0,3$	$11,0 \pm 0,8$
JT	J	5,6	-23,7	13,2	6,1	-23,9	13,3	$5,9 \pm 0,2$	$-23,8 \pm 0,1$	$13,3 \pm 0,0$
CN1	C		-19,7		4,9	-20,5	20,1	$4,9 \pm 0,3$	$-20,1 \pm 0,4$	$20,1 \pm 0,9$
C1	C				7,4	-21,4	15,7	$7,4 \pm 0,3$	$-21,4 \pm 0,4$	$15,7 \pm 0,9$
C2	C	6,5	-23,4	13,6	6,1	-23,6	15,6	$6,3 \pm 0,2$	$-23,5 \pm 0,1$	$14,6 \pm 1,0$
C3	C				8,0	-20,4	14,8	$8,0 \pm 0,3$	$-20,4 \pm 0,4$	$14,8 \pm 0,9$
C4	C	7,0	-23,1	16,5	6,3	-23,2	13,9	$6,7 \pm 0,3$	$-23,1 \pm 0,1$	$15,2 \pm 1,3$
C5	C				6,7	-23,6	12,1	$6,7 \pm 0,3$	$-23,6 \pm 0,4$	$12,1 \pm 0,9$
C6	C	5,6	-25,4	17,5	6,3	-23,2	11,7	$6,0 \pm 0,3$	$-24,3 \pm 1,1$	$14,6 \pm 2,9$
C7	C	10,1	-23,6	7,9	8,5	-22,9	10,0	$9,3 \pm 0,8$	$-23,2 \pm 0,3$	$9,0 \pm 1,0$
C8	C	8,8	-23,8	9,4	8,4	-24,3	11,8	$8,6 \pm 0,2$	$-24,1 \pm 0,3$	$10,6 \pm 1,2$
CT	C	7,7	-21,8	13,9	9,1	-22,7	12,0	$8,4 \pm 0,7$	$-22,3 \pm 0,5$	$12,9 \pm 0,9$

*(n) sedimento fino (<63 μm)=23; (n) sedimento grosso (>63 μm)=23; (n)médio=2;

*células vazias representam a não detecção da variável.

Nas diferentes zonas o transporte específico das partições de nitrogênio e material particulado em suspensão fino e grosso, em média, foram maiores no período chuvoso, com aumento de 56% nas cabeceiras, 59,3 % na área da represa, 42% no trecho médio, 76% na jusante e 67% no tributário do rio Jaguari. O N-NO_2^- apresentou valores maiores no período seco, sendo 60% maior na represa, 57% na jusante e 33% no tributário, nas cabeceiras ocorreram valores somente no período seco. Os fluxos máximos no rio Jaguari para o NOD ocorreram no trecho médio no período chuvoso e na jusante no período seco, o N-NH_4^+ , N-NO_2^- e N-NO_3^- , tanto no período seco como obtiveram maiores fluxos na jusante, e o MPS apresentou maiores resultados na cabeceira e na jusante, no período seco e chuvoso, respectivamente (Tabela 31).

No rio Camanducaia no período chuvoso, ocorreram transportes específicos médios nas diferentes zonas nas proporções de 60% nas cabeceiras, 62% no trecho médio, 83% na jusante e 77% no tributário, sendo maior que no rio Jaguari. Como demonstrado no rio Jaguari, o N-NO_2^- no trecho a jusante foi 50% mais elevado no período seco do que no chuvoso, bem como, o N-NH_4^+ foi 81% maior na mesma zona (Tabela 31). O N-NH_4^+ , N-NO_2^- e N-NO_3^- , obtiveram fluxos máximos na jusante no período seco e chuvoso, diferentemente, do MPS que apresentou maiores fluxos nas cabeceiras no período seco e no trecho médio no período chuvoso.

A jusante ao ser comparada com a cabeceira do rio Jaguari apresentou os maiores resultados, observa-se fluxos mais elevados em 91% de NID e 89% de NOD no período seco, 87% de NID e 80% de NOD no período chuvoso. No rio Camanducaia ocorreu proporção semelhante, sendo 96% e 87% de NID e 94% e 93% de NOD, no período seco e chuvoso, respectivamente. Para o MPS essa relação ocorreu de forma diferente com maiores valores nas cabeceiras no período seco nos dois rios, e valores mais elevados em 38% na jusante do rio Jaguari e 33% no rio Camanducaia no período chuvoso (Tabela 31).

Tabela 31. Fluxo Transporte específico em $\text{kg km}^{-2} \text{ano}^{-1}$ das partições de nitrogênio e Material particulado em suspensão nos rios Jaguari e Camanducaia em dados médios e período sazonal.

Zona	Bacia	Sazonal	NOD	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	NID	TN	MPS-F	MPS-G	MPS
Cabeceira	J	Seco	78	2	3	53	88	212	5679	2947	8626
Represa	J	Seco	91	31	3	43	96	227	1829	237	2066
TM	J	Seco	188	40	0	61	181	615	3039	862	3902
Jusante	J	Seco	404	428	152	192	898	1570	5905	215	6120
Tributário	J	Seco	331	400	168	165	938	1680	5515	701	6216
Cabeceira	J	Chuvoso	141	3	0	53	56	197	29468	5289	34757
Represa	J	Chuvoso	88	70	0	29	99	187	19686	891	20577
TM	J	Chuvoso	627	4	27	335	366	993	5468	2218	7686
Jusante	J	Chuvoso	619	132	80	366	579	1198	53688	2556	56244
Tributário	J	Chuvoso	109	123	12	115	250	358	40021	3044	43065
Cabeceira	J	Média	345	19	1	65	85	430	13938	3685	17623
Represa	J	Média	104	39	0	34	73	177	7982	459	8441
TM	J	Média	435	2	12	197	211	646	3802	1321	5122
Jusante	J	Média	819	297	142	450	890	1709	21702	988	22690
Tributário	J	Média	111	53	9	101	161	273	17984	1534	19518
Cabeceira	C	Seco	51	22	0	26	53	113	2330	393	2722
TM	C	Seco	48	64	0	37	222	428	1609	42	1651
Jusante	C	Seco	223	629	139	125	1348	2383	1656	43	1700
Tributário	C	Seco	12	307	125	6	800	1570	62	11	72
Cabeceira	C	Chuvoso	212	44	1	21	65	278	26584	5121	31705
TM	C	Chuvoso	206	77	16	174	267	473	49381	1426	50807
Jusante	C	Chuvoso	702	116	90	304	510	1212	45250	2101	47351
Tributário	C	Chuvoso	132	116	13	165	294	426	22830	2081	24911
Cabeceira	C	Média	118	99	1	127	55	230	9779	1829	11608
TM	C	Média	120	71	3	176	60	247	16553	474	17027
Jusante	C	Média	520	220	28	436	170	896	13805	625	14429
Tributário	C	Média	48	113	0	164	5	147	5035	498	5532
		Seco	116	171	257	55	123	380	2973	101	3074
Total Jaguari+		Chuvoso	177	282	166	105	38	204	31630	1514	33144
Camanducaia		Média	255	85	214	129	41	296	12720	583	13303

* J=Jaguari; C=Camanducaia; TM=trecho médio;

* Período Chuvoso = 4 meses (Fev, Mar, Nov, Dez); Período seco= 8 meses (Jan, Abr, Mai, Jun, Jul, Set, Out);

*NOD, nitrogênio orgânico dissolvido; NID, nitrogênio inorgânico dissolvido; TN, nitrogênio total dissolvido; MPS-F, material particulado em suspensão fino; MPS-G, material particulado em suspensão grosso; MPS, material particulado em suspensão.

6. DISCUSSÃO

6.1. Análise espacial de carbono nos rios Jaguari e Camanducaia associada a parâmetros socioambientais e metabólicos do rio

A análise de agrupamento separou os pontos em oito grupos definidos em torno da distância euclidiana quadrática igual a 5 (Figura 16), (1) áreas de cabeceira (JN1, J1, J2, J3, J4, CN1, C1, C2, C3), (2) trecho médio (C4, C5, J5), (3) jusantes (J9, J10, J11, C8, C7) e (4) (J8 e C6) e (5) tributários (JT e CT), formando 5 grupos bem definidos demonstrando a similaridade entre essas áreas. A matriz de proximidade separou com uma maior distância os pontos da cabeceira e a jusante dos rios. A maior distância euclidiana foi encontrada entre os pontos de cabeceira e jusante (JN1 - J10 = 71; CN1 - C8 = 66), demonstrando serem os pontos com características químicas mais diferentes.

Os outros grupos foram compostos por pontos isolados que apresentaram peculiaridades ligadas principalmente as alterações na química da água, por exemplo, o ponto J6, logo após a saída da represa Jaguari/Jacareí (Sistema Cantareira). Neste ponto, devido a retenção da água na represa, ocorre interação de diversos fatores do ambiente que alteram as condições hidrobiológicas do rio. Assim, pode-se dizer que o rio Jaguari (Figura 21).

O tributário JT, J5 e J4 foram dissimilares, apesar de geograficamente encontrarem-se próximos, pois o JT é confluência dos pontos J4 e J5. Os pontos J4 e J5 são próximos em distância geográfica e não apresentaram as mesmas condições de qualidade da água devido a diferentes influências de uso da terra em cada um deles.

O ponto J7 é o único ponto na bacia do rio Jaguari que recebe a contribuição de uma extensa área de agricultura intensiva, e esse, apresenta características de qualidade de água diferentes dos demais pontos. Da mesma forma, o ponto C7 recebe toda contribuição do esgoto da cidade de Amparo.

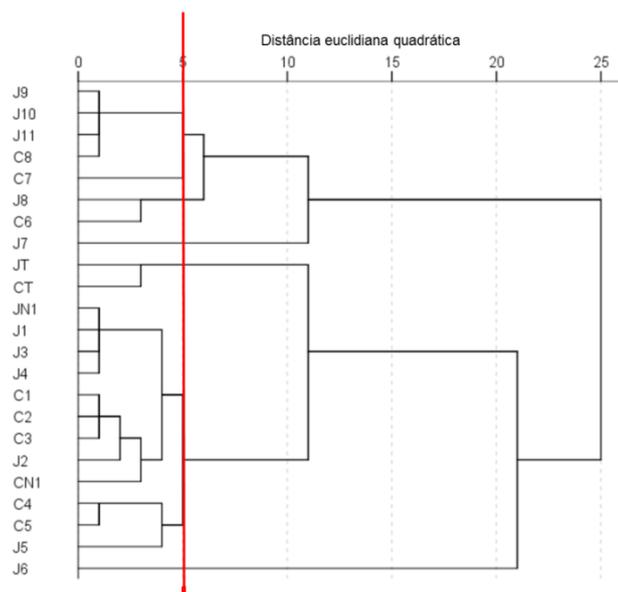


Figura 21. Análise de Cluster dos pontos de coleta na Mesobacia do rio Jaguari, considerou-se as médias padronizadas pela vazão e para a análise dados padronizados estatisticamente.

Os resultados de utilização aparente de oxigênio (AOU) correlacionado com o excesso de CO_2 (Excess- CO_2) apresentaram maior dispersão nos pontos de trecho médio e jusante dos rios Jaguari e Camanducaia (Figura 22 e 23).

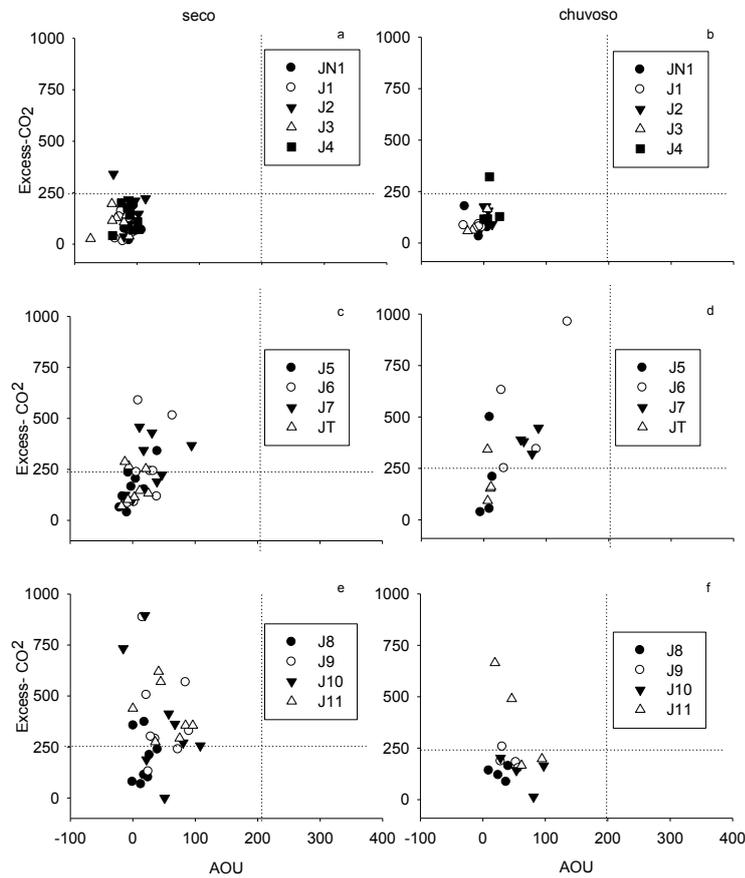


Figura 22. Utilização aparente de oxigênio (AOU μM) e Excesso de CO_2 (Excess - CO_2 μM) no rio Jaguari, a,b) pontos da cabeceira; c,d) pontos do trecho médio; e,f) pontos da jusante. Linhas pontilhadas caracterizam anaerobiose e saturação de CO_2 .

Apesar de terem ocorrido eventos, no qual, o Excess- CO_2 ultrapassou 250 μM , não foi verificado características de anaerobiose nos rios Jaguari e Camanducaia, pois o O_2 dissolvido não diminuiu proporcionalmente. Essa dispersão foi mais evidenciada nos meses secos, que apresentaram ocorrências de saturação de CO_2 , diferente dos meses chuvosos (Figura 22 e 23).

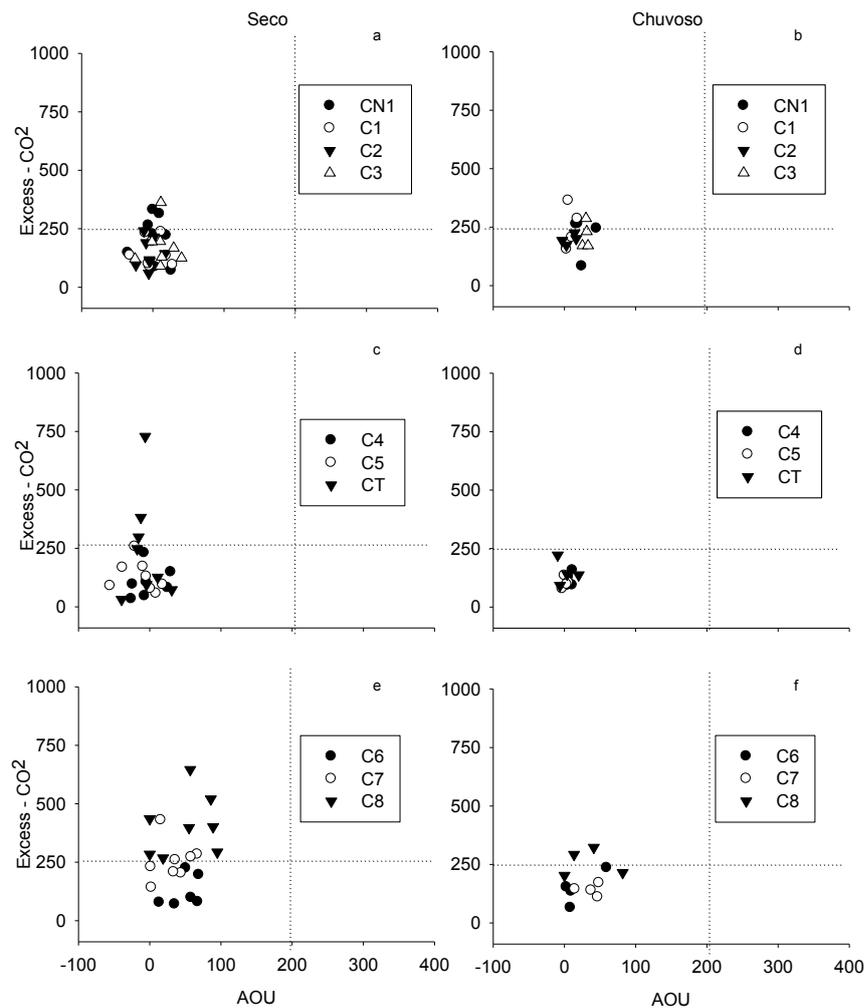


Figura 23. Utilização aparente de oxigênio (AOU μM) e Excesso de CO_2 (Excess – CO_2 μM) no rio Camanducaia, a,b) pontos da cabeceira; c,d) pontos do trecho médio; e,f) pontos da jusante. Linhas pontilhadas caracterizam anaerobiose e saturação de CO_2 .

Nos dois períodos sazonais, a AOU foi negativa nas cabeceiras do rio Jaguari (Figura 22). Houve uma sensível diminuição de Excess- CO_2 no período chuvoso de 7,5% em relação ao seco, diferentemente no rio Camanducaia, em que houve um maior aporte de matéria orgânica nesse período e uma elevação nos valores de Excess- CO_2 , AOU e taxa de respiração (TR). Essas duas últimas variáveis apresentaram correlação de $r=0,4$ ($p<0,05$).

Na cabeceira (JN1, J1, J2, J3, J4) do rio Jaguari ocorreu correlação não significativa entre AOU e Excess- CO_2 ($r=0,9$; $p>0,05$) no período seco, no entanto, no período chuvoso essa relação foi significativa ($r=0,45$; $p<0,05$), o TR e Excess- CO_2 não apresentaram relação. Na cabeceira do rio Camanducaia (CN1, C1, C2, C3, C4) essa relação não foi observada, demonstrando processos metabólicos diferentes.

O trecho médio do rio Jaguari (J5, J6, J7 e JT) nos meses secos, houve correlação significativa ($p<0,05$) entre AOU e Excess- CO_2 ($r=0,6$; $p<0,05$), AOU e TR ($r=0,5$; $p<0,05$) e Excess- CO_2 e TR ($r=0,35$; $p<0,05$). Nesse trecho nos meses chuvosos, a relação entre o AOU e o Excess- CO_2 foi correlação significativa de ($r=0,6$; ($p<0,05$) (Figura 22).

No rio Camanducaia (C4, C5 e CT), o AOU foi nos meses secos, bem como, o Excess- CO_2 médio foi 32% e a TR 29% menor que no trecho médio do rio Jaguari, houve correlação significativa ($p<0,05$) somente entre AOU e

TR ($r=0,44$) nesse período. Nos meses chuvosos no trecho médio, não houve correlação significativa entre AOU, Excess-CO₂ e TR (Figura 23).

O rio Jaguari a jusante (J8, J9, J10 e J11) apresentou Excess-CO₂ 13% maior que no rio Camanducaia (C6, C7 e C8) no período seco, demonstrando alta influência de esgoto doméstico nesse trecho no período seco. Essa interferência do esgoto passa por efeito de diluição no período chuvoso apresentando valores com uma redução média de 41 e 40% em relação ao período seco para o rio Jaguari e Camanducaia, respectivamente.

No trecho a jusante, ocorreu uma inversão do padrão de consumo de oxigênio no rio Jaguari, pois no período chuvoso apesar da maior quantidade de água a AOU foi 13% maior que no período seco em comparação ao chuvoso. Essa inversão não foi observada no rio Camanducaia, no qual a AOU foi 27,3% maior no período seco. A TR média na Jusante no período seco nos pontos C7 e J10 atingiram concentrações que ultrapassaram o máximo recomendado pela CONAMA 357/2005 (Classe 2) que é de 1,3 $\mu\text{M h}^{-1}$.

Uma relação diferente e ligada a vazão dos rios foi encontrada nas cabeceiras estudadas, pois o rio Jaguari apresentou Excess-CO₂, AOU e TR inferior em relação ao rio Camanducaia, esse último, deve ter alto aporte de material orgânico no período de maiores chuvas. No rio Jaguari houve diminuição nos valores de Excess-CO₂ no período chuvoso, isso indica que o CO₂ dissolvido teve origem natural, diluindo com as maiores vazões.

Indiretamente, esses fatores refletem um melhor estado de conservação nas cabeceiras do rio Jaguari quando comparadas as do rio Camanducaia, pois o O₂ e CO₂ dissolvido, espécies químicas altamente correlacionadas e inversamente proporcionais, são indicadas para análise das condições do metabolismo de ambientes aquáticos (Ballester et al., 1999; Stets et al., 2017).

Essa relação pode ser enfraquecida devido ao efeito tampão do carbonato, calcificação, aporte de carbono inorgânico de água subterrânea e metabolismo anaeróbico (Stets et al., 2017), além da possibilidade do efeito enriquecimento em oxigênio, sem o decréscimo proporcional de CO₂, causado por organismos planctônicos fotossintetizantes (Richey et al., 1988), ou devido à aeração física comum em rios pedregosos ou lótico, como é o caso dos rios Jaguari e Camanducaia.

Os parâmetros de utilização de oxigênio aparente (AOU), taxa de respiração (TR) e excesso de CO₂ (Excess-CO₂) devem ser diretamente proporcionais. São esperadas correlações altas e diretas entre AOU, TR e Excess-CO₂, quando não existirem fatores dentre aqueles já descritos interferentes na correlação entre as concentrações de O₂ e CO₂ dissolvidos.

Nas cabeceiras dos dois rios nos meses chuvosos foi observado oxidação química ou possível aumento do material em suspensão, pois a AOU aumentou sem correlação direta com a TR, o que corresponde a baixa ações de microrganismos e influência da aeração física do rio nesses pontos, que tem relevo declivoso e composição rochosa do fundo do rio.

Características semelhantes foram observadas no trecho médio nos pontos J5 (rio Jaguari antes do represamento), C4 e C5 (rio Camanducaia), com uma condição de AOU e Excess-CO₂ baixos mesmo nos meses chuvosos e alta correlação entre esses parâmetros nos períodos secos representando maior consumo de O₂ por processos aeróbios. Diferentemente, do J6 (saída da represa Jaguari/Jacaré) em que a regularização do fluxo gerada pela represa interfere no metabolismo do rio com acúmulo de matéria orgânica potencializando os efeitos de AOU e Excess-CO₂.

Salomão et al.(2008), afirmaram que houve correlação significativa direta ($r= 0,7$; $p<0,05$) entre as concentrações médias de AOU e Excess-CO₂, porém apesar desta relação indicar que o metabolismo interno é um importante regulador dessas concentrações do gás entre diferentes rios ou locais no mesmo rio, o consumo do OD

nem sempre explicará o Excess-CO₂ que pode está ligado a diferentes condições de equilíbrio de ar-água ou devido à existência de fontes de CO₂, além da mineralização de matéria orgânica in situ.

O metabolismo do rio a jusante dos rios Camanducaia (C6, C7 e C8) e Jaguari (J9, J10 e J11), evidenciam a influência de efluentes domésticos, devido aos altos teores de Excess-CO₂ no período seco e ao efeito de diluição que ocorre no período chuvoso, no entanto, as taxas de AOU não se alteraram na mesma proporção provavelmente por causa do relevo da bacia e turbulência nos rios.

Ao avaliar o metabolismo dos rios Jaguari e Camanducaia, os resultados de Ex-CO₂ e TR representam melhor a condição de biodegradabilidade dessas águas, no qual, a jusante do rio Jaguari tem os piores resultados. Nas duas bacias, o trecho final está localizado em regiões populosas e urbanizadas. Pode-se inferir que os resultados de metabolismo aquático, como de O₂ e CO₂, mostraram os efeitos dessa pressão antrópica sobre esses rios (Martinelli et al., 1999).

A correlação entre TR e Excess-CO₂ pode revelar a origem do CO₂ dissolvido, correlações baixas ou negativas indicam que a fonte do CO₂ não está diretamente relacionada à TR e que se trata de um ambiente com pouca matéria orgânica na água. Isso significa que, caso haja uma concentração elevada de CO₂ na água, não seria devido à decomposição de matéria orgânica (Salomão et al., 2008).

Ballester et al. (1999), verificaram que pontos a jusante dos rios Atibaia e Piracicaba no estado de São Paulo, apresentaram valores de TR na faixa de variação de 1,7 a 2 µM O₂ h⁻¹ em vazões baixas e 1,2 a 1,5 µM O₂ h⁻¹ em alta vazão, e pontos com menor poluição, medidos na parte superior dos rios Jaguari e Atibaia, apresentaram O₂ elevado, TR e CO₂ baixos. No período do estudo, 1995 a 1997, as bacias dos rios Jaguari, Camanducaia e Atibaia eram composta por 56 km², 13 km² e 131 km² de área urbanizada, respectivamente, contra 385 km² da jusante do rio Piracicaba (Filoso et al., 2003). Essa mesma tendência encontrada por Ballester et al. (1999), foi verificada nos rios Jaguari e Camanducaia e também foi encontrada por outros autores (Daniel et al., 2002; Salomão et al., 2008; Stets et al., 2017).

Os rios Camanducaia e Jaguari quando comparados pelo teste *t student* pareado considerando os trechos pré-definidos nos métodos, não apresentaram diferença significativa entre os grupos (p<0,05), sendo portanto analisados como um único grupo para as variáveis, carbono orgânico dissolvido (DOC), carbono inorgânico dissolvido (DIC), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), quantidade de H⁺, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), dióxido de carbono dissolvido (CO_{2(aq)}), volume de esgoto tratado (E. trat.) e número de habitantes (pop).

A vazão do período chuvoso foi 68% maior do que no período seco, esse aumento na vazão diluiu as concentrações de CE, DBO e DIC; enquanto a concentração de DOC teve uma relação direta com a vazão. O DIC apresentou correlação inversa (r=-0,2; p<0,01) com as menores descargas, sendo 36% maior do que os valores de DOC.

A concentração média de OD no rio Jaguari trecho de cabeceira foi muito próxima a concentração média na região de cabeceira do rio Camanducaia. No período chuvoso, a concentração de DOC no rio, considerando o grupo total de dados, teve uma correlação diretamente proporcional a CE (r = 0,6; p < 0,01) e inversamente proporcional as concentrações de OD (r = 0,4; p < 0,01). Essas concentrações foram cerca de 20% e 12% maiores que no trecho a jusante dos rios Jaguari e Camanducaia, respectivamente. O pH oscilou próximo a neutralidade nos dois rios, contribuindo com valores em média próximo de zero (0,1%) de carbonato (CO₃²⁻), 20,4% de CO_{2(aq)} e 79,6% de HCO₃⁻ da alcalinidade total.

A matriz de correlação significativa da análise de componente principal (ACP), mostra a relação das variáveis químicas, indicadoras de qualidade da água, com as variáveis socioambientais (número de habitantes, tratamento de

esgoto) e metabólicas do rio. Encontrou-se uma alta correlação ($p < 0,05$) entre as variáveis, exceto para a concentração de H^+ , que só teve significância em relação a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), população e condutividade elétrica (CE) (Tabela 32).

Correlações inversas foram verificadas entre as variáveis químicas CE, DBO, DOC, DIC, CO_2 e o OD, demonstrando que onde ocorrem maiores quantidades de carga orgânica, há menor oxigênio dissolvido na água. A população também manteve essa relação inversa, ou seja, em lugares mais populosos o OD foi menor.

Tabela 32. Matriz de correlação da análise de componente principal das variáveis testadas.

	OD	CE	H+	DBO	DIC	DOC	Pop	E. Trat.	CO_2
OD	1,00								
CE	-0,829	1,00							
H+	-0,033	-0,413	1,00						
DBO	-0,783	0,912	-0,378	1,00					
DIC	-0,845	0,957	-0,367	0,880	1,00				
DOC	-0,850	0,914	-0,265	0,935	0,900	1,00			
Pop 2016	-0,552	0,664	-0,410	0,798	0,636	0,694	1,00		
E. Trat.	0,503	-0,653	0,265	-0,627	-0,697	-0,681	-0,459	1,00	
CO_2	-0,914	0,731	0,216	0,609	0,771	0,700	0,393	-0,550	1,00

*OD, oxigênio dissolvido; CE, condutividade elétrica; H+, pH convertido em H+; DBO, demanda bioquímica de oxigênio; DOC, carbono orgânico dissolvido; DIC, carbono inorgânico dissolvido; Pop, população; E.Trat., Tratamento de esgoto; CO_2 , Dióxido de carbono aquoso.

* Valores em negrito e itálico tem r-valor $> 0,5$ $< 0,7$; valores em negrito tem r-valor $> 0,7$.

As variáveis socioambientais, tratamento de esgoto (E.Trat.) e número de habitantes (pop) apresentaram correlação inversa e significativa ($p < 0,05$). O tratamento de esgoto também foi inversamente proporcional ao DBO, DOC, DIC, CE e população, indicando que nos lugares menos populosos, há menor quantidade de esgoto doméstico lançado no rio, e conseqüentemente, uma menor concentração de DOC, DIC e CE.

A ACP reduziu as nove variáveis testadas para dois componentes, com alto nível de explicação ($p < 0,05$), aqui denominadas “qualidade da água” (C1 – eixo X) e “metabolismo aquático” (C2 – eixo Y). A qualidade da água explicou quase 70% da variância total dos dados (Figura 24), confirmando o efeito antrópico na diferenciação, principalmente, da cabeceira em relação a jusante do rio, observado na análise de agrupamento.

As variáveis CE, DOC, DIC, DBO e população, apresentaram maior correlação na ACP devido a variação angular em que as variáveis estão dispostas e a sua proximidade, onde quanto mais próximas as retas, maior a correlação direta entre as variáveis, porém, essas variáveis em relação ao OD, tratamento de esgoto e H^+ tem correlação inversa.

Os pontos a jusante dos rios foram altamente correlacionados entre si, e também, demonstraram elevada associação com as variáveis químicas (DOC, DIC e DBO) e socioambiental de número de habitantes. No mesmo raciocínio, os pontos da cabeceira dos dois rios tiveram alta relação com o oxigênio dissolvido e o tratamento de esgoto por causa do uso de fossas sépticas, e relação inversa com as variáveis químicas e CO_2 . Esses trechos (jusante/cabeceira) tanto no rio Jaguari quanto no rio Camanducaia, tiveram correlação inversa entre si.

para jusante. Groppo et al. (2008) afirmaram que, os parâmetros de qualidade da água e metabolismo aquático são direta ou indiretamente influenciados por resíduos urbanos, industriais e práticas agrícolas.

O padrão de sazonalidade foi alterado por causa da crise hídrica que ocorreu no Estado de São Paulo no ano de 2014 e 2015 (Coutinho et al., 2015), o que modificou o comportamento das espécies químicas na cabeceira e trecho médio em relação à jusante nas bacias. Na parte superior da bacia detectou-se a mesma variação no Excess- CO_2 e no DOC, em que maiores resultados ocorreram em períodos chuvosos em relação ao seco, no entanto, nos pontos a jusante esse efeito foi inverso. Stets et al., (2017), verificaram correlações positivas e significativas do DOC com o CO_2 , e afirmaram que a menor quantidade de material orgânico no rio é a principal fonte de Excess- CO_2 , e maiores concentrações de DOC ocasionam maiores concentrações de CO_2 .

Entende-se que pelas áreas de cabeceira e trecho médio estarem em regiões com elevação de variam de 750 a 2046 m, as características biofísicas da paisagem influenciaram em um maior arraste de material para o rio advindo dos solos orgânicos da bacia. Sousa et al., (2011) identificou em um afluente do rio Acre na Amazônia (Brasil) elevados valores de DOC no período chuvoso, atribuindo a fonte ao material orgânico do solo da floresta inundada.

Em um estudo sobre a matéria orgânica dissolvida e ligações terrestres-lóticas na bacia da Amazônia Central do Brasil, foram verificados valores de DOC maiores no período chuvoso do que no período seco, no entanto, essa diferença não teve correlação significativa ($p < 0,05$) (McClain et al., 1997). Figueiredo et al. (2011), encontrou essa relação em afluentes do rio Paraíba do Sul, Brasil.

A correlação positiva com a vazão confirma essa hipótese, e explica o arraste de material ao longo do rio, principalmente, após longos períodos sem chuva em que ocorre maior escoamento superficial no solo da bacia. No entanto, a influência da urbanização foi mais evidente nos períodos mais secos, pois ocorreu concentração do material orgânico, principalmente, nas áreas urbanizadas por causa do esgoto doméstico lançado no rio.

Figueiredo et al. (2011), encontraram correlação significativamente positiva entre o DOC e Q ($r = 0,5$; $p < 0,01$), e verificou que em um evento no período de baixa vazão o DOC foi elevado, por causa de possível entrada de fontes de poluição difusa oriunda de atividades antropogênicas. Níveis maiores de DOC e BOD na estação seca em áreas urbanas também foram observados por outros autores (Ajeegah, Njine, Foto, 2010; Shi et al., 2017).

A contribuição de poluição difusa pode ser verificada no trecho médio do rio Jaguari através da análise de coordenada principal nos pontos J5 e J7. O ponto J5 mostrou-se dissimilar do anterior J4, apesar da distância geográfica de ≈ 15 km. Essa diferença, provavelmente, ocorreu por causa da contribuição da área urbana de 68 km^2 , e desses 29,9 km^2 são correspondente ao tributário JT que desagua nesse ponto, enquanto que, o J4 está localizado na área rural da cidade de Extrema-MG contando com 11,1 km^2 de área urbanizada.

O ponto J7 é o ponto com maior contribuição de lavoura 43,7 km^2 , essa intensificação do uso da terra pode estar alterando o padrão de qualidade da água por causa de descargas pontuais de material orgânico oriundo de agricultura, e isso também afeta o metabolismo do rio, que teve altos valores de Excess- CO_2 no período chuvoso nesse ponto.

Nos pontos a jusante ocorreu alta contribuição da urbanização, e conseqüentemente, do crescimento populacional, que se demonstrou uma variável importante para a degradabilidade da qualidade da água dos rios estudados. Vale ressaltar que apesar de ocorrer um alto grau de esgoto tratado nessa bacia, o tratamento não é eficiente, retornando uma quantidade elevada de material orgânico para os rios.

Daniel et al. (2002) verificaram que, em riachos do Estado de São Paulo, áreas altamente urbanizadas e sem tratamento de esgoto, em torno de 192 a 253 km^2 , o OD variou de 2 a 3 mg L^{-1} , o DOC de 917 a 4000 μM e a EC de 295 a 597,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Nessas áreas, as variáveis de metabolismo mostraram a mesma tendência, a diminuição do OD

foi acompanhada pelo aumento do CO₂ dissolvido e em pelo menos parte do tempo os rios mais poluídos estiveram em condições de anaerobiose.

Inferese que o tratamento de esgoto doméstico não supre as necessidades do número de habitantes das cidades há jusante no entorno dos rios Jaguari e Camanducaia. Indicadores como a taxa de respiração microbiana nesses trechos em alguns eventos superou 1,3 μM h⁻¹ (valor convertido a partir da DBO - CONAMA 357/2005) valor máximo para rios classe 2. Groppo et al., (2008), verificaram que frequências de ocorrências de concentração de OD e DBO acima do limite em alguns pontos analisados durante o período do estudo, no qual a bacia do rio Piracicaba e seus afluentes, Jaguari e Atibaia, apresentaram limites superiores em 50% para OD e 35% para DBO.

Ajegah et al. (2010), monitoraram a carga orgânica em uma bacia do rio urbano tropical (Camarões) por meio de medições de DBO e oxidabilidade, observaram relações diretas das concentrações de DBO com a oxidabilidade, encontrando valores de 29,7 O₂ dm⁻³, o que indica um sistema lótico poluído, muito acima do indicado pela norma da organização mundial da saúde (OMS) para a matéria orgânica que deve ser inferior a 5 mg O₂ dm⁻³.

Martinelli et al., (2002) há 15 anos atrás, verificaram que 76% de todo esgoto domiciliar gerado no Estado é recolhido por redes de esgoto, no entanto, no período do estudo somente 17% era tratado, contradizendo o IQA avaliado pela CETESB no ano de 2000. Além disso, na bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá encontravam-se sete dos 30 municípios mais poluidores do Estado de São Paulo, em que, juntamente com a grande São Paulo foram encontradas as piores condições de qualidade de água, fato atribuído a densidade populacional, poder diferenciado de depuração dos rios e despejo de esgoto doméstico em rios de pequeno porte, demonstrando que o panorama encontrado neste estudo tem ocorrência antiga nas outras áreas da bacia do rio Piracicaba.

6.2. Dinâmica do nitrogênio nos rios Jaguari e Camanducaia e a relação com o uso da terra

O processo de nitrificação nas bacias dos rios Jaguari e Camanducaia foi o mais significativo para a explicação da distribuição do N. Esse processo ocorre através da oxidação de formas reduzidas de nitrogênio inorgânico a nitrato por diferentes gêneros de bactérias, *Nitrosomonas* (oxidação da amônia) e *Nitrobacter* (oxidação do nitrito) (Esteves, 2011).

No estudo a nitrificação ficou mais evidente no período seco, em que os valores de N-NO₃⁻ foram maiores em relação às outras formas inorgânicas, no entanto, na jusante do rio Jaguari tanto no período seco como no período chuvoso o N-NH₄⁺ foi predominante como forma inorgânica. Isso pode ter ocorrido por 3 fatores principais: 1) processo de desnitrificação; 2) assimilação de N-NO₃⁻ pelo sedimento; 3) despejo de esgoto doméstico contendo ureia (CO[NH₂]₂), que é hidrolisada a amônia (forma instável gasosa) e em pH 7 ou próximo da neutralidade por hidratação transforma-se em amônio (Thamdrup; Dalsgaard, 2008).

Figueiredo et al (2011) verificaram que na bacia do baixo Paraíba do Sul, o N-NO₃⁻ apresentou concentrações menores a jusante, justificada tanto por processos relacionados a desnitrificação, como também, adsorção de nitrato de sedimentos e captação por fitoplâncton.

A bacia do rio Jaguari tem um relevo acentuado que causa um efeito mecânico de oxigenação, e isso também favorece os processos oxidativos ao longo do rio, tendo a formação do nitrato como produto final estabilizado, no entanto, o ciclo do nitrogênio é complexo, interferentes exógenos como alteração do uso da terra modificam os fluxos de transformação ao longo do ciclo.

O entendimento atual sobre o ciclo do nitrogênio apresenta-se em cinco fluxos de transformação: amônia, com a inclusão da fixação do N, redução assimilatória e dissimilatória de nitrito; nitrificação; desnitrificação (incluindo a desnitrificação canônica, dependente da decomposição biológica do nitrogênio e da metano-oxidação); anammox, processo complementado pela amonificação do nitrito; e a inteconversão nitrito-nitrato (Stein; Klotz, 2016).

Matinelli et al. (2010) comparando áreas preservadas com impactadas em diferentes regiões do Brasil, identificou que as atividades humanas seriam as responsáveis pelo aumento das concentrações e fluxos de N. Em rios preservados como Juruá, Madeira, Igarapé Floresta na Amazônia e Apiaí e Paranapanema em São Paulo, as medianas de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) variaram de 7,5 a 27,4 μM , o NOD de 10,3 a 14,4 μM e o nitrogênio total (TN) de 20,3 a 41,7 μM , concentrações baixas ao serem comparadas a rios de áreas urbanizadas do estado de São Paulo como o rio São José dos Dourados, Piracicamirim (Taquaral) e Cabras que apresentaram faixa de variação de 59,3 a 354,6 μM de NID, 14,6 a 531,9 μM de NOD e 73,9 a 886,5 μM de TN, destacando-se os maiores valores no rio Piracicamirim que recebia alto despejo de efluentes domésticos.

Os rios Camanduaia e Jaguari não apresentaram diferença estatística entre si, no entanto, ao se comparar as diferentes zonas (cabecera, trecho médio e jusante) com usos da terra diferentes notou-se que, em condições semelhantes de relevo, geologia e tipo de solo, fatores como alteração da cobertura vegetal têm influência nas concentrações e fluxos de N. Em ambientes menos impactados ocorreu um equilíbrio entre as partições de nitrogênio, demonstrado por uma maior influência de N natural nos processos de transformações do nitrogênio nessas áreas, diferentemente, dos ambientes mais impactados como as jusantes dos rios com influência de efluentes domésticos.

As cabeceiras e os trechos médios dos dois rios apresentaram baixa ocorrência de nitrito, ao contrário da jusante em que ocorreram as maiores concentrações, sendo um importante traçador de despejo de efluentes nesses pontos. Jarvie et al., (1997), estudando as principais concentrações de íons e a química de carbono inorgânico dos rios Humber identificou o NO_2^- como um dos indicadores de áreas com descarga de efluentes.

Martinelli et al. (1999), ao estudar o efeito do esgoto na composição química do rio Piracicaba afirmaram que ocorreu correlação direta entre carbono orgânico e inorgânico dissolvido na água com a soma de cátions e ânions em pontos urbanizados da bacia. Esses são indicadores de alterações no ciclo do nitrogênio por causa da modificação das reações de oxi-redução ao longo do rio provocadas pelo despejo de efluentes domésticos sendo uma importante fonte de N antropogênico em rios. No rio Tapi (Índia) foram verificadas faixas de concentração de NO_3^- de 53,2 a 482,2 (μM) e NO_2^- de 32,6 a 132,6 (μM), demonstrando elevados níveis de poluição ao longo do rio por causa de industrialização e urbanização (Kamal, Hemangi, Hitesh, 2014).

A área de cabeceira do rio Camanduaia é a zona menos impactada dessa bacia apesar de ter plantios de culturas temporária e permanente (15,6 km^2), horticultura e floríferas (3,6 km^2 , extensos plantios de batata) e pastagem (180,5 km^2), ao ser comparado com a cabeceira do rio Jaguari que possui a maior composição de cobertura vegetal natural (191 km^2), observou-se pela análise de ACP separação dessas duas áreas devido às peculiaridades de cada uma delas com relação ao uso da terra. Áreas agrícolas demanda um intenso uso de fertilizantes nitrogenados para a manutenção das culturas, normalmente, essa fertilização é feita no período seco para evitar a perda da fertilização por escoamento superficial, porém se ocorrerem chuvas esporádicas intensas esse material é carregado para o rio tanto por escoamento superficial como por lixiviação.

Atualmente, após o advento o Haber-bosch (1909) o ciclo do N, inicialmente mantido pela ciclagem feita pelos microrganismos, ultrapassa as contribuições naturais, o que favoreceu ao aumento da produtividade agrícola com uso de fertilizantes químicos e outras fontes antropogênicas (N), no entanto, essas mudanças provocadas pelo aumento da demanda alimentar estão provocando alterações no ecossistema (Stein; Klotz, 2016).

Martinelli et al. (2010) observaram diferenças entre as fontes de N na bacia Amazônica que teve clara influência da deposição atmosférica, sendo essa uma entrada importante de nitrogênio nos sistemas amazônicos por diversos mecanismos como: o de fixação biológica (BNF) contribuindo para o nitrogênio orgânico, fixação química (reações fotoquímicas) favorecendo a presença de nitratos e amônia, e lavagem da atmosfera (*washout*) o que provoca a dissolução de amônia e nitratos e contribuem com partículas de N orgânico. Diferentemente, em outras bacias hidrográficas estudadas com forte influência do uso da terra e crescimento populacional (Tabela 33), detectaram-se fontes de N antropogênico, áreas com grande desenvolvimento econômico como nas bacias do rio Piracicaba (Brasil) e Guayas (Equador) apresentaram a mesma ordem de grandeza dos insumos antropogênicos (N) de regiões altamente populosas de países desenvolvidos, como a Nova Inglaterra nos EUA.

Tabela 33. Fluxo nitrogênio em kg N km⁻² ano⁻¹ calculado para as seguintes fontes, fixação biológica do nitrogênio (BNF), a fixação biológica do N biológico (BNF-agr.), fertilizantes, deposição atmosférica e a importação/exportação de alimentos e ração para animais.

Bacia/ Região	Área (km ²)	BNF	BNF-agr.	Fertilização	Deposição atmosférica	Alimentação	Total
Bacia Amazônica	7.500.000	2140	260	40	20	?	2460
São Paulo	248.209	200	1450	1210	250	?	3110
rio NE-USA	200.000	170	740	470	960	750	3090
rio Vístula	194.424	0	1600	4400	1100	310	7410
rio Oder	118.861	0	1600	6000	1400	340	9340
rio Piracicaba	12.400	340	1450	2380	1200	610	5980
rio Guayas	34.500	620	440	3680	530	-1290	3980

Fonte: Adaptado de Martinelli et al. (2010).

No rio Camanducaia o corte utilizado pela *ottobacias* não separou a área de drenagem do trecho médio da área da cabeceira, o que provocou um menor poder explicativo dessa zona, no entanto, as porcentagens de composição das partições de nitrogênio demonstraram maior contribuição do NOD em relação às partições inorgânicas, com o NO₃⁻ sendo o mais representativa. Com isso, pode-se inferir que existe uma grande contribuição da deposição atmosférica e da agricultura praticada nessa zona.

No rio Jaguari, o maior destaque para o trecho médio ocorreu no ponto J7 pela extensa área de lavoura temporária e permanente drenada (43,7 km²), apresentando fortes correlações com o uso da terra de lavoura temporária, o que favoreceu ao aumento de nitrato no rio advindo da agricultura por causa do uso de fertilizantes nitrogenados, bem como, o J11 (junção dos rios Jaguari e Camanducaia) que apresentou correlação com os usos da terra de lavoura (18,5 km²), NO₃⁻ e NOD.

O J11 contém o maior percentual de área de pastagem de 52,4% da bacia do rio Jaguari, porém esse ponto está localizado logo após os pontos com forte influência urbana J8, J9 e J10, a correlação com o NO₃⁻ demonstrou que mesmo recebendo a drenagem de pontos sob efeito de poluição urbana o impacto pontual da composição da paisagem (lavoura) tem maior contribuição na hidrobiogeoquímica da água. (Krusche et al., 2005) na bacia do Ji-paraná Amazônia, identificaram correlações significativas de área de pastagem com concentrações de PO₄³⁻ (r²=0,78; p< 0,01), NID (r²=0,52; p< 0,01), DIC (r²= 0,81; p< 0,01) e DOC (r²= 0,51; p<0,01), indicando influência da composição da paisagem (uso da terra) na hidrobiogeoquímica. Por análise de regressão verificou-se que, a substituição da floresta pela pastagem resultaria em significativas mudanças nas concentrações de nutrientes no setor do baixo Ji-Paraná (JIP-5) para o NID seria um aumento de uma vez e meia na concentração.

Ao avaliar a distribuição das partições de N na jusante do rio Camanducaia a maior contribuição foi o N-NO_3^- , no entanto, os pontos a jusante dos dois rios se destacaram pela diferença significativa com a cabeceira e trecho médio e alta correlação dos pontos C6 e C7 com o N-NH_4^+ , taxa de respiração e urbanização ao serem associadas às componentes qualidade de água (C1) e uso da terra (C3) da ACP e somente o C8 ponto final da bacia apresentou alta correlação com o nitrato.

Shi et al., (2017) em um estudo sobre a influência do uso da terra e dos padrões de cobertura da terra na qualidade da água sazonal em escalas multi-espaciais na bacia do rio Dan na China, verificaram que as áreas urbanas e agrícolas apresentaram efeitos negativos a qualidade de água. As áreas urbanas demonstraram correlação positiva por análise de componente principal com os parâmetros de qualidade da água e as maiores concentrações medianas de transporte de sólidos em suspensão, N-NO_3^- , e N-NH_4^+ , enquanto que a floresta e a pastagem apresentam efeitos positivos sobre a qualidade da água.

Nos dois rios observa-se nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ uma confirmação do processo oxidativo identificado no modelo linear generalizado e da caracterização feita pelas 3 componentes da ACP, em que o isótopo da MOP-G deixou claro a diferenciação da origem dos nitrogênio na cabeceira do rio Jaguari em relação aos outros pontos, mesma variação observado no $\delta^{13}\text{C}$ sobre a origem do carbono do material orgânico. A MOP-F associou o uso da terra com variável interferente na bacia separando satisfatoriamente a cabeceira (área conservada) da jusante (área impactada).

Nos pontos de cabeceira do rio Jaguari observa-se a influência da cobertura vegetal nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, refletindo a vegetação da bacia e os processos de decomposição autóctone no rio. Quay et al., (1992) avaliando o ciclo do carbono no rio Amazonas verificando as implicações das composições de partículas e solutos do $\delta^{13}\text{C}$ observaram que, no rio Óbidos (um dos rios do estudo) pelo menos 35% do carbono orgânico particulado é derivado da parte da planície da bacia amazônica, sendo identificado também na parte baixa do rio Amazonas a influência do metabolismo do rio com o $\delta^{13}\text{C-DIC}$ que mostrou que 40% do material orgânico respirado é carbono e deriva de plantas C4 da planície de inundação.

Hedges et al., (1994), encontraram para 9 rios da Amazônia valores de $\delta^{13}\text{C}$ para rios com variação de -29,2 a 27,8 ‰ para MOP-G e -29,4 a -27,3 ‰ para MOP-F, indicando que em ambientes naturais o material autóctone juntamente com os processos de decomposição desse material oriundo da vegetal da bacia e da matéria orgânica das margens tem maior contribuição como fonte de carbono para MOP, ou seja, o $\delta^{13}\text{C}$ reflete o valor das planta C3 com pequeno grau de fracionamento por causa dos processos de decomposição.

Martinelli et al., (1999) em estudo sobre as mudanças no uso da terra e a composição de $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica particulada em rios da bacia do rio Piracicaba, verificaram que alterações de mais ou menos 70 a 80 anos atrás na cobertura vegetal da bacia afetaram a composição da MOP no rio, demonstrando impacto da vegetal agrícola no sistema, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ variando em -24,7 a -24,4 ‰ na fração fina e -25,8 a -25,4 ‰ na fração grossa da MOP nas altas e baixas vazões, respectivamente, porém no rio Jaguari essa variação foi maior de -27 a -24,8 ‰ na MOP-F nas altas vazões e -26 a -25,6 ‰ na MOP-G nas baixas vazões, demonstrando influência da sazonalidade na variação do $\delta^{13}\text{C}$ ligada a processos in situ da produção primária como fonte de carbono para MOP.

O nitrato de fertilizantes sintéticos são facilmente diferenciados pelo $\delta^{15}\text{N}$, porque pelo processo de Haber-Bosch o nitrogênio atmosféricos é transformado em nitrato o que faz o valor do $\delta^{15}\text{N}$ desse material ser próximo ao ar atmosférico (0 ‰) (Kendall, Silva, Kelly, 2001), no entanto, com relação a ureia o fertilizante mais utilizado nos solos ácidos brasileiros, principalmente em cultura temporária, o quadro se inverte para enriquecimento de $\delta^{15}\text{N}$ por causa da volatilização da amônia (Aravena, Evans, Cherry, 1993). Esse efeito foi observado no trecho médio do rio Jaguari de no ponto J7, que tem uma extensa área de culturas temporárias e também na bacia do rio Camanducaia,

observa-se também que o $\delta^{13}\text{C}$ do J7 reflete a valores de arraste superficial de solo por escoamento, confirmando então uma possível contribuição da fertilização para a origem do carbono e nitrogênio na composição da MOP.

Outros componentes importantes para o enriquecimento de $\delta^{15}\text{N}$ são os despejos de efluentes urbanos ou resíduos animais, esses elevam os valores de $\delta^{15}\text{N}$, como pode ser observado nos pontos à jusante da mesobacia do rio Jaguari, nas duas frações do material orgânico particulado (Kendall, Silva, Kelly, 2001). Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ são confirmados pelo $\delta^{13}\text{C}$, com a ocorrência de um carbono mais pesado por causa da origem desse material. Martinelli et al., (1999) verificaram influência de despejo de efluentes observado na fração fina da MOP do rio Piracicamirim (tributário do rio Piracicaba), que apresentou variação de -21,4 a -19 ‰. Figueiredo et al., (2011) no rio baixo Paraíba do Sul verificaram em um tributário com influência de efluentes urbanos valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -22 ‰ para a MOP-G e -21,2 ‰ para a MOP-F.

Os fluxos encontrados nas cabeceiras foram similares aos verificados no rio Ubatiba (bacia de 69 km²) e rio Carangueijo (bacia de 20 km²), com valor médio de 10 e 30 kg km⁻² ano⁻¹ para o N-NO₃⁻, respectivamente. Para o N-NH₄⁺ os valores foram 20 e 30 kg km⁻² ano⁻¹ rio Ubatiba e rio Carangueijo, respectivamente (Figueiredo, 1995). Em um estudo que avaliaram 3 bacias montanhosas em florestas tropicais de Porto Rico, encontraram fluxos de N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ e NOD nas faixas de variação de 80 a 280 kg km⁻² ano⁻¹, 20 a 80 kg km⁻² ano⁻¹ e 230 a 520 kg km⁻² ano⁻¹ (McDowell; Asbury, 1994).

Martinelli et al. (2010), verificaram na jusante (área urbana) da bacia do rio Jaguari fluxo médio de nitrogênio total de dissolvido de 996 kg km⁻² ano⁻¹ e 487 kg km⁻² ano⁻¹ no trecho médio (área rural), no rio Atibaia o fluxo foi de 379 kg km⁻² ano⁻¹ e no rio Camanducaia foi de 1340 kg km⁻² ano⁻¹ em área urbana.

7. CONCLUSÃO

- As diferentes zonas da mesobacia do rio Jaguari influenciaram na distribuição de carbono e nitrogênio e essas estão associadas ao tipo de uso da terra, alterando a origem das fontes de N e C da matéria orgânica particulada;
- Áreas com vegetação natural ou uso agrícola de baixo impacto apresentaram melhor qualidade de água, diferentemente de áreas com urbanização;
- O crescimento populacional apresentou uma forte correlação com a variação espacial do carbono, devido ao impacto dos efluentes domésticos não tratados;
- O processo oxidativo do ciclo do N foi dominante nas áreas de cabeceira e trecho médio, alterando-se em áreas com influência de esgoto doméstico;
- O $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ demonstraram-se indicadores da influência do uso da terra na MOP, quando da alteração dos fluxos de C e N relacionados a áreas mais conservadas e impactadas.

REFERÊNCIAS

- Ajeagah, G., Njine, T., Foto, S. (2010). Monitoring of organic load in a tropical urban river basin (Cameroon) by means of BOD and oxydability measurements. **Ecohydrology and Hydrobiology**, 10(1), 71–80.
- Amorin Filho, O. B., Bueno, G.T. As bases físicas. In: Guimarães, T.B., Cunha, M.A.R., Chaves, M. (eds.). **Minas Gerais do século XXI, reinterpretando o espaço mineiro**. Belo Horizonte: Rona Editora, 1999. Chap.1, p.15-32.
- ANA. Agência Nacional de Águas. 2010. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?Tocltem=4100>> Acesso em 30 janeiro 2016.
- Andrade, T.M.B., Camargo, P.B., Silva, D.M.L., Piccolo, M.C., Vieira, S.A., Alves, L.F., Joly, C.A., Martinelli, L.A. (2011). Dynamics of dissolved forms of carbon and inorganic nitrogen in small watersheds of the coastal atlantic forest in southeast Brazil. **Water Air Soil Pollut**, 214, 393–408.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19.ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 140p.
- Amarathunga, A.A.D, Kazama, F. (2016). Impact of land use on surface water quality: A case study in the Gin River Basin, Sri Lanka. **Asian Journal of Water, Environment and Pollution**, 13(3), 1–13.
- Aravena, R., Evans, M.L., Cherry, J.A. (1993). Stables isotopes of oxygen and nitrogen in source identification of nitrate from septic systems. **Ground Water**, 31(2), 180–186.
- Balakrishna, K., Kumar, I.A., Srinikethan, G., Mugeraya, G. (2006). Dissolved organic carbon concentrations and fluxes in a large tropical river , India. **Environmental Monitoring and Assessment**, 122, 355–364.
- Ballester, M.V., Martinelli, L.A., Krusche, A.V., Victoria, R.L., Bernardes, M., Camargo, P.B. (1999). Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O₂, free dissolved CO₂ and respiration rates in the Piracicaba River basin, Southeast Brazil. **Water Research**, 33(9), 2119–2129.
- Beck, H. E., Bruijnzeel, L. A., Dijk, A. I. J. M. van, McVicar, T. R., Scatena F. N., Schellekens, J. The impact of forest regeneration on streamflow in 12 mesoscale humid tropical catchments. (2013). *Hydrology Earth System Science*, 17, 2613–2635.
- Blume, K.K., Macedo, J.C., Meneguzzi, A., Silva, L. B., Quevedo, D. M., Rodrigues, M.A.S. (2010). Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, 70(4), 1185–1193.
- Bustamante, M.M.C., Martinelli, L.A., Pérez, T., Rasse, R., Ometto, J.P.H.B., Pacheco, S.F., Lins, S.R.M., Marquina, S. (2015). Nitrogen management challenges in major watersheds of South America. **Environmental Research Letters**, 10(6), 1–10.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Análise físico-química das águas**. São Paulo: CETESB. Normalização técnica NT-07, 1978. 340 p.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. 1.ed. São Paulo: CETESB, 1987. 155p.
- CHAPIN III, F.S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H.A. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. New York: Springer-Verlag, 2002. 423p.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. and Savenije, H.H.G. (2006). Water saving through international trade of agricultural products, **Hydrology and Earth System Sciences**, 10(3), 455–468.

- COBRAPE. Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020. Piracicaba. 2011.
- CODEMIG-MG (2015). Programa mapeamento geológico do estado de minas gerais- Projeto fronteiras de MINAS GERAIS. Disponível em:< <http://www.codemig.com.br/atuacao/mineracao/mapeamento-geologico/programa-de-mapeamento-geologico/>>. Acesso em: 20 março 2017.
- 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 1997 - 1998. Piracicaba, 1999.
- 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, Jundiá 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 Jundiá. Ano base 2009. Piracicaba, 2010.
- 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 Jundiá. 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 Jundiá. Ano base 2014. Piracicaba, 2015.
- 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 Jundiá. 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 Jundiá. Ano base 2015. Piracicaba, 2016.
- Coutinho, R. M., Kraenkel, R.A., Prado, P.I. (2015). Catastrophic regime shift in water reservoirs and são paulo water supply crisis. *Plos One*, 10(9), 1–14.
- Dalin, C., Konar, M., Hanasaki, N., Rinaldo, A., Rodriguez-Iturbe, I. (2012). Evolution of the global virtual water trade network. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 109, 5989-5994.
- Daniel, M.H.B., Montebelo, A.A., Bernardes, M.C., Ometto, J.P.H.B., Camargo, P.B., Krusche, A. V., Ballester, M.V., Victoria, R.L., Martinelli, L.A. (2002). Effects of urban sewage on dissolved oxygen, dissolved inorganic and organic carbon, and electrical conductivity of small streams along a gradient of urbanization in the piracicaba river basin. **Water, Air, and Soil Pollution**, 136(1–4), 189–206.
- Davis, K. F., Gephart, J. A., Emery, K. A., Leach, A. M., Galloway, J. N., D’Odorico, P. (2016). Meeting future food demand with current agricultural resources. **Global Environmental Change**, 39, 125–132.
- Degens, E.T., Kempe, S., Richey, J. E. (1991). Summary: Biogeochemistry of major world rivers. In: Degens, E.T., Kempe, S., Richey, J.E. (Ed.). **Biogeochemistry of Major World Rivers Scope 42**. London:John Wiley, Chap. 15, p. 323–347.
- Devol, A.H., Forsberg, B.R., Richey, J.E., Pimentel, T.P. (1995). Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimões) River: A multiyear times series. **Global Biogeochemical Cycles**, 9, 307-328.
- Dodds, W.K., Oakes, A.E.R.M. (2008). Headwater Influences on Downstream Water Quality, **Environmental Management**, 41, 367–377.
- Dumont, E., Harrison, J.A., Kroeze, C., Bakker, E.J., Seitzinger, S.P. (2005). Global distribution and sources of dissolved inorganic nitrogen export to the coastal zone: Results from a spatially explicit, global model. **Global Biogeochemical Cycles**, 19(4), 1–14.

- Erismann, J.W., Galloway, J.N., Seitzinger, S., Bleeker, A., Dise, N. B., Petrescu, A. M. R.A., Leach, A.M., Vries, W. (2013). Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. **Phil. Trans. R. Soc.**, 368, 1–9.
- Esteves, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826p.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT database 2017. Disponível em:< <http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 20 março 2017.
- Farquhar, G.D., Ehleringer, J.R., Hubic, K.T. (1989). Discrimination and Photosynthesis. **Annual Reviews Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, 40, 503–537.
- Figueiredo, R.O. Fluxos Hidrogequímicos e Sua Relação com Fatores Ambientais nas Bacias de Drenagem do Sistema Fluvio-Lagunar de Maricá-Guarapina, RJ. (1995). 200f. Dissertação de (Mestrado) –Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil, 1995.
- Figueiredo, R.O., Ovale, A.R.C., Rezende, C.E.; Martinelli, L.A.. (2011). Carbon and Nitrogen in the Lower Basin of the Paraíba River Southeastern Brazil: Element fluxes and biogeochemical processes. **Revista Ambiente & Agua- An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 6(2), 7–37.
- Filoso, S., Martinelli, L.A., Williams, M.R., Lara, L.B., Krusche, A., Ballester, M.V., Victoria, R., Camargo, P.B. (2003). Land use and nitrogen export in the Piracicaba River basin , Southeast Brazil, **Biogeochemistry**, 65, 275–294.
- Filoso, S., Martinelli, L. A., Howarth, R. W., Boyer, E. W., Dentener, F. (2006) Human activities changing the nitrogen cycle in Brazil. In: Martinelli, L. A., Howarth, R. W. Nitrogen cycling in the Americas: natural and anthropogenic influences and controls. Netherlands: Springer, Chap. 4, p. 61-89.
- Fowler, D., Steadman, C. E., Stevenson, D., Coyle, M., Rees, R. M., Skiba, U. M., ... Galloway, J. N. (2015). Effects of global change during the 21st century on the nitrogen cycle. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 15(24), 13849–13893.
- Galloway, J. N., Leach, A. M. (2016). Sustainability: Your feet’s too big. **Nature Geoscience**, 9(2), 97–98.
- Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erismann, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., Martinelli, L.A., Seitzinger, S.P., Mark A.S. (2008). Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. **Science**, 320, 889–892.
- Gao, L., Li, D., Ishizaka, J. (2014). Stable isotope ratios of carbon and nitrogen in suspended organic matter: Seasonal and spatial dynamics along the Changjiang (Yangtze River) transport pathway. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, 119, 1717–1737.
- Germer, S., Neill, C., Vetter, T., Chaves, J., Krusche, A.V., Elsenbeer, H. (2009). Implications of long-term land-use change for the hydrology and solute budgets of small catchments in Amazonia. **Journal of Hydrology**, 364(3–4), 349–363.
- Golfari, L. Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1975.
- Grosso, J.D., Moraes, J.M., Beduschi, C.E., Genovez, A.M., Martinelli, L.A. (2008). Trend analysis of water quality in some rivers with different degrees of development within the São Paulo state, Brazil. **River Research and Applications**, 24, 1056–1067.
- Heaton, T.H.E. (1986). Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review. **Chemical Geology**, 59, 87–102.
- Hedges, J.I., Cowie, G.L., Richey, J.E., Quay, P.D., Benner, R., Strom, M., Forsberg, B.R. (1994). Origins and

- processing of organic matter in the Amazon indicated by carbohydrates and amino acids. **Limnol. Oceanogr.**, 39(4), 743-761.
- Hope, D., Billett, M. F., Cresser, M.S. (1994). River water : fluxes and processes. **Environmental Pollution**, 84, 301-324.
- Huntington, T. G., & Aiken, G. R. (2013). Export of dissolved organic carbon from the Penobscot River basin in north-central Maine. **Journal of Hydrology**, 476, 244-256.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>>. Acesso em: 30 janeiro 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>>. Acesso em: 30 janeiro 2015.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Mapa Geológico do Estado de São Paulo.Escala 1: 500.000. São Paulo, 1981a.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.Escala 1: 1.000.000.000. São Paulo, 1981b.
- IRRIGART. Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos e Meio Ambiente Ltda. Plano Diretor de Recursos Hídricos Bacia Piracicaba/ Jaguari 2008-2009. Piracicaba. 2008.
- Jarvie, H.P., Neal, C., Leach, D.V., Ryland, G. P., House, W.A., Robson, A. J. (1997). Major ion concentrations and the inorganic carbon chemistry of the Humber rivers. **Science of the Total Environment**, 194-195(96), 285-302.
- Kamal, P., Hemangi, D., Hitesh, D. (2014). Impact of industrialization and urbanization on water quality of river tapi surat , gujarat, India. **Journal of Environmental Research And Development**, 9(2), 306-317.
- Kao, S.J., Liu, K.K. (2000). Stable carbon and nitrogen isotope systematics in a human-disturbed watershed (Lanyang-Hsi) in Taiwan and the estimation of biogenic particulate organic carbon and nitrogen fluxes. **Global Biogeochemical Cycles**, 14(1), 189-198.
- Kattan, Z. (1989). Géochimie et hydrologie dès eaix fluviales dès bassins de la moselle et de la Mossig. Transports dissous et particulaires. Cycles biogeochimiques dès éléments. Thèse (Doctor). Strasbourg: Centre de Géochimie de la Surface, Université Louis Pasteur.
- Kendall, C., Silva, S.R., Kelly, V.J. (2001). Carbon and nitrogen isotopic compositions of particulate organic matter in four large river systems across the United States. **Hydrological Processes**, 15(7), 1301-1346.
- Krusche, A.V., Victoria, M., Ballester, R., Victoria, R.L., Bernardes, C.M., Leite, N.K., Hanada, L., Victoria, D.C. Toledo, A.M., Ometto, J.P.H.B., Moreira, M.Z., Gomes, B.M., Bolson, M.A., Neto, S.G., Bonelli, N., Deegan, L., Neill, C., THOMAS, S., Aufdenkampe, A.K., Richey, J.E. (2005). Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d' água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica**, 35(2), 197-205.
- Krusche, A.V., Carvalho, F.P. de, Moraes, J.M. De, Camargo, P.B. de, Ballester, M. V.R., Hornink, S., Martinelli, L.A., Victoria, R.L. (1997). Spatial and temporal water quality variability in the Piracicaba river basin, brazil. **Journal of the American Water Resoucer Association**, 33(5), 1117-1123.
- Krusche, A.V., Martinelli, L.A., Victoria, R.L., Bernardes, M., Camargo, P.B., Ballester, M.V., Trumbore, S.E. (2002). Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piracicaba River basin). **Water Research**, 36(11), 2743-2752.
- Lajtha, K.; Marshall, J.D. (1994). **Sources of variation in the stable isotopic composition of plants**. In: Lajtha, K.; Michener, R.H. (Ed.). **Stable isotopes in ecology and environmental science**. Oxford: Blackwell Scientific

Publications, cap.I, p.1-21.

- Martinelli, L.A., Krusche, A.V., Victoria, R.L., Camargo, P.B., Bernardes, M., Ferraz, E.S., Moraes, J.D.M., Ballester, M.V. (1999). Effects of sewage on the chemical composition of piracicaba river, brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, 110, 67–79.
- Martinelli, L.A., Silva, A.M., Camargo, P.B., Moretti, L.R., Tomazelli, A.C., Silva, D.M.L., Fischer, E.G., Sonoda, K.C., Salomão, M.S.M.B. (2002). Levantamento das cargas orgânicas lançadas nos rios do estado. **Biotaneotropica**, 2, 1–18.
- Manly, B.F.J. *Métodos estatísticas multivariados: uma introdução*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229p.
- Mansor, M.T.C., Filho, J.T., Roston, D.M. (2006). Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do Rio Jaguari, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, (19), 715–723.
- Markewitz, D., Lamon III, E.C., Bustamante, M.C., Chaves, J., Figueiredo, R.O., Johnson, M.S., Krusche, A., Neill, C., Silva, J.S.O. (2011). Discharge – calcium concentration relationships in streams of the Amazon and Cerrado of Brazil : soil or land use controlled. **Biogeochemistry**, 105, 19–35.
- Martinelli, L.A., Ballester, M.V., Krusche, A.V., Victoria, R.L., Camargo, P.B., Bernardes, M., Ometto, J.P.H.B. (1999). Landcover changes and delta13C composition of riverine particulate organic matter in the Piracicaba River Basin (southeast region of Brazil). **Limnology and Oceanography**, 44(7), 1826–1833.
- Martinelli, L.A., de Camargo, P. B., Bernardes, M. C., Ometto, J. P. H. B. (2001). Carbon, Nitrogen and Stable Carbon Isotope Composition and Land Use Changes in Rivers of Brazil, **Bulletin du Reseau Erosion**, 22, 399–419.
- Martinelli, La, Coletta, Ld, Ravagnani, E.C., Camargo, P.B., Ometto, J.P.H.B. Filoso, S., Victoria, RL.(2010). Dissolved nitrogen in rivers: comparing pristine and impacted regions of Brazil. **Brazilian Journal Biology**, 70(3), 709–722.
- McClain, M.E., Richey, J.E., Brandes, J.A., Pimentel, T.P. (1997). Dissolved organic matter and terrestrial-lotic linkages in the Central Amazon Basin of Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, 11(3), 295.
- McDowell, W.H., Asbury, C.E. (1994). Export of carbon, nitrogen, and major ions from three tropical montane watersheds. **Limnology and Oceanography**, 39(1), 111–125.
- Meyers, P. A. (1994). Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**, 114, 289–302.
- Middelburg, J.J., Herman, P.M.J. (2007). Organic matter processing in tidal estuaries. **Marine Chemistry**, 106(1–2), 127–147.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Disponível em: <<https://www.millenniumassessment.org/en/About.html>> Acesso em: 30 março 2017.
- Montenegro, R.L., Gonçalves, E., Almeida, E. (2011) Dinâmica espacial e temporal da inovação no estado de São Paulo: uma análise das externalidades de diversificação e especialização. **Estudos Econômicos**, 41(4), 743–776.
- Moraes, G.M. Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios Capivari e Jundiá, SP: aspectos das influências antrópicas (2015). Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente), Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP). Piracicaba. 216 p.
- Moreira, A.A.N., Camelier, C. 1977. **Geografia do Brasil: Região Sudeste**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1977. 50p.

- Mortatti, J., Probst, J. (2010). Characteristics of heavy metals and their evaluation in suspended sediments from Piracicaba river basin (São Paulo , Brazil). **Revista Brasileira de Geociências**, 40(3), 375–379.
- Mortatti, J., Probst, J.L., Oliveira, H., Bibian, J.P.R., Fernandes, A.M. (2006). Fluxo de carbono inorgânico dissolvido no rio piracicaba (São Paulo): partição e reações de equilíbrio do sistema carbonato. **Geociências**, 25(4), 429–436.
- Nimer, E. **Climatologia do Brasil**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: Secretaria de Planejamento da Presidência da República, 2 ed. 1989. 421p.
- OECD-FAO. (2015). **OECD/ Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015)**, OECD-FAO Agricultural Outlook 2015. Paris: OECD Publishing, p. 1–143.
- Oliveira, J.B., Camargo, M.N., Rossi, M., Calderano Filho, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo : legenda expandida. Campinas/Rio de Janeiro: Instituto Agronômico/Embrapa, 1999. 64p.
- Orlowsky, B., Hoekstra, A.Y., Gudmundsson, L., Seneviratne, S. I. (2014). Scarcity to global demand of Brazilian farming commodities Implications of climate mitigation for future agricultural production Today's virtual water consumption and trade under future water scarcity. **Environmental Research Letters**, 9, 1–10.
- Ouyang, T., Zhu, Z., & Kuang, Y. (2006). Assessing impact of urbanization on river water quality in the Pearl River Delta Economic Zone, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, 120(1–3), 313–325.
- Pellegrino, G.Q. Análise espacial-temporal de dados hidrológicos da bacia do rio Piracicaba. 1995. 117f. Dissertação de (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 1995.
- Probst, J.L., NKoukou, R.R., Krempp, G., Bricquet, J.P., Thiébaux, J.P., Olivry, J.C. (1992). Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangi rivers during the period 1987-1989. **Journal of Hydrology**, 135(1–4), 237–257.
- Quay, P.D., Wilbur, D.O., Richey, J.E., Hedges, J.I., Devol, A.H., Victoria, R. (1992). Carbon cycling in the Amazon River: Implications from the ¹³C composition of particles and solutes. **Limnol. Oceanogr.**, 37(4), 857–871.
- Rai, S.K., Singh, S.K., Krishnaswami, S. (2010). Chemical weathering in the plain and peninsular sub-basins of the Ganga: Impact on major ion chemistry and elemental fluxes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 74(8), 2340–2355.
- Ramos, M.A.G., Oliveira, E.S.B., Pião, A.C.S., Leite, Oliveira, D.A.N., Angelis, D.F. (2016). Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia , São Paulo, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 188(263), 1–14.
- Richey, J. (2004). Pathways of atmospheric CO₂ through fluvial systems. In: Field, C.B., Raupach, M.R. (Eds.). **The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World (Scope 62)**, Chap. 17, 329–340.
- Richey, J.E., Devol, A.H., Wofsy, S.C., Victoria, R., Riberio, M.N.G. (1988). Biogenic gases and the oxidation and reduction of carbon in Amazon River and floodplain waters. **Limnology and Oceanography**, 33(4), 551–561.
- Richey, J.E., Hedges, J.I., Devol, A.H., Quay, P.D., Victoria, R., Martinelli, L.A., Forsberg, B.R. (1990). Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, 35(2), 352–371.
- Ross, J.L.S.; Moroz, I.C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: DG-FFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1997.
- Sachse, A.; Henrion, R.; Gelbrecht, J.; Steinberg, C. E. W. (2005). Classification of dissolved organic carbon (DOC

-) in river systems : Influence of catchment characteristics and autochthonous processes. *Science Direct*, 36, 923–935.
- Salomão, M.S.M.B., Cole, J.J., Clemente, C.A., Silva, D.M.L., Camargo, P.B., Victoria, R.L., Martinelli, L.A. (2008). CO₂ and O₂ dynamics in human-impacted watersheds in the state of São Paulo, Brazil. **Biogeochemistry**, 88(3), 271–283.
- Santschi, P. H., Guo, L., Means, J. C., and Ravichandran, M. (1999). NOM binding with trace metal and organic material.pdf. *John Wiley & Sons, Inc.*
- SEFA. Secretaria da Fazenda do Governo do Estado de São Paulo. Estatística de Referência – ano 2014. Disponível em:<<http://www.fazenda.sp.gov.br/relatorio/2015/maio/estatisticas.asp>>. Acesso em: 15 janeiro 2015.
- Shi, P., Zhang, Y., Li, Z., Li, P., Xu, G. (2017). Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. **Catena**, 151, 182–
- Silva, V.P.R., Oliveira, S. D., Hoekstra, A.Y., Neto, J.D., Campos, J.H.B.C., Braga, C.C., Araújo, L.E., Aleixo, D.O., Brito, J.I.B., Souza, M.D., Holanda, R.M. (2016). Water Footprint and Virtual Water Trade of Brazil, **Water**, 8(517), 1–12.
- Sousa, E.S., Salimon, C.I., de Figueiredo, R.O., Krusche, A.V. (2011). Dissolved carbon in an urban area of a river in the Brazilian Amazon. **Biogeochemistry**, 105(1), 159–170.
- Stein, L.Y., Klotz, M.G. (2016). The nitrogen cycle. **Current Biology**, 26(3), R94–R98.
- Stets, E.G., Butman, D., Mcdonald, C.P., Stackpoole, S.M., Degrandpre, M.D., Striegl, R.G. (2017). Carbonate buffering and metabolic controls on carbon dioxide in rivers. **Global Biogeochemical Cycles**, 31, 663–677.
- Ternus, R. Z., Souza-Franco, G. M. De, Anselmini, M. E. K., Mocellin, D. J. C., & Dal Magro, J. (2011). Influence of urbanisation on water quality in the basin of the upper Uruguay River in western Santa Catarina, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 23(2), 189–199.
- Thamdrup, B., Dalsgaard, T. (2008). Nitrogen Cycling in Sediments. *Microbial Ecology of the Oceans: Second Edition*, (Falkowski 1997), 527–568.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 108(50), 20260–20264.
- Vannote, R.L.; Minshall, G.W.; Cummins, K.W.; Sedell, J.R.; Cushing, C.E. (1980). The river continuum concept. **Canadian Journal of fisheries and aquatic science**. v37, n.1, p.130-137.
- Vazquez, E., Acuña, V., Artigas, J., Bernal, S., Ejarque, E., Gaudes, a., ... Butturini, a. (2013). Fourteen years of hydro-biogeochemical monitoring in a Mediterranean catchment. **Bodenkultur**, 64(3–4), 13–20.
- Vendramini, D., Bonassi, J.A., Mortatti, J. (2013). Aspectos da influência antrópica na carga dissolvida do rio Piracicaba (SP). **Geologia USP-Série Científica**, 13(3), 99–112.
- Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D. W., ... Tilman, D. G. (1997). Technical Report: Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. **Source: Ecological Applications Ecological Applications Ecological Applications**, 7(3), 737–750.
- Zuccari, M.L., Figueiredo, R.O., Júnior L.S., Torresan, F.E., Leivas, J.F., Costa, C. F.G., Camargo, P.B. Seleção de Pontos de Amostragem de Água Fluvial nas Bacias Hidrográficas dos Rios Camanducaia e Jaguari (2015) In: Seminário da Rede AgroHidro e I Workshop do projeto Os impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos, 3., Anais., Corumbá, 2015.

Watanabe, M., Ortega, E. (2011). Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes, **Environmental science & policy**, 14, 594 – 604.

Whitehead, P.G., Wilby, R.L., Battarbee, R.W., Kernan, M., Wade, A.J. (2009). A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. **Hydrological Sciences Journal**, 54(1), 101–123.

WORLD BANK. **Brazil Low-carbon Country Case Study**. Brasília: World Bank, 2010, 270p.

APÊNDICE A. Descrição dos pontos de coleta

Área de Cabeceira do rio Jaguari

JN1 – Localizado em Monte Verde-MG distrito de Camanducaia-MG, Córrego do Cadete, união de nascentes que desagua no rio Jaguari com elevação de 1549 m. Influência de área de preservação permanente (APP) conservada, sendo o ponto mais a montante com acesso no lado direito da área de cabeceira do rio Jaguari. O turismo é a principal atividade de Monte Verde-MG, e por causa disso, no momento da seleção dos pontos de coleta buscou-se um ponto com baixa influência de pousadas e hotéis e com maior influência de ecossistema florestal na qualidade química da água (Figura 25). Ressalta-se também que o principal tratamento de esgoto aplicado na cidade é fossa séptica.

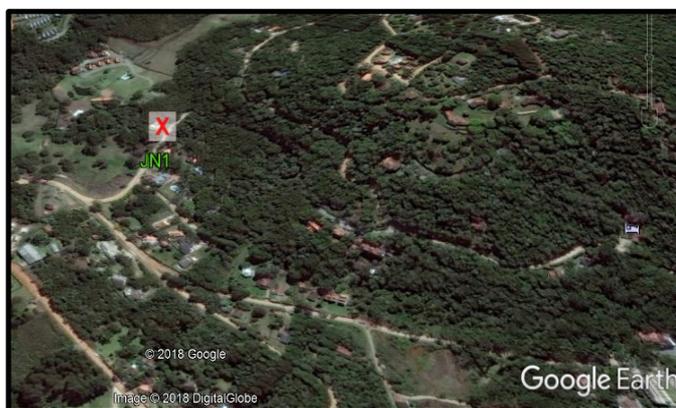


Figura 25. Ponto JN1, imagem do *Google Earth* (2018).

J1 – Na região de Monte Verde-MG, ponto na calha principal do rio Jaguari após a contribuição do JN1. Esse diferentemente do JN1 tem influência na qualidade da água das pousadas e hotéis da cidade de Monte Verde-MG. Localizado na fazenda Levantina (12.000 ha) da Companhia Florestal Melhoramentos (APA Fernão Dias), que desenvolve sua atividade de silvicultura com três principais espécies: *Eucalyptus ssp.*, *Eucalyptus grandis*, *Pinus Taeda*. Na Fazenda 52% é área de APP, reversa legal e remanescente de floresta. O ponto tem área de APP conservada e situa-se próxima aos plantios de Eucalipto e área de remanescente de floresta (Figura 26).

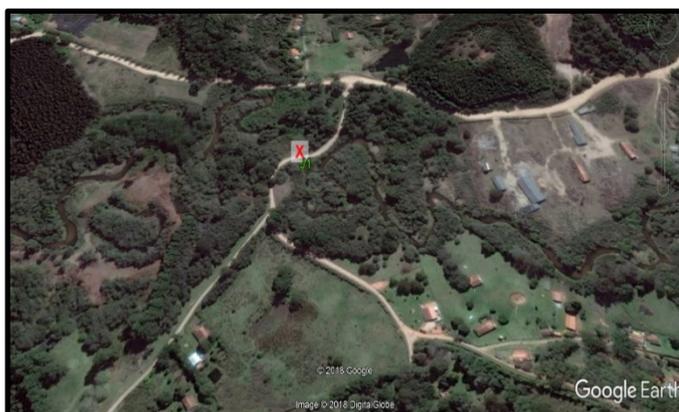


Figura 26. Ponto J1, imagem do *Google Earth* (2018).

J2 – Ponto localizado após o ponto J1 na calha principal do rio Jaguari, possui a qualidade da água influenciada pela contribuição dos plantios da fazenda Levantina e das pousadas próximas da fazenda. Tem área de APP conservada e localiza-se próximo a área de remanescente florestal (Monte Verde-MG) (Figura 27), elevação de 1254,5 m.



Figura 27. Ponto J2, imagem do *Google Earth* (2018).

J3 – Calha principal do rio Jaguari em Extrema-MG, localizada na zona rural e turística chamada de “Rota das Águas”, muito utilizada para *rafting*. O uso da terra de pastagem é dominante nessa região e a alta elevação de terreno de 1046 m, provoca a formação de corredeiras ao longo do rio, principalmente nos trechos sem sinuosidade. O fundo do rio Jaguari nessas área é pedregoso. Nesse ponto buscou-se coletar sempre antes e depois das corredeiras (Figura 28).



Figura 28. Ponto J2, imagem do *Google Earth* (2018).

J4 – Localizado na zona rural de Extrema-MG com uso da terra com predominância de pastagem, ponto na calha principal do rio Jaguari logo após o J3. Ponto com menos influência de corredeiras com elevação de 952 m,

possui área de APP com vegetação restaurada e recebe a contribuição do Ribeirão das Posses, onde desenvolveu-se o Projeto Conservador das Águas de Pagamento de Serviço Ambiental (PSA) (Figura 29).



Figura 29. Ponto J4, imagem do *Google Earth* (2018).

JT – Tributário rio Camanducaia Mineiro, ponto antes da confluência com o rio Jaguari entre o J4 e o J5, encontra-se na elevação de terreno de 888 m. Possui área de APP degradadas e drena uma microbacia com influência de rural e urbana (Figura 30).

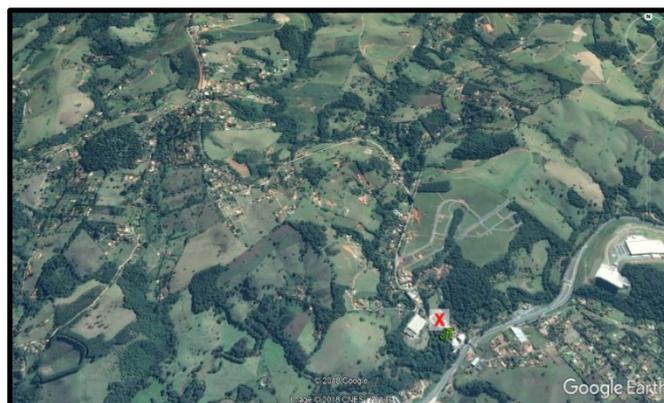


Figura 30. Ponto JT, imagem do *Google Earth* (2018).

J5 – Último ponto do rio Jaguari antes de entrar no Cantareira com elevação 863 m, localizado logo após a área urbana e parque industrial de Extrema-MG na Rodovia Fernão Dias. Possui margens com área de APP ausente e uma estação fluvioplumiométrica automática. Recebe a contribuição do tributário Camanducaia Mineiro (JT) que drena áreas urbanas (Figura 31).



Figura 31. Ponto J5, imagem do *Google Earth* (2018).

J6 – Saída secundária da Represa Jaguari/Jacareí com elevação de 811 m. A qualidade da água nesse ponto também tem contribuição do rio Jacareí. Após a saída da represa, a calha do rio Jaguari diminui de tamanho modificando alguns aspectos físicos do rio como se o rio nascesse novamente nesse ponto (Figura 32).

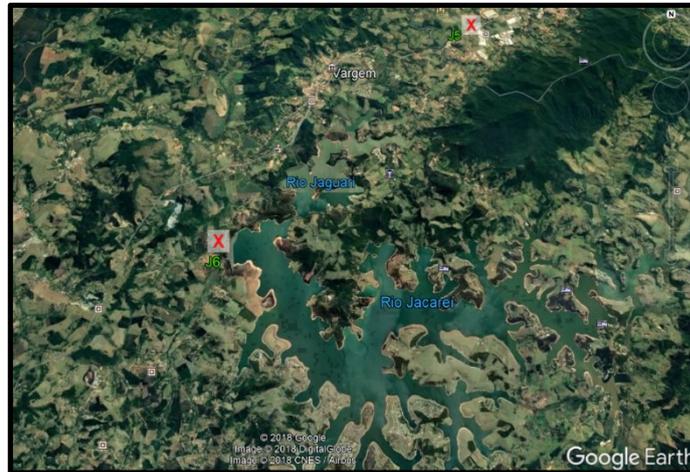


Figura 32. Ponto J6, imagem do *Google Earth* (2018).

J7 – Calha principal do rio Jaguari na área rural de Morungaba-SP, trecho com margens sem área de APP e impactado. Região com atividade de agricultura extensiva com plantio de milho, galpões de aviários e criação de porco. Nesse ponto em algumas campanhas de campo foram encontrados no fundo do rio ossos de bois e descarte de restos de peixes (Figura 33). Presença de estação fluviométrica do PCJ.

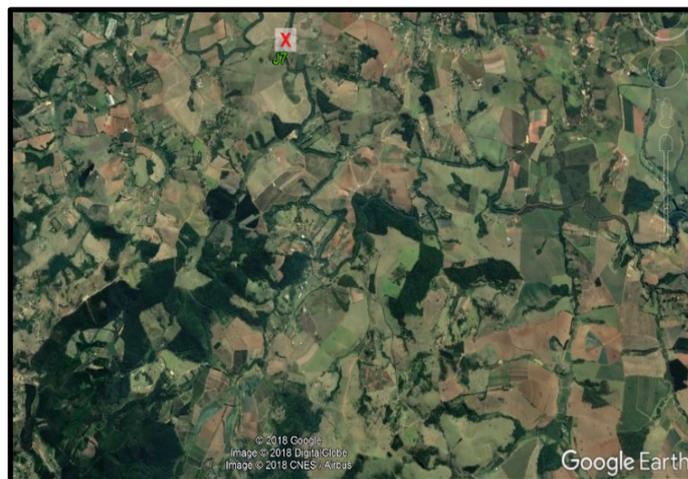


Figura 33. Ponto J7, imagem do *Google Earth* (2018).

J8 – Localizado na cidade de Pedreira-SP no centro da cidade na elevação de 591 m. Ponto na calha principal do rio Jaguari com área de APP degradada e despejo de efluente doméstico (Figura 34).

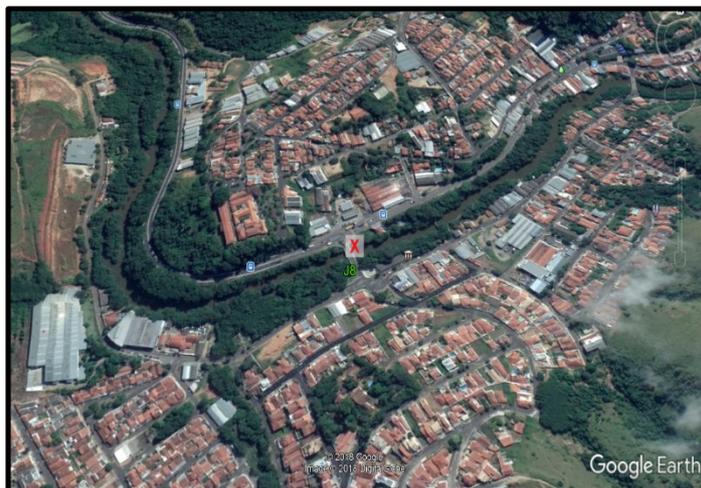


Figura 34. Ponto J8, imagem do *Google Earth* (2018).

J9 – Calha principal do rio Jaguari sob a elevação de 580 m em Jaguariúna-SP. Localizado em área urbana com vegetação ripária degradada e influência de efluentes domésticos (Figura 35).



Figura 35. Ponto J9, imagem do *Google Earth* (2018).

J10 – Rio Jaguari na elevação de terreno de 568,4 m, próximo a saída de efluente industrial na área urbana da cidade de Jaguariúna-SP, antes de receber a contribuição do rio Camanducaia. O J10 tem área de vegetação ripária degradada e influência de efluentes domésticos (Figura 36).



Figura 36. Ponto J10; destaque (círculo vermelho) para a indústria na margem; imagem do *Google Earth* (2018).

J11 – Ponto mais a jusante do rio Jaguari com elevação de terreno de 552 m em Jaguariúna-SP. Localizado em área rural longo após a contribuição do rio Camanducaia, possui área de APP degradada influência de área de cana-de-açúcar e citricultura (Figura 37).

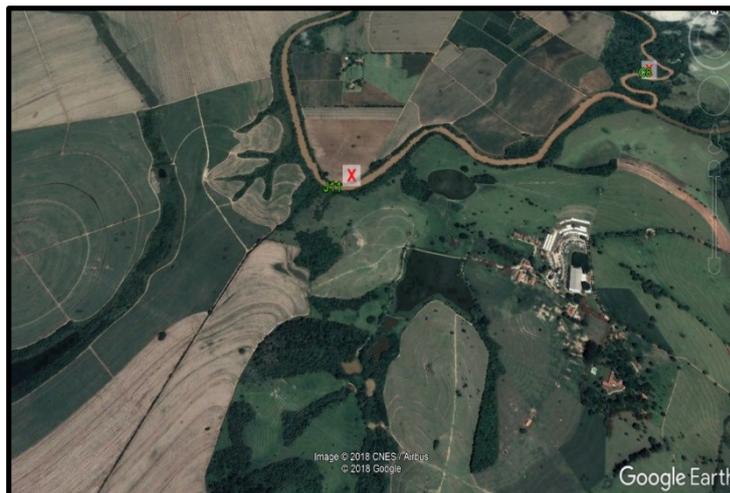


Figura 37. Ponto J10; imagem do *Google Earth* (2018).

CN1 – Afluente do rio Camanducaia em Munhoz-MG com elevação de terreno de 1216,1 m. Localizado dentro de uma fazenda a nascente em área de cabeceira fica ao lado de um curral; a área APP é degradada, o fundo do córrego é de pedra e a calha do córrego é pequena (Figura 38).



Figura 38. Ponto CN1; imagem do *Google Earth* (2018).

C1 – Afluente do rio Camanducaia em área de cabeceira com elevação de terreno de 1319,5 m. Localizado em uma propriedade privada coleta próximo de um plantio de milho e plantio de hortaliças, área de APP degradada e fundo do córrego de pedra (Figura 39).



Figura 39. Ponto C1; imagem do *Google Earth* (2018).

C2 – Calha principal do rio Camanducaia em área de cabeceira sob a elevação de terreno de 1082 m. Ponto localizado ao de um pesqueiro (pesque e pague) com influência de plantios agrícolas, principalmente, de hortaliças. Possui área de APP degradada e o fundo do córrego é pedregoso (Figura 40).



Figura 40. Ponto C2; imagem do *Google Earth* (2018).

C3 – Rio Camanducaia na divisa do estado de SP e MG sob a elevação de terreno de 1062,5 m. Ponto localizado em área com influência agrícola de horticultura com área de APP degradada e calha do rio maior que no ponto C2 (Figura 41).

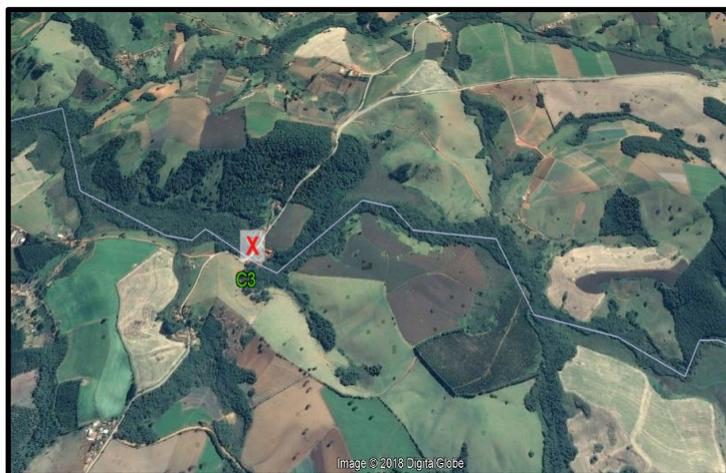


Figura 41. Ponto C3; imagem do *Google Earth* (2018).

C4 – Ponto na Calha principal do rio Camanducaia sob a elevação de terreno de 865,9 m logo após o distrito dos Mostardas. Possui área de APP degradada, plantios agrícolas próximos e granja (Figura 42).



Figura 42. Ponto C4; imagem do *Google Earth* (2018).

C5 – rio Camanducaia localizado dentro da fazenda da APTA sob a elevação de terreno de 747 m. Possui área de APP com um pequeno remanescente de floresta e influência de plantios agrícolas e toda a contribuição da parte superior da bacia (Figura 43).

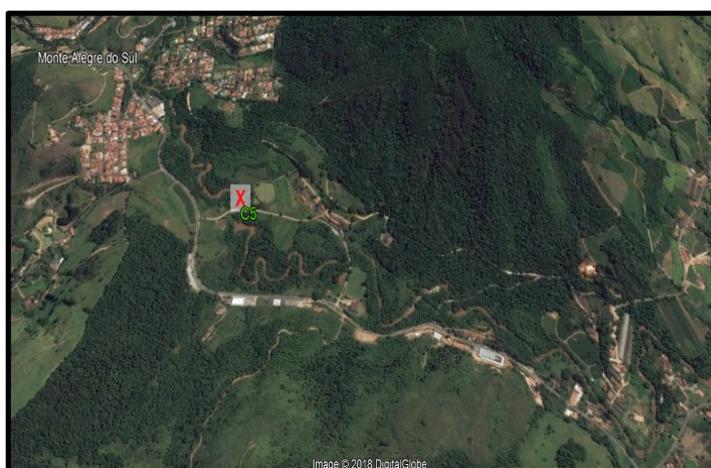


Figura 43. Ponto C5; imagem do *Google Earth* (2018).

CT – Tributário rio Mosquito sob a elevação de terreno de 730 m, localizado na confluência entre o C5 e o C6. Possui margens degradadas e influência de área rural e extração do areia do fundo do rio (Figura44).

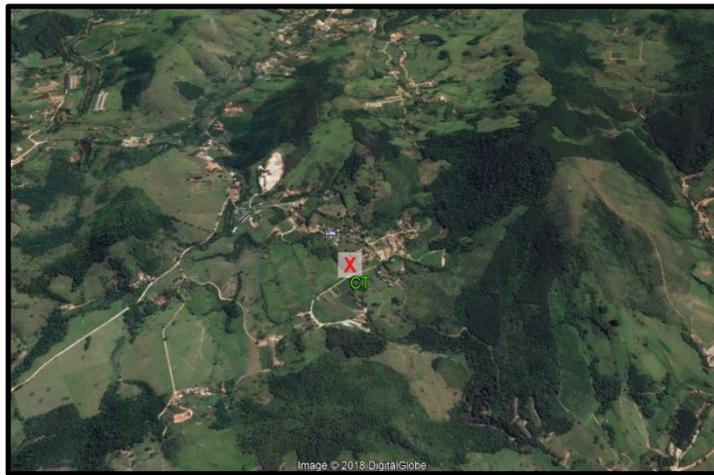


Figura 44. Ponto CT; imagem do *Google Earth* (2018).

C6 – Rio Camanducaia localizado em Amparo dentro do “Haras Hipocampo” na elevação de terreno de 677,2 m. Possui margens degradadas e influência de efluentes urbanos da cidade de Monte Alegre do Sul e distrito dos Mostardas e de áreas rurais (Figura 45).

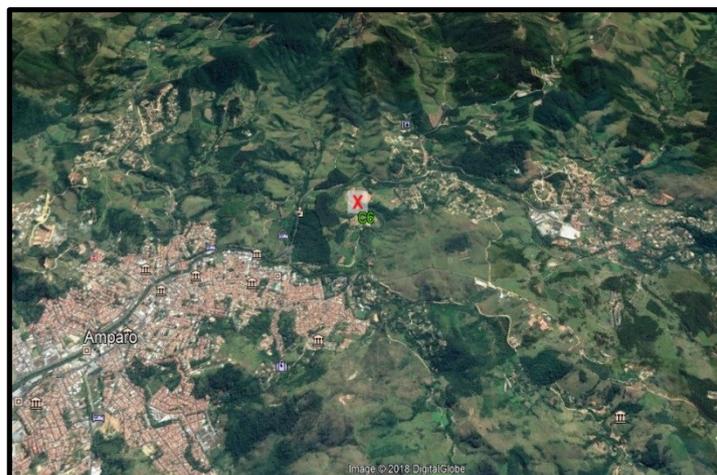


Figura 45. Ponto C6; imagem do *Google Earth* (2018).

C7 – Calha principal do rio Camanducaia localizado em Jaguariúna-SP na elevação de terreno de 573,2 m. Possui influência urbana da cidade, margens degradadas e estação fluviométrica automática no ponto (Figura 46).

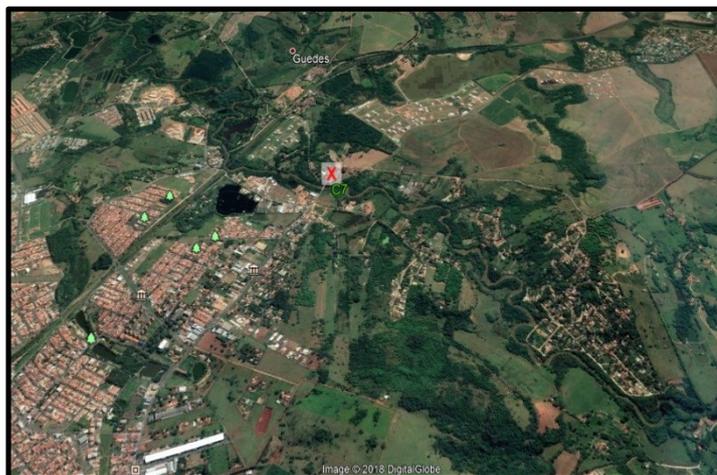


Figura 46. Ponto C7; imagem do *Google Earth* (2018).

C8- Rio Camanducaia localizado em Jaguariúna-SP, logo após um condomínio de casa, na elevação de terreno de 552,6 m, ponto anterior à confluência com o rio Jaguari. Possui influência urbana e margens degradadas (Figura 47).



Figura 47. Ponto C7; imagem do *Google Earth* (2018).