

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS DE
SISTEMAS LÓTICOS PARA O RESERVATÓRIO ITUPARARANGA,
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA (SP).**

Aluno: Yugo Matsuda

Orientadora: Professora Tit. Maria do Carmo Calijuri

**Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental
da Escola de Engenharia de São Carlos
da Universidade de São Paulo.**

São Carlos , SP

2010

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

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M434a Matsuda, Yugo
Avaliação da contribuição de sólidos suspensos de sistemas lóticos para reservatório Itupararanga, bacia hidrográfica do Rio Sorocaba / Yugo Matsuda ; orientador Maria do Carmo Calijuri. -- São Carlos, 2010.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, 2010.

1. Rios. 2. Reservatório Itupararanga. 3. Sólidos suspensos. 4. Bacia do Rio Sorocaba I. Título.

Dedico esta monografia à Profa. Tit. Maria do Carmo Calijuri por todo apoio e excelência durante todos os anos de minha graduação e na realização de minhas pesquisas.

Agradecimentos

Primeiramente à Prof^a Tit. Maria do Carmo Calijuri, pela confiança, pelo profissionalismo e excelência durante todo tempo de convívio durante mais de quatro anos de trabalhos.

À Dra. Adriana Cristina Poli Miwa, especialmente, pela dedicação, empenho, críticas e pela sempre constante disposição em demonstrar apoio durante toda a minha pesquisa e estada no BIOTACE.

Ao Dr. Rogério Herlon Furtado Freire, pela sempre atenção e ajuda fornecida, pela disponibilidade em participar da banca julgadora e acima de tudo por incentivar minhas decisões referentes a vida profissional.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de iniciação científica (Processo n° 09/52056-4).

A toda a equipe do Projeto Temático (Processo Fapesp 08/55636-9): “Contribuição ao conhecimento do ciclo do carbono no reservatório de Itupararanga como subsídio para a sustentabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba (SP)”, que agregou pesquisadores de diversas instituições, a citar: Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), Universidade Federal de São Carlos-Campus Sorocaba (UFSCar), Universidade Paulista Estadual de São Paulo (UNESP) e Universidade Federal do ABC (UFABC).

Ao Davi Gasparini Fernandes Cunha por mostrar quão fascinante pode ser a vida acadêmica com suas descobertas e acima de tudo pela amizade durante todo o percurso de minha vida acadêmica.

A todos os colegas do laboratório Biotace: Caroline Gomes da Cunha, Flávia Bottino, Ive Ciola Ferraz, Lucas Simão Freitas Pena, Natália Furlan, Patrícia Bortoletto de Falco, Paulo Vagner dos Santos, Roseli Frederigi Benassi, Raquel de Rossi, Simone Pereira Casali e Thaís Espinossi Fontanello pela dedicação à pesquisa e pela competência nas mais diversas atividades desenvolvidas em conjunto. Em especial, agradecimento à Luci Aparecida Queiroz, técnica do laboratório, pela sempre e constante disponibilidade em ajudar e ensinar, desde a minha chegada ao Biotace, um pouco daquilo que a faz uma exímia profissional fundamental às pesquisas desenvolvidas.

Aos técnicos ‘Miro’ (Waldomiro Antônio Filho) e ‘Betão’ (José Roberto Maramarque) e ao motorista ‘Benê’ (Benedito Patracon), pelo fundamental papel na aquisição de amostras

para as pesquisas e mais que isso: pelo ensino de técnicas para “dar nó de escoteiro” e pela amizade e respeito sempre demonstradas.

À Luciana Yumi Koga pelo seu apoio e fundamentalmente sua inigualável amizade em minha vida.

À meus pais, Tsuyoshi Matsuda e Akiko Endo Matsuda, e minha irmã, Tiemi Matsuda, pelo apoio constante por realizarem aquilo que acredito ser o papel de toda família: os melhores e maiores amigos de minha vida. Agradeço por sempre me incentivarem em minha jornada na faculdade e por darem valor, acima de tudo, à minha formação pessoal durante toda a minha existência. Obrigado por serem a referência de caráter e ser humano que admiro e me espelho como pessoal e futuramente profissional de engenharia do ambiente.

A coisa mais injusta sobre a vida é a maneira como ela termina.

Eu acho que o verdadeiro ciclo da vida está todo de trás pra frente.

Nós deveríamos morrer primeiro, nos livrar logo disso.

Daí viver num asilo, até ser chutado pra fora de lá por estar muito novo.

Ganhar um relógio de ouro e ir trabalhar.

Então você trabalha 40 anos até ficar novo o bastante pra poder aproveitar sua

aposentadoria.

Aí você curte tudo, bebe bastante álcool, faz festas e se prepara para a faculdade.

*Você vai para colégio, tem várias namoradas, vira criança, não tem nenhuma
responsabilidade, se torna um bebezinho de colo, volta pro útero da mãe, passa seus últimos*

nove meses de vida flutuando.

E termina tudo com um ótimo orgasmo! Não seria perfeito?

- Charles Chaplin

Lista de Figuras

Figura 1 - Classificação de tipos de sólidos por tamanho da partícula (μm).	7
Figura 2 - Localização do reservatório Itupararanga na Bacia do rio Sorocaba (SP)	12
Figura 3 – Imagens dos locais de amostragem: Rio Una (P1) (a), Rio Sorocabuçu (P2)(b), Rio Sorocamirim (P3)(c), junção dos rios (P4)(d) e rio Sorocaba(P5)(e).....	19
Figura 4 – Localização ilustrativa das estações amostrais. Adaptado de Sardinha et al. (2008)	20
Figura 5 - Precipitação mensal (mm) junto à barragem do Reservatório Itupararanga. Linhas contínuas: meses de coleta.....	21
Figura 6 - Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) nas quatro coletas amostrais no reservatório Itupararanga.	22
Figura 7 – Concentrações de sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos inorgânicos (SSI) e sólidos suspensos orgânicos (SSO) (mg.L^{-1}) nas diferentes estações de coleta nas amostragens no reservatório Itupararanga.	24
Figura 8 - Composição de SSI e SSO (%) em função de SST nas diferentes estações de coleta nas quatro amostragens no reservatório Itupararanga.	25
Figura 9 - Dispersão de concentração de sólidos suspensos totais por vazão dos rios afluentes ao reservatório Itupararanga	29
Figura 10 – Concentrações de fósforo total (mg.L^{-1}) nas diferentes estações nas quatro amostragens no reservatório Itupararanga.....	33
Figura 11 - Dispersão de concentração de fósforo total por vazão dos rios afluentes ao reservatório Itupararanga.....	35
Figura 12 – Turbidez nas diferentes estações de coleta nas quatro amostragens no reservatório Itupararanga.....	37
Figura 13 – Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) nas diferentes estações de coleta nas quatro amostragens no reservatório Itupararanga.....	40
Figura 14 – Correlação de sólidos suspensos totais e vazão referente aos dados de P1 a P4, no período amostral no reservatório Itupararanga.....	42
Figura 15 - Correlação de sólidos suspensos totais e vazão referente aos dados de P5, no período amostral no reservatório Itupararanga.....	43
Figura 16 – SST (mg.L^{-1}) e vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) do rio Sorocabuçu referente às quatro amostragens no reservatório Itupararanga.....	44
Figura 17 – Correlação de SST e turbidez no sistema de rios tributários ao reservatório Itupararanga.....	45

Figura 18 – Correlação de PT e turbidez no sistema de rios tributários ao reservatório Itupararanga.....	45
Figura 19 – Concentrações e percentuais de Sólidos Suspensos Orgânicos (SSO) e Inorgânicos (SSI) referentes a estação de amostragem próxima a barragem.....	46

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Critérios analíticos para o coeficiente “b”.....	8
Tabela 2 - Características gerais do reservatório Itupararanga.....	11
Tabela 3 – Uso e ocupação na área de entorno ao reservatório Itupararanga	13
Tabela 4 – Localização geográfica das estações amostrais	18
Tabela 5 - Dados de SST e vazão dos rios estudados.....	30
Tabela 6 – Balanço de massa de sólidos suspensos totais no reservatório Itupararanga.....	32
Tabela 7 – Balanço de massa de fósforo total no reservatório Itupararanga.....	36

RESUMO

MATSUDA, Y. **Avaliação da contribuição de sólidos suspensos de sistemas lóticos para o reservatório de Itupararanga, bacia hidrográfica do rio Sorocaba (SP)**. Monografia apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. 61f.

A bacia do rio Sorocaba, interior do estado de São Paulo, caracteriza-se por significativa ocupação humana e atividades agropecuárias em larga escala. Ainda, nessa bacia localiza-se o reservatório Itupararanga e os rios Sorocamirim, Sorocabuçu, Una e Sorocaba, objetos de pesquisa deste estudo. Inserido no projeto temático intitulado: “Contribuição ao conhecimento do ciclo do Carbono no reservatório Itupararanga como subsídio para a sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Sorocaba (SP)”, (processo FAPESP nº: 08/55636-9), esta pesquisa avaliou variáveis físicas, químicas e climatológicas na área de influência desses rios e do reservatório, com enfoque no transporte e balanço de massa de sólidos em suspensão. Assim, os resultados obtidos poderão promover e fomentar a melhor compreensão das interações existentes na bacia hidrográfica, a qual agrega componentes naturais e antropizados, subsidiando planos de gestão e manejo que visem a melhoria da qualidade ambiental e a sustentabilidade da bacia do rio Sorocaba. Foram realizadas quatro amostragens: agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro de 2010. As variáveis sólidos suspensos totais (SST), inorgânicos (SSI) e orgânicos (SSO), fósforo total (PT), condutividade elétrica e turbidez foram avaliadas de acordo com APHA (2005) e apresentaram máximos de, respectivamente: 80,7 mg.L⁻¹ (dezembro/09), 60,9 mg.L⁻¹ (dezembro/09), 19,8 mg.L⁻¹ (dezembro), 0,21 mg.L⁻¹ (agosto), 231,0 µS.cm⁻¹ (agosto/09) e 234,0 UT (dezembro/09). Observou-se que o regime pluviométrico influenciou diretamente as oscilações das concentrações de sólidos suspensos e fósforo nos rios, os quais aportaram 1624 ton de sólidos e 5,9 ton de fósforo para o reservatório Itupararanga por mês. Constatou-se também que o reservatório Itupararanga é retentor de sólidos e fósforo. Ainda, foram propostos modelos matemáticos de predição de concentração de sólidos e fósforo total para o sistema tributário de rios ao reservatório Itupararanga a partir da turbidez.

Palavras chave: rios, reservatório Itupararanga, sólidos suspensos, Bacia do rio Sorocaba.

ABSTRACT

MATSUDA, Y. **Assessment of the contribution of suspended solids of lotic systems for Itupararanga reservoir, Sorocaba watershed (SP)**. Course Conclusion Monograph , Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. 61s.

The Sorocaba River watershed, located in state of Sao Paulo, is characterized by significant human occupation and agricultural activities in large scale. Still, in this watershed locates the Itupararanga reservoir and the Sorocamirim, Sorocabaçu, Una and Sorocaba rivers, research subjects of this study. Uploaded on thematic project entitled " Contribution to carbon cycle in Itupararanga reservoir as subsidy for sustainability in Sorocaba watershed, São Paulo, Brazil.", (process FAPESP n°: 08/55636-9), this research assessed the physical, chemical and weather variables in the area of influence of these rivers and the reservoir, focusing on transport and mass balance of suspended solids. The results can promote and foster better understanding of the interactions existing in the watershed, which combines natural and anthropogenic components, supporting management plans and aimed for improving environmental quality and sustainability of the Sorocaba River watershed. Four samples were taken: August, October and December 2009 and February 2010. The variables total suspended solids, inorganic and organic, total phosphorus, conductivity and turbidity were evaluated according to APHA (2005) and had maximum, respectively: 80,7 mg.L⁻¹ (December/09), 60,9 mg.L⁻¹ (December/09) , 19,8 mg.L⁻¹ (December), 0,21 mg.L⁻¹ (August), 231,0 µS.cm⁻¹ (August/09) e 234,0 UT (August/09). It was observed that the rainfall pattern directly influenced on the variation of the concentrations of suspended solids and phosphorus in rivers, which carried approximately 1624 tons of solids and 5.9 tons of phosphorus to the Itupararanga reservoir per month. It was also found that the Itupararanga reservoir is a solids and phosphorus retainer. Beyond, mathematical models was proposed to predict solids concentration and total phosphorus from turbidity to the system of rivers which tributary to the Itupararanga reservoir.

Key-Words: rivers, Itupararanga reservoir, suspended solids, Sorocaba River watershed.

Sumário

Lista de Figuras.....	i
Lista de Tabelas.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1. <i>Área de Estudo</i>	10
4.2. <i>Amostragem - Variáveis Físicas, Químicas e Hidrológicas</i>	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1. Descrição dos pontos de amostragem	17
5.2. Dados climatológicos	20
5.3. Vazão	21
5.4. Sólidos suspensos	23
5.5. Balanço de massa para sólidos suspensos.....	28
5.6. Fósforo total	32
5.7. Balanço de massa para fósforo total	34
5.8. Turbidez	36
5.9. Condutividade elétrica	39
5.10. Análise estatística das variáveis estudadas.....	41
6. CONCLUSÃO.....	48
7. BIBLIOGRAFIA	49

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios para a humanidade hoje presente e, sem dúvida alguma, persistirá futuramente é a utilização racional dos corpos de água e uma maior preservação com relação ao aspecto qualitativo como forma de atender a todo e quaisquer tipos de uso. Para tanto, faz-se necessário o melhor conhecimento dos processos físicos, químicos, biológicos e suas interações nos ecossistemas como forma de melhor compreender seu funcionamento, o que pode subsidiar a implementação de medidas de gestão adequadas dos recursos hídricos.

A água é essencial a qualquer tipo de existência de vida. O Brasil apresenta elevada disponibilidade de água, seja através de rios ou de reservas subterrâneas. Considerada um recurso ou bem econômico devido ao caráter finito e vulnerável, a água é essencial para a conservação da vida. É também um recurso ambiental, pois qualquer alteração adversa que degrade rios e reservatórios, afeta direta ou indiretamente toda e qualquer atividade da fauna e flora (BORSOI e TORRES, 1997).

Segundo Porto, Branco e Luca (1991), os ecossistemas aquáticos lóticos mantêm profunda interação tanto com a atmosfera quanto com os ecossistemas circundantes e é também um importante corredor de transporte de energia com uma rica e peculiar comunidade. Assim, para uma compreensão mais completa sobre as causas de prováveis impactos e modificações (com relação às condições naturais) devem os estudos contemplar o entorno dos rios.

No Brasil, estima-se que o abastecimento humano consuma 8% de água, a indústria 23%, e a irrigação 69% (BNDES, 2009). Dessas atividades, originam-se processos de poluição dos recursos hídricos tais como: - o lançamento de efluentes domésticos o qual pode provocar poluição orgânica e bacteriológica, alterando variáveis como temperatura e pH ; - a irrigação, que pode promover a contaminação do solo e de águas continentais por agrotóxicos e fertilizantes carregados para os corpos hídricos e percolados até o lençol freático; - e a indústria, que lança produtos químicos diversos, muitas vezes sem tratamento, comprometendo o metabolismo dos ecossistemas aquáticos (BRAGA et al., 2002).

Rios transportam matéria orgânica dissolvida e particulada, nutrientes dissolvidos e adsorvidos e assim podem contribuir para a eutrofização dos reservatórios em que deságuam.

Assim sendo, o controle da poluição da água se faz necessário e crucial para assegurar e manter níveis de qualidade hídrica compatíveis com sua utilização. Com isso, é de suma importância conhecer e identificar o impacto sobre o corpo hídrico e as características intrínsecas do mesmo, a fim de monitorar as variáveis específicas que irão expressar suas características qualitativas. Essa compreensão é fundamental para a seleção das variáveis indicadoras a serem monitoradas, assim como de sua periodicidade e sazonalidade (LIMA e ZAKIA, 1998). Qualidade de água não se refere a tratar ou manejar um meio lótico para que este atinja seu estado puro, mas sim o padrão mais próximo possível do natural, tal como era antes do contato com o homem (PORTO, BRANCO e LUCA, 1991).

Esta pesquisa, inserida no projeto temático “Contribuição ao conhecimento do ciclo do Carbono no reservatório Itupararanga como subsídio para a sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Sorocaba (SP), processo FAPESP nº:08/55636-9, avaliou o aporte e transporte de sólidos suspensos nos rios Sorocamirim, Sorocabuçu, Uma e Sorocaba, inseridos na Bacia do rio Sorocaba.

2. OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar o aporte e transporte de sólidos em suspensão (total, orgânico e inorgânico), nos rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim que formam o reservatório Itupararanga e no rio Sorocaba, a jusante deste. Para isso foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliar a precipitação pluviométrica durante o ciclo hidrológico e identificar os fatores responsáveis pelo aporte de sólidos em suspensão nos rios.
- b) Medir a vazão dos rios formadores do reservatório bem como o rio a jusante da barragem;
- c) Avaliar variáveis físicas e químicas da água dos rios: sólidos em suspensão, turbidez, fósforo total e condutividade elétrica.
- d) Avaliar o balanço de importação e exportação de sólidos e fósforo total no reservatório, considerando-o como uma “caixa preta”.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para compreender o comportamento de qualquer espécie ou de um determinado local, fundamentalmente precisa-se entender a unidade básica de qualquer estudo ambiental/ecológico: o ecossistema. Segundo Odum (1988), ecossistema é a unidade fundamental básica na ecologia que engloba todos os seres bióticos e fatores abióticos da sua área de domínio. O autor define também que estes indivíduos possuem relação interdependente e interativa o que proporciona o fluxo de energia e permite que se defina uma estrutura da biota (energética), bem como a ciclagem de materiais entre os seres vivos e não vivos.

Um aspecto intrínseco de ambientes lóticos, na concepção ecológica, é o conceito de *river continuum* (“contínuo fluvial”) de Vannote et al. (1980). Segundo os autores, os rios apresentam gradientes contínuos, característicos de cada segmento transversal ao longo do eixo longitudinal, desde a nascente até a sua desembocadura ou foz, com relação às variáveis físicas (largura, profundidade, vazão, temperatura, variação de entropia, declividade, entre outros). Esses gradientes geram alterações nas comunidades biológicas, as quais se adaptam de forma a otimizar a utilização e o armazenamento de matéria orgânica ao longo do perfil longitudinal, com menor gasto energético possível.

Ao longo desse gradiente, devido ao contato constante com ecossistemas circundantes ao leito, há uma intensa interação entre o meio lótico e o exterior, que acaba por gerar modificações na comunidade aquática (SIOLI, 1978). Ou seja, suas características não são regidas apenas por agentes internos, mas também por aquilo que o circunda: a bacia hidrográfica na qual o rio se insere. De acordo com Porto, Branco e Luca (1991), em leitos não muito profundos e com turbulência moderada a alta, considera-se que praticamente há uniformidade na coluna de água com relação às variáveis físicas e químicas decorrentes de sua alta taxa de mistura. Já a velocidade exerce papel significativo quando em altas intensidades, uma vez que carreará significativa parcela da comunidade livre do rio, reduzindo-a a apenas organismos fixos no leito, resistentes à força hídrica (VANNOTE, op cit.).

Em contrapartida ao conceito de *River continuum*, o conceito de Descontinuidade Serial, de Ward e Stanford (1983), propõe que o represamento rompe o gradiente do rio natural, produzindo conseqüentemente mudanças longitudinais. Ou seja, segundo o conceito,

em processos bióticos e abióticos, tanto a montante quanto a jusante de uma barragem há mudanças significativas “sendo que a direção e a extensão do deslocamento dependem da variável de interesse em relação à posição do represamento ao longo do Continuo Fluvial” (CALIJURI e BUBEL, 2006).

Porém, todo este conceito sofre alterações quando há um desequilíbrio, geralmente de origem antrópica, seja oriundo do aporte de elevada carga orgânica ao leito ou ocasionado pelo lançamento de substâncias químicas diversas. O desenvolvimento da agricultura é um exemplo, uma vez que fertilizantes sintéticos e agrotóxicos usados de forma inadequada acabam por poluir águas dos rios, intoxicando seres vivos e provocando, em certas condições, efeitos cumulativos nos mesmos (GADELHA et al., 2002).

Assim, processos característicos de uma área, sejam eles geológicos, geomorfológicos, hidráulicos, hidrológicos, químicos e biológicos acabam por tornar os rios sistemas bastante individualizados quanto as suas características e comportamento.

Os reservatórios são passíveis de sofrerem influências análogas às apresentadas pelos rios. O território brasileiro possui vasto número de reservatórios principalmente com o objetivo de gerar energia, papel que exerce função fundamental gerando 95% de toda energia elétrica consumida no país (BRASIL, 2008). Esses sistemas apresentam vasta complexidade como ecossistema com suas características intrínsecas, classificados como um sistema híbrido entre rios e lagos. Para estudos ambientais, representam grandes desafios para pesquisa uma vez que o padrão de funcionamento, como alteração do fluxo de água ou tempo de detenção, pode ser alterado modificando todo o comportamento do mesmo tais como: variações físicas e químicas da água e sedimento, extinção de espécies, bem como interações existentes entre tais fatores (THORNTON et al., 1990).

A água doce constitui apenas uma fração (cerca de 0,01%) do volume total de água existente no mundo, cuja degradação causada por problemas de poluição tem agravado as dificuldades para seu aproveitamento e intensificando sua escassez. Neste escopo, o fenômeno físico de precipitação pluviométrica exerce função contribuinte para o aumento da disponibilidade hídrica nos continentes, deslocando a umidade proveniente dos oceanos.

A precipitação pluviométrica possui a característica peculiar de ser um dos elementos mais instáveis e imprevisíveis (BURIOL et al, 2006) quando se trata de fenômenos meteorológicos, tanto na sua frequência de ocorrência quanto na sua intensidade. Na bacia hidrográfica, segundo Porto, Branco e Luca (1991), parte da água infiltra-se e atinge os lençóis subterrâneos. Parte evapora e outra fração escoar. De acordo com Tucci (2002), dependendo da morfologia da área, tais fatores terão comportamentos e conseqüências ao

local distintas, tais como: carreamento de nutrientes aos corpos hídricos, processos erosivos, mudança na cobertura vegetal entre outros.

Ainda segundo Tucci (op cit.), a chuva altera diretamente a umidade, temperatura e fisiologia do local, fato definido como “variabilidade hidrológica”. Esta variabilidade inclui as alterações que possam ocorrer nas entradas e saídas dos sistemas hidrológicos. As principais entradas são a precipitação e a evapotranspiração, que depende de outras variáveis climáticas, enquanto que as principais variáveis de saída são o nível e a vazão de um rio.

O aporte de águas pluviais ao leito de um rio altera o comportamento da biota local, podendo ter seu efeito propagado a jusante, pela presença de diversos agentes químicos orgânicos e inorgânicos carreados pela chuva tais como: compostos com sódio, potássio, magnésio, cálcio, cloro, diversas formas de íons contendo enxofre, nitrogênio, entre outros. Também há elementos traços presentes tais como chumbo, cobre, arsênico, manganês e uma vasta gama de compostos orgânicos característicos de cada área. Estes, por sua vez, são oriundos da decomposição de elementos vegetais e animais ou mesmo advindos de áreas com resíduos agrícolas, despejo de efluentes domésticos e industriais que podem conter ácidos húmicos e compostos sintéticos, como detergente, pesticidas e solventes.

Função também da composição hídrica modificadora das características dos rios é a vazão, definida como volume de água que flui, através de uma seção transversal, por unidade de tempo. Sua variação está, geralmente, associada à ocorrência de precipitação. Espera-se que rios que sofreram pouca interferência antrópica apresentem velocidade de escoamento diminuta e vazão crescente ao longo do eixo longitudinal, da cabeceira à foz. Este fato é intuitivo baseando-se em que, geralmente, os rios apresentam declividades menores junto à foz do que nas áreas de nascente, e que o número de afluentes aumenta ao longo deles (VANNOTE et al, 1980).

Na ocorrência de precipitação pluviométrica, há também processos de percolação e “lavagem” do solo, por meio dos quais, por gravidade, ocorre carreamento de água e minerais do solo aos corpos hídricos, incluindo substâncias inorgânicas e orgânicas, como, por exemplo, resíduos agrícolas. Os organismos vivos no ambiente lótico também alteram a composição química e biológica do meio através de seu metabolismo. Variações de pH, oxigênio, nitrogênio, entre outros, são influenciadas pelas características dos organismos ali presentes e, portanto, pela cadeia alimentar atuante (ESTEVEZ, 1988).

Um grave problema identificado nas áreas que compreendem a região de entorno do leito do rio, seja por ocupação antrópica, agrícola ou exploração de recursos naturais, é a retirada da vegetação ciliar de rios, lagos ou reservatórios e de nascentes. Essa vegetação se

comporta como uma barreira natural, impedindo o aporte de substâncias químicas e processos erosivos às margens dos rios, além de diminuir a infiltração do escoamento superficial. Com isso, ocorrem processos de assoreamento de rios de dimensões variadas com prováveis ocorrências de inundações e enchentes, o que vai depender das condições topográficas do local, da constituição do solo, da intensidade pluviométrica e da quantidade hídrica que infiltra (CALLISTO, MORENO e GONÇALVES, 2002).

O transporte dos sedimentos erodidos pode ocorrer por: carga sólida de arraste, carga sólida saltante e carga sólida em suspensão. O transporte de sedimentos em suspensão acarreta aumento no custo de tratamento da água para consumo, aumento da turbidez, redução da penetração de raios de luz, o que impede a fotossíntese e diminui a zona eufótica e pode diminuir a profundidade do canal após sedimentação. O depósito de sedimentos pode, em outros casos, reduzir a vida útil de um reservatório, provocar enchentes, assorear canais prejudicando a navegação, irrigação, lazer e flora e fauna locais. Ainda, essa influência pode também ser observada em relação aos sólidos suspensos totais que possui importante papel no transporte de metais pesados, e diversos outros contaminantes ao longo do sistema lótico (MEYBECK e RAGU, 1997; MEYBECK et al., 1999; NÉGREL e GROSBOIS 1999; MEYBECK et al., 2004). Entretanto, os sedimentos também podem trazer benefícios, tais como: obtenção de materiais ou minérios, aproveitamento de depósitos ricos em nutrientes para uso em plantações, e veículo de matéria orgânica e microrganismos que equilibram a fauna fluvial (AGOSTINHO et al., 1997; RIBEIRO FILHO, 2006).

Em relação ao tamanho de seu diâmetro (Figura 1), os sólidos podem ser classificados como: sedimentáveis, em suspensão e dissolvidos. Os primeiros são subdivididos em sedimentáveis e não sedimentáveis. Sedimentáveis são aqueles que se depositam após o meio líquido estar em repouso por 1h. A diferenciação de dissolvidos e em suspensão é feita através de uma membrana com espaçamento de 1,2 μm de porosidade. Ou seja, qualquer substância que o atravessa classifica-se como dissolvida e, o restante, em suspensão (PORTO, BRANCO e LUCA, 1991).

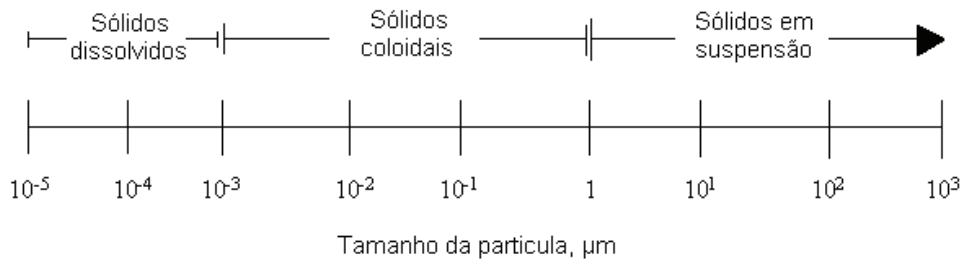


Figura 1 - Classificação de tipos de sólidos por tamanho da partícula (µm).

Fonte: Porto, Branco e Luca (1991)

No aspecto físico, como observado por Agostinho et al. (1997), quão menor for a concentração de sólidos em suspensão, maior será a transparência da água. Também conforme observou Ribeiro Filho (2006) e Wetzel (1991), as variáveis sólidos suspensos e turbidez, quando significativas, influenciam a transparência aquática uma vez que esta expressa, em medida (geralmente em UT), a perda de penetração da luz no ambiente, sendo o reflexo de todo o material orgânico e inorgânico em suspensão na água na forma de partícula.

Outro aspecto a ser considerado é o químico. Esse é subdividido em sólidos voláteis e fixos. Voláteis são aqueles que se volatilizam a temperaturas inferiores a 65°C (VON SPERLING, 1995), e, segundo Porto, Branco e Luca (1991), “é impreciso caracterizar esses sólidos voláteis como orgânicos, pois existem alguns sais minerais que se volatilizam a essas temperaturas”.

A quantidade de sólidos suspensos nos rios diminui consideravelmente em períodos de seca, quando o aporte hídrico junto a estes corpos de água é menor, o que diminui a entrada de sólidos e também a mobilização do sedimento (ESTEVES, 1988). Em território nacional, há predominância de rios com carga em suspensão superior à dissolvida, fato que se intensifica em períodos chuvosos (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Apesar das diferenças físicas e dos prováveis impactos sofridos, os reservatórios podem atuar na captura de sedimento provenientes de rios afluentes, depositando partículas de rochas e materiais biológicos, tanto de origem alóctone como autóctone. Segundo Carvalho (1994), os processos que levam tais partículas aos reservatórios, além de distribuí-las, depositá-las e ressuspendê-las, são promovidos por agentes meteorológicos, condições de entorno de rios tributários e pelas correntes presentes no mesmo. No Brasil, estudos acerca do transporte de matéria particulada e dissolvida foram realizados na bacia do rio Amazonas (RICHEY et al., 1990), alguns tributários do rio Madeira (MARTINELLI et al, 1988) e nos

rios Paraná e Ivinheima (THOMAZ et al., 1992). No estado de São Paulo também há estudo publicado por Henry e Gouveia (1993) em rios na bacia do Alto Paranapanema abordando o tema. Dentre os processos de transformação das partículas destacam-se: precipitação, mineralização, decomposição, dissolução, adsorção, coagulação, degradação bacteriana e sedimentação. Esse último atua como um dos processos fundamentais e cruciais no metabolismo geral dos reservatórios. De acordo com Wetzel (1983), a sedimentação influencia diretamente na regeneração de nutrientes superficiais (epilímnio) e também promove o aumento de matéria particulada junto ao fundo do reservatório. Também é responsável pelo processo de eutrofização uma vez que durante tal processo ocorre a decomposição de matéria orgânica previamente transportada adentro do reservatório, consumindo o oxigênio disponível e liberando nutrientes (WETZEL, op cit.).

Uma das formas de se avaliar o transporte de sólidos suspensos em função da vazão é através da equação: $L = a.Q^b$ utilizada por Lewis e Saunders (1989) e Henry, Santos e Camargo (1999), onde L representa o transporte (massa por tempo), Q a Vazão e “a” e “b” são constantes. A interpretação do modelo dá-se através do coeficiente “b”, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios analíticos para o coeficiente “b”

b=1,0	Concentrações não apresentam alterações.
b>1,0	Concentrações aumentam com o aumento das vazões de água.
0,01,0	Concentrações diminuem com o aumento das vazões de água, o que corresponde a um efeito de diluição.
b<0,0	Concentrações diminuem numa taxa mais rápida que o aumento correspondente o das vazões. Portanto, o transporte diminui com o aumento da Vazão o que corresponde a um efeito de conservação.

Adaptado de Henry, Santos e Camargo (1999).

A condutividade elétrica e o fósforo total exercem papel importante dentre as diversas variáveis responsáveis pela qualidade da água segundo a resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Capaz de revelar alterações na qualidade de água, a condutividade elétrica é a medida da capacidade de conduzir corrente elétrica em meio aquoso, sendo diretamente proporcional à concentração e ao tipo de íon e, portanto, determinada na presença de substâncias

dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Destes, o cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonatos, sulfatos e cloretos são os principais íons responsáveis pela condutividade elétrica da água (WETZEL e LIKENS, 1991). Genthner, Ferrari e Karmann (2003) puderam constatar isso em áreas carbonáticas de Lajeado, Bombas e Iporanga (SP) quando, em concentrações significativas de íons de cálcio proveniente das rochas locais, a condutividade da água era alterada significativamente (PORTO, BRANCO e LUCA, 1991). Em regiões tropicais (como o Brasil), a condutividade elétrica está mais intimamente relacionada com as peculiaridades geoquímicas da região e com suas condições climáticas, além do estado trófico de ambientes aquáticos.

O fósforo participa de uma vasta gama de reações metabólicas. É apontado como o principal fator para a eutrofização artificial de meios aquáticos naturais. Segundo Wetzel (1983), em comparação com a riqueza natural disponível entre os principais compostos nutricionais e estruturais da biota (carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre), o fósforo é o menos abundante, sendo o principal fator limitante para a produção biológica de uma comunidade.

A fonte natural mais comum que contribui para o aumento das concentrações fosfatadas em rios está presente no substrato rochoso da bacia de drenagem. Assim, a desagregação de partículas por processos de intemperismo e posterior carreamento por escoamento superficial e subsuperficial levam, aos ecossistemas aquáticos continentais, partículas fosfatadas basicamente sob duas formas predominantes: solúvel e adsorvido às argilas, mais comum (WOOD, HEATHWAITE e HAYGARTH, 2005). Em locais de clima tropical, esta última se faz predominante devido à intensidade pluviométrica que propicia, conseqüentemente, maior aporte de fósforo aos rios. Fontes naturais secundárias de fósforo são representadas por matéria orgânica alóctone decomposta que chega ao leito, particulado presente na atmosfera, fontes artificiais, efluentes domésticos, agrícolas e industriais (ESTEVES, 1988; WETZEL, 1983). Porém, de fonte secundária, elas podem se tornar primárias advindas de massiva ocupação industrial ou de agricultura, o que ocasionará maior entrada alóctone, seja através da atmosfera ou escoamento superficial, de fosfatos agregados aos produtos utilizados ou expelidos por tais atividades, tornando-se, assim, a principal fonte de fósforo para o meio aquático (BRAGA et al., 2002).

Assim, nesta pesquisa foram avaliados diversos fatores que podem influenciar no transporte de partículas em suspensão nos rios, como: precipitação pluviométrica e vazão, lançamento de efluentes domésticos e industriais (legais ou não); uso da área circundante aos rios; mata ciliar e criação animal no entorno. Esses fatores podem alterar as características do

sistema aquático e auxiliaram nas conclusões e recomendações sobre a magnitude dos impactos gerados por tais atividades nesta área de estudo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A bacia do rio Sorocaba está localizada na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) número 10, denominada Sorocaba médio-Tietê, abrangendo os municípios de: Alambari, Alumínio, Anhembi, Araçariguama, Araçoiaba da Serra, Bofete, Boituva, Botucatu, Cabreúva, Capela do Alto, Cerquilha, Cesário Lange, Conchas, Ibiúna, Iperó, Itu, Jumirim, Laranjal Paulista, Mairinque, Pereiras, Piedade, Porangaba, Porto Feliz, Quadra, Salto de Pirapora, São Roque, Sarapuí, Sorocaba, Tatuí, Tietê, Torre de Pedra, Vargem Grande Paulista e Votorantim (SEMA, 2007). São oito os reservatórios instalados nessa UGRHI, sendo que os maiores são: Itupararanga, Rasgão, Porto Góes e Barra Bonita.

Localizada na porção sudeste do Estado de São Paulo, a área de estudo (Figura 2) compreende a bacia do Alto Sorocaba (dentre outras seis as quais compõem a bacia do Sorocaba Médio Tietê) a qual possui área de aproximadamente 929 km² (7,7% da área da UGRH 10), mais precisamente localizada nas coordenadas 23°45'37" e 23°35'02" S e 47°21'00" e 46°57'29" W, cuja área abrange os rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim além do reservatório Itupararanga cujas características estão descritas na Tabela 2. Segundo Sardinha et al. (2008) a população total da bacia do Alto Sorocaba é de, aproximadamente, 110.577 habitantes os quais em sua totalidade localizam-se na zona urbanizada da bacia com área de 71 km².

Tabela 2 - Características gerais do reservatório Itupararanga

Altitude	710 m
Profundidade média	7,8 m
Área	20,9 km ²
Volume total	286x10 ⁶ m ³
Uso preponderante	Abastecimento
Área de drenagem	936,5 km ²
Canal principal	26 km
Margem	192,8 km
Vazão máxima	39,12 m ³ .s ⁻¹

Fonte: Garcia, Freitas e Filho (1999); Smith e Petreire (2001)

Entre as atividades econômicas da bacia destaca-se a atividade industrial nos municípios de Sorocaba, Votorantim e Alumínio. Garcia, Freitas e Filho (1999) observaram intensa atividade de mineração de areia nos arredores do reservatório com vasta atividade de irrigação pela agropecuária, o que gera, por consequência, elevado grau de assoreamento. Constataram também a ausência de zoneamento territorial que ordene adequadamente o uso e ocupação e a presença e expansão descontrolada de loteamentos os quais desconsideram leis ambientais pertinentes ao local, uma vez que o reservatório insere-se em Área de Proteção Ambiental (APA) criada em 1998 pelo Governo Estadual (Lei Estadual número 10.100).

O reservatório Itupararanga (Figura 2) é o mais importante instalado na bacia do rio Sorocaba. Fornece água para abastecimento público para mais de um milhão de pessoas além de ser utilizado para a geração de energia pela Votorantim Energia. Possui área de drenagem que chega a ocupar 1/6 da área da bacia (Tabela 2) e volume útil para geração de energia hidroelétrica de 2,4958x10⁸ m³ no ano de 2004, segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2004).

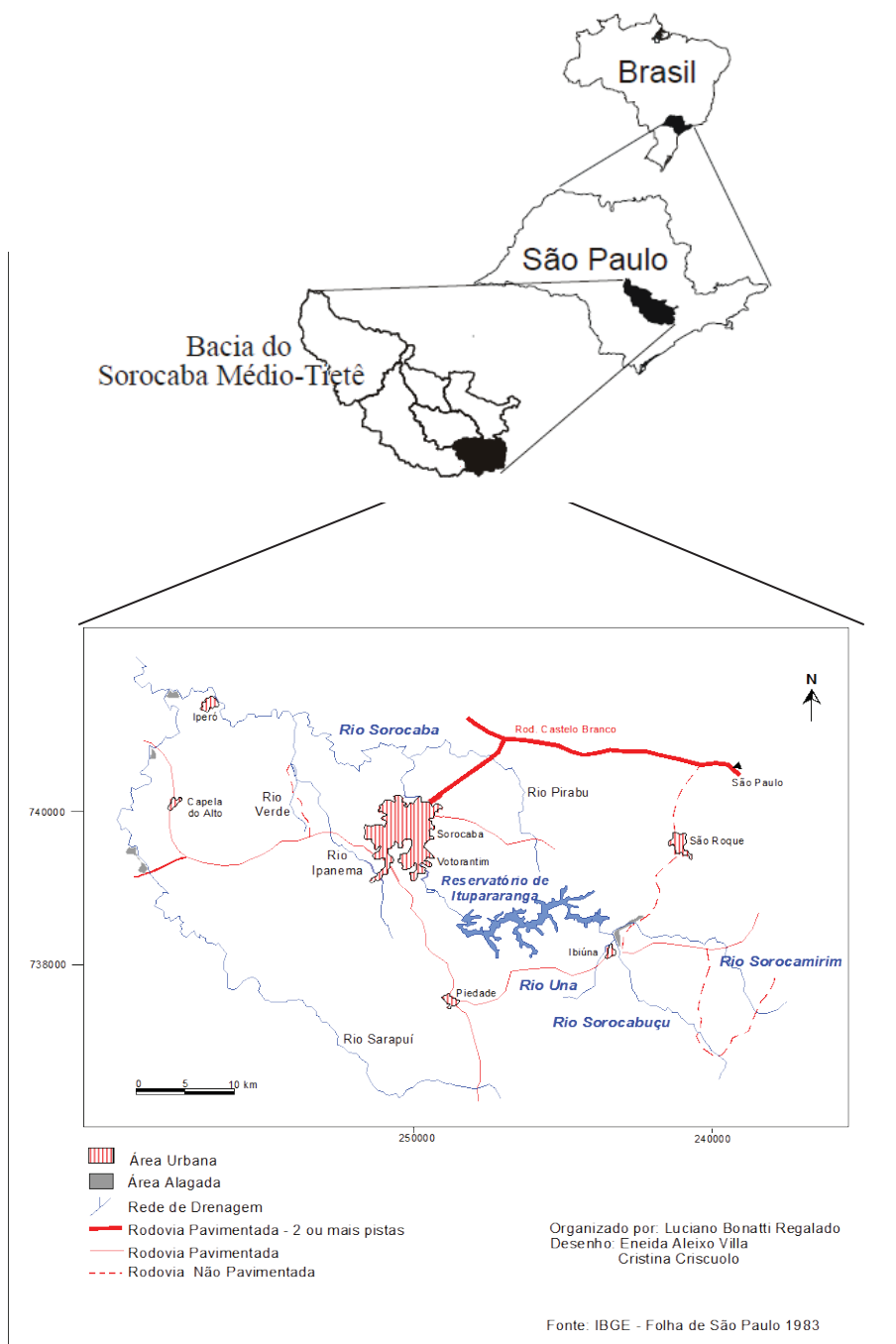


Figura 2 - Localização do reservatório Itapararanga na Bacia do rio Sorocaba (SP)

De acordo com Garcia, Freitas e Filho (1999), os rios tributários ao reservatório Itapararanga, e por conseguinte o rio Sorocaba, apresentam graves problemas ambientais em suas áreas de drenagem. Há a presença de pequenos proprietários (média de 4,5 alqueires) que exercem atividades agrícolas intensivas, propiciando a instabilidade do solo, tais como o cultivo de morango, cebola, batata, tomate e outras. Segundo Sardinha et al. (2008), tais culturas abrangem cerca de 393 km² da área desta bacia. Com isso, há considerável uso de

pesticidas e lançamentos de efluentes de forma difusa ou pontual que podem causar problemas ambientais consideráveis aos rios. A Tabela 3 apresenta os tipos de uso e ocupação na área (Garcia, Freitas e Filho, 1999) que compreende o entorno ao reservatório Itupararanga, observando-se que praticamente a metade da mesma é ocupada por cultura.

Tabela 3 – Uso e ocupação na área de entorno ao reservatório Itupararanga

Tipo de uso	Área (km ²)	Porcentagem da bacia (%)
Campo	26,6	2,84
Campo sujo	121,6	13,0
Chácara	35	3,73
Cultura	395,5	42,23
Mata	237,4	25,35
Várzea	18,7	2,0
Área fracamente urbanizada	55,3	5,9
Área fortemente urbanizada	16,51	1,76
Represa	29,9	3,19
Total	936,51	100

Fonte: Garcia, Freitas e Filho (1999)

Ainda segundo Sardinha et al. (2008), a região onde se localiza o reservatório apresenta temperatura média anual de 20 °C com clima úmido quente com inverno seco, caracterizado por maior evaporação se comparada a precipitação na bacia do Alto Sorocaba. A precipitação média anual em 40 anos (de 1960 a 2004) foi de 1492,7 mm com o mês de janeiro historicamente mais chuvoso (248,1 mm em média) e agosto com menor média (42,8 mm) (SALLES et al., 2008). Já a vazão afluente ao reservatório, segundo dados da Companhia Brasileira de Alumínio (hoje Votorantim Energia) obtidos em Salles et al., 2008, os meses com maior e menor média são, respectivamente, fevereiro (21,7 m³/s) e agosto (6,9 m³/s).

4.2. Amostragem - Variáveis Físicas, Químicas e Hidrológicas

Foram determinadas estações de amostragem nos rios Sorocamirim, Sorocabuçu, Una, junção dos rios a montante do reservatório e Sorocaba (jusante ao reservatório). Uma estação de amostragem no reservatório, próxima à barragem também foi amostrada, com intuito de avaliar representativamente as concentrações de sólidos em suspensão na saída do reservatório, visto que a amostragem no rio Sorocaba foi feita já no município de Votorantim. No entorno dos rios foram avaliados: tipo de ocupação antrópica, captação de água para abastecimento, lançamento de efluentes (domésticos e industriais), pastagem e presença de mata ciliar.

As variáveis analisadas foram sólidos suspensos totais, sólidos suspensos orgânicos e inorgânicos, condutividade elétrica, fósforo total e turbidez nos seguintes períodos: agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro de 2010, abrangendo estações intermediárias e chuvosas.

Avaliou-se a precipitação pluviométrica cujos dados foram obtidos da Companhia Brasileira de Alumínio, hoje Votorantim Energia, referentes à estação localizada nas coordenadas 23°36'43.36" S e 47°23'48.75"O junto à barragem do reservatório Itupararanga.

Para o cálculo de vazão foram feitas medidas de profundidade do rio (m), a cada um metro, ao longo de toda a seção transversal do canal de drenagem e, assim, obteve-se a área da seção transversal. Já a velocidade de escoamento ($m.s^{-1}$), foi calculada pelo método do molinete, equipamento provido de hélice giratória posicionada no sentido do fluxo de água. Com a rotação, um circuito elétrico é ativado e, a partir do número de voltas dadas pode-se medir a relação entre velocidade de fluxo e a rotação da hélice. Para o cálculo de vazão foi utilizado o método de STUART (2003), da seguinte forma:

- Segmentação da seção transversal do rio para levantamento dos valores de velocidade;
- Levantamento do perfil de velocidades;
- Cálculo médio de velocidade de cada seção;
- Determinação da vazão pelo somatório do produto de cada velocidade média por sua área de influência.

A variável sólidos suspensos totais ($mg.L^{-1}$) foi determinada por gravimetria de acordo com APHA (2005) pelos métodos 2540D e 2540E os quais consistem na coleta de 1 L de amostra que foi devidamente homogeneizada e filtrada em membrana (GF/C – Whatman ou GMF3 – Satorius) pré-calcinadas e pesadas (p0). Os filtros foram armazenados em envelopes

no dessecador e posteriormente secos em estufa por 1h a 104°C, eliminando toda umidade presente. Os filtros foram pesados (p1) e, pela Eq. (1) foram calculadas as concentrações de sólidos suspensos totais (SST):

$$\text{SST (mg.L}^{-1}\text{)} = (p1-p0) * 1000 / V_a \quad \text{Eq. (1)}$$

SST = sólidos suspensos totais (mg.L⁻¹); p0 = peso inicial (g); p1 = peso após estufa (g); V_a = volume da amostra filtrada (L).

Para a determinação de sólidos suspensos inorgânicos (SSI), submeteu-se a membrana após secagem na estufa (p1) à mufla durante 20 min à 550 °C (p2). Assim obteve-se a concentração de SSI pela seguinte equação (Eq. 2):

$$\text{SSI (mg.L}^{-1}\text{)} = (p2-p1) * 1000 / V_a \quad \text{Eq. (2)}$$

SSI = sólidos suspensos inorgânicos (mg.L⁻¹); p1 = peso após estufa (g); p2 = peso após a mufla (g); V_a = volume da amostra filtrada (L).

Subtraindo-se de SST a concentração de SSI, obtém-se a concentração de sólidos suspensos orgânicos (SSO) da amostra.

Para se avaliar qualitativamente o transporte de sólidos suspensos em função da vazão, utilizou-se a metodologia proposta por Lewis e Saunders (1989) através da equação Eq. (3):

$$L = a.Q^b \quad \text{Eq. (3)}$$

L= transporte (massa por tempo), Q= vazão e “a” e “b”= coeficientes constantes.

Através de determinações das concentrações de SST e vazão ao longo do tempo em um rio, constrói-se uma matriz de valores de vazões (Q) e carga (L) que, com o auxílio de ferramentas de cálculo, linearizam (Eq. 4) e resolvem a equação do modelo, fornecendo os coeficientes “a” e “b”.

$$\text{Ln (L)} = \text{Ln(a)} + b \text{ Ln(Q)} \quad \text{Eq. (4)}$$

L= matriz de valores de carga do rio (mg/s); Q= matriz de vazões do mesmo rio (m³/s).

A interpretação do modelo dá-se através do coeficiente “b”. Quando esse coeficiente é igual a 1, significa que as concentrações de uma determinada variável analisada não se altera, significativamente, com a variação de vazão do rio. Coeficiente “b” maior que 1, as concentrações aumentam com o aumento das vazões. Caso esse valor esteja entre 0 e 1, as concentrações diminuem com o aumento das vazões de água, o que corresponde a um efeito de diluição. E com “b” menor que zero, as concentrações diminuem numa taxa mais rápida que o aumento correspondente o das vazões. Portanto, o transporte diminui com o aumento da vazão o que corresponde a um efeito de conservação.

As medidas de turbidez foram realizadas em espectro de bancada, Turbidímetro marca Marconi, o qual foi previamente calibrado aferido com soluções padrão sempre antes das análises.

Também foi medida a condutividade elétrica, em campo, com o auxílio de sonda multiparâmetro YSI modelo 556.

A determinação do fósforo total foi realizada através do método espectrofotométrico (4500P B - Digestão com perssulfato (APHA, 2005)), o qual consiste em adquirir 30 mL da amostra com uma gota de indicador de fenolftaleína (em casos onde a coloração se torna vermelha faz-se correção adicionando H_2SO_4 5N). Adiciona-se 1,5 mL de solução de H_2SO_4 + HNO_3 . Posteriormente, é adicionado perssulfato de potássio e a amostra é aquecida durante 1h em autoclave (a pressão de 98-137 KPa). Deixa-se esfriar e adiciona-se fenolftaleína e NaOH até neutralizá-la. Desta, obtém-se, 5 mL e acrescenta-se 1 mL de reagente misto. A leitura foi realizada a 880 nm (comprimento de onda) em aparelho espectrofotométrico dentro do intervalo de 15 a 30 min (posterior a realização dos procedimentos).

Para as análises estatísticas e processamento dos resultados, utilizou-se os seguintes programas computacionais: Excel for Windows 2007[®] e Scilab 5.1.1, 2009[®] (software livre).

Nos balanços de massa realizados na entrada e saída do reservatório Itupararanga considerou-se as estações P1, P2, P3 e P4 como pertencentes a um sistema tributário. Correlacionando-se concentração por vazão integrou-se, através do programa Scilab 5.1.1, 2009[®], a melhor reta obtida nas referidas estações. Sabe-se que as características encontradas na estação P4 é o resultado, após certo intervalo de tempo (horas), da junção espacial dos rios onde estão localizadas as estações P1, P2 e P3. A análise nesta pesquisa foi realizada com as quatro estações em conjunto, o que significa que as cargas estão sendo somadas (integral). Ou seja, considerou-se a carga iminente ao reservatório, referente aos dados de concentração e vazão da estação P4, bem como a carga montante à junção dos rios (P1, P2 e P3) as quais irão compor, posteriormente após horas, a carga em P4. A metodologia aplicada segue como

realizado por Dai et al. (2008) no sudeste chinês, sendo que para intervalos de tempo de dias é válido aplicar-se a integral incluindo a junção de dois ou mais afluentes pois pode-se melhor estimar a carga tributária ao reservatório devido a maior quantidade de amostragem e abrangência temporal maior do sistema de rios tributários, melhorando assim a curva de integração.

Sabe-se que entre as estações P1, P2 e P3 em relação a P4 houve possivelmente sedimentação ou degradação da parcela orgânica dos sólidos suspensos e fósforo total. Contudo, essa parcela não excluída do balanço (erro) é pequena se comparado ao aporte de sólidos e fósforo total proveniente das margens do reservatório Itupararanga não quantificados nesta pesquisa. Ou seja, dentre as considerações feitas nesta pesquisa o referido erro é aceitável para a quantificação realizada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Descrição dos pontos de amostragem

As coordenadas geográficas das estações amostrais constam na Tabela 4. A Figura 3 apresenta imagens dos locais de amostragem. As estações foram determinadas, espacialmente, como na Figura 4 e, por convenção, foram adotadas as seguintes nomenclaturas: estação amostral no rio Una (P1), no rio Sorocabuçu (P2), no rio Sorocamirim (P3), junção dos três rios (P4) e rio Sorocaba (P5).

Tabela 4 – Localização geográfica das estações amostrais

	Latitude (S)	Longitude (W)
P1	23°39'24.32"	47°13'37.13"
P2	23°39'25.34"	47°12'39.32"
P3	23°37'32.31"	47°11'20.56"
P4	23°38'08.80"	47°13'24.92"
P5	23°32'38.59"	47°26'49.95"

A estação amostral do rio Una (P1) (Figura 3.a) apresentou vegetação parcialmente preservada com predominância de pastagem e ausência de área com margem erodida. Observou-se que seu leito, a montante da estação, transpassava malha urbana do município de Ibiúna. A estação amostral no rio Sorocabuçu (Figura 3.b) apresentou vegetação ciliar bem preservada com presença discreta de erosão de suas margens e é a maior área molhada (seção transversal) entre os rios em estudo. A área de influência da estação que este rio percorre possui a presença de áreas de agricultura e áreas urbanizadas.



Figura 3 – Imagens dos locais de amostragem: Rio Una (P1) (a), Rio Sorocabuçu (P2)(b), Rio Sorocamirim (P3)(c), junção dos rios (P4)(d) e rio Sorocaba(P5)(e)

A estação amostral no rio Sorocamirim (Figura 3.c) apresentou vegetação bem preservada com áreas alagadas em seu entorno e a montante presença de áreas de agricultura e ocupação urbana não discreta. A estação amostral da junção dos rios (Figura 3.d) apresentou vegetação bem preservada com pastagem e vegetação mais densa. A montante havia influência de despejo da estação de tratamento de esgoto da cidade de Ibiúna. A estação no rio Sorocaba (Figura 3.e) localiza-se dentro da malha urbana do município de Votorantim com

vegetação ciliar com pastagem rala e quase ausência de flora de médio porte. Esta estação está localizada a aproximadamente 12 km da barragem do reservatório.

Foi avaliada uma estação a montante da barragem, dentro do reservatório, para quantificação dos sólidos suspensos, visto que a estação amostral no rio Sorocaba estava localizada muito distante do reservatório, não sendo representativa de suas características reais de efluente. Apesar deste fato, os resultados obtidos foram aqui apresentados e discutidos.

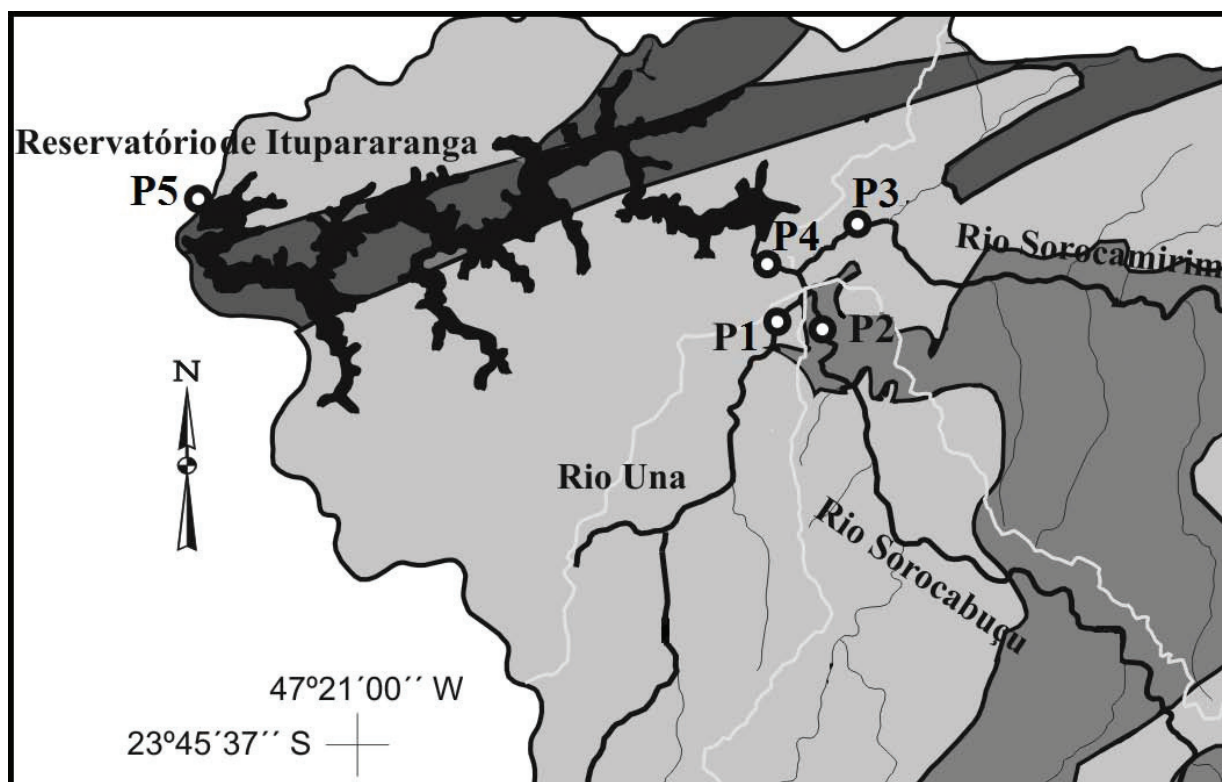


Figura 4 – Localização ilustrativa das estações amostrais. Adaptado de Sardinha et al. (2008)

5.2. Dados climatológicos

A precipitação pluviométrica total mensal (Figura 5) variou de 56,8 mm (agosto/09) à 504,05 mm (janeiro/10) durante o período hidrológico de agosto/09 e fevereiro/10. Já entre os meses de coleta, a precipitação variou de 56,8 mm (agosto/09) a 259,0 mm (dezembro/09). Os dados apresentados foram adquiridos junto à Companhia Brasileira de Alumínio, atual Votorantim Energia, referente à estação localizada próxima a barragem do reservatório Itupararanga.

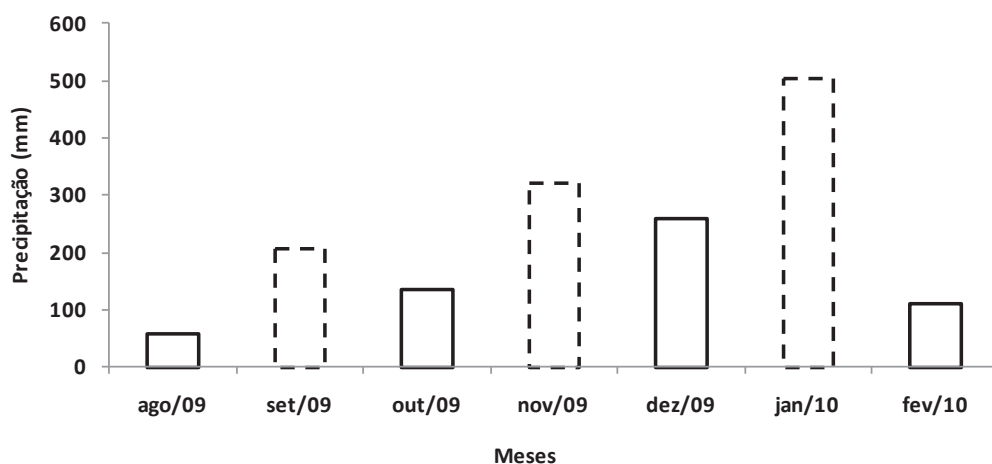


Figura 5 - Precipitação mensal (mm) junto à barragem do Reservatório Itupararanga. Linhas contínuas: meses de coleta.

5.3. Vazão

A Figura 6 apresenta os dados de vazão referentes às coletas de agosto/09 (a), outubro/09 (b), dezembro/09 (c) e fevereiro/10 (d) cujas variações foram de, respectivamente: 0,9 (P1) a 15,3 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P5); 3,1 (P1) a 20,3 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P4); 3,7 (P1) a 30,1 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P5); e 4,1 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P1) a 28,0 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P4).

Deve-se salientar que a vazão na estação P5 não corresponde a um comportamento natural, uma vez que essa é controlada pela Votorantim Energia através das comportas do reservatório, como forma de se manter água para consumo consuntivo, regularização de vazões, épocas de escassez, bem como garantir o limite máximo do nível de água a montante da barragem (ANEEL, 2004).

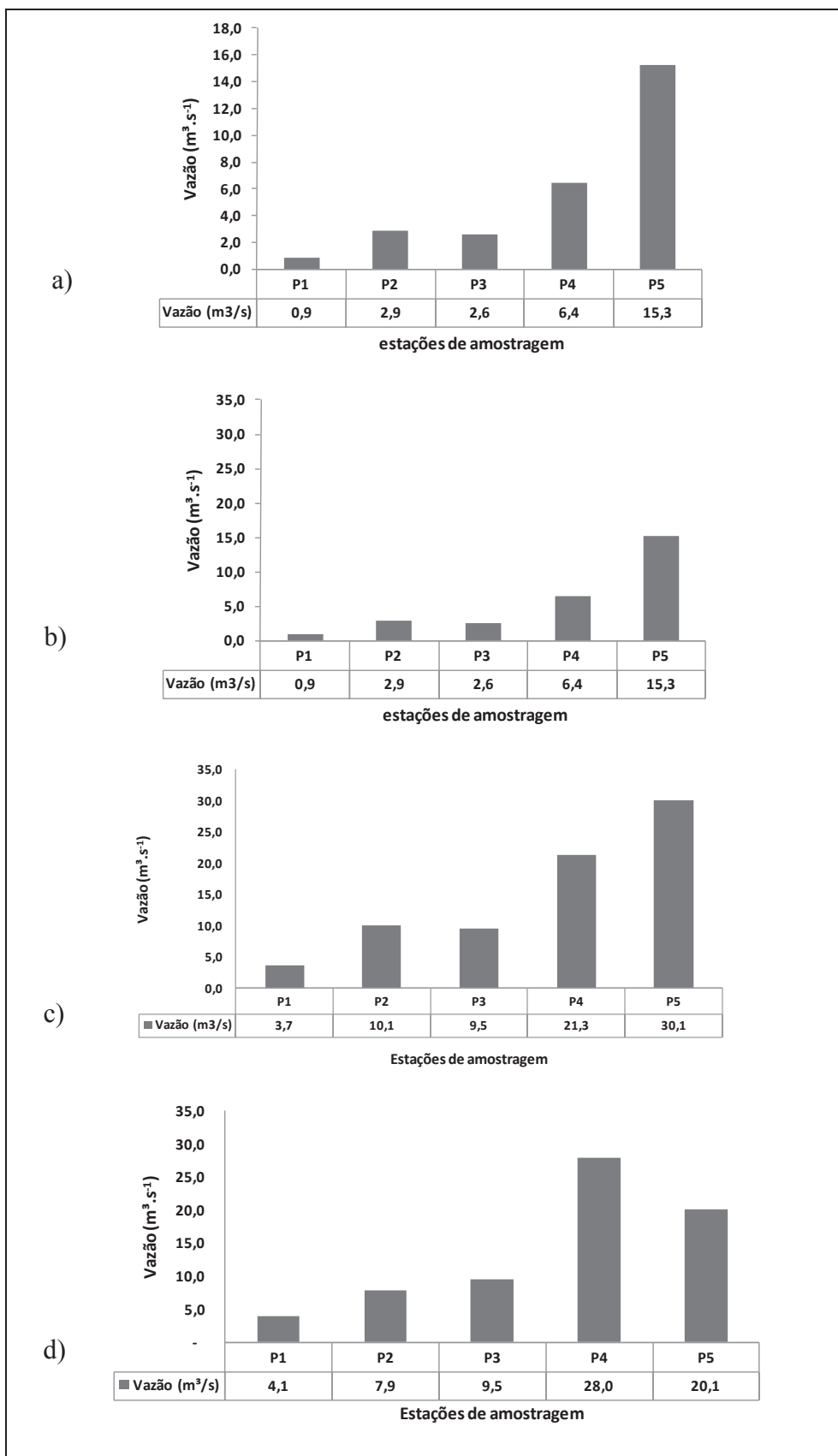


Figura 6 - Vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) nas quatro coletas amostrais no reservatório Itupararanga.

Uma excepcionalidade no comportamento das vazões dos rios em função do regime pluviométrico ocorreu em dezembro/09. A maior precipitação registrada neste mês não refletiu, em termos gerais, em maiores vazões nos tributários ao reservatório Itupararanga, como ocorreu nas demais coletas. Contudo, apesar de a vazão em P5 ser controlada pela Votorantim Energia, a correlação entre a variação de vazão de P5 com a precipitação mostrou-se considerável ($R^2=0,79$), o que não ocorreu relacionando-se a variação da precipitação na barragem e vazão com as demais estações amostrais (P1 a P4). Inferiu-se, portanto, que a precipitação pluviométrica na barragem do reservatório, cujo eixo principal dista aproximadamente 26 Km da entrada dos tributários, possivelmente diferiu da presente na região de entrada do mesmo e que a vazão controlada pela Votorantim Energia é função do regime de chuva próximo a barragem, evidenciando a variabilidade espacial das condições climatológicas existentes no reservatório Itupararanga como ocorre em reservatórios de médio a grande porte descrito por SMITH e PETRERE, 2001.

5.4. Sólidos suspensos

A Figura 7 apresenta as concentrações de Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Inorgânicos (SSI) e Sólidos Suspensos Orgânicos (SSO) nas coletas amostrais de agosto/09 (a), outubro/09 (b), dezembro/09 (c) e fevereiro/10 (d).

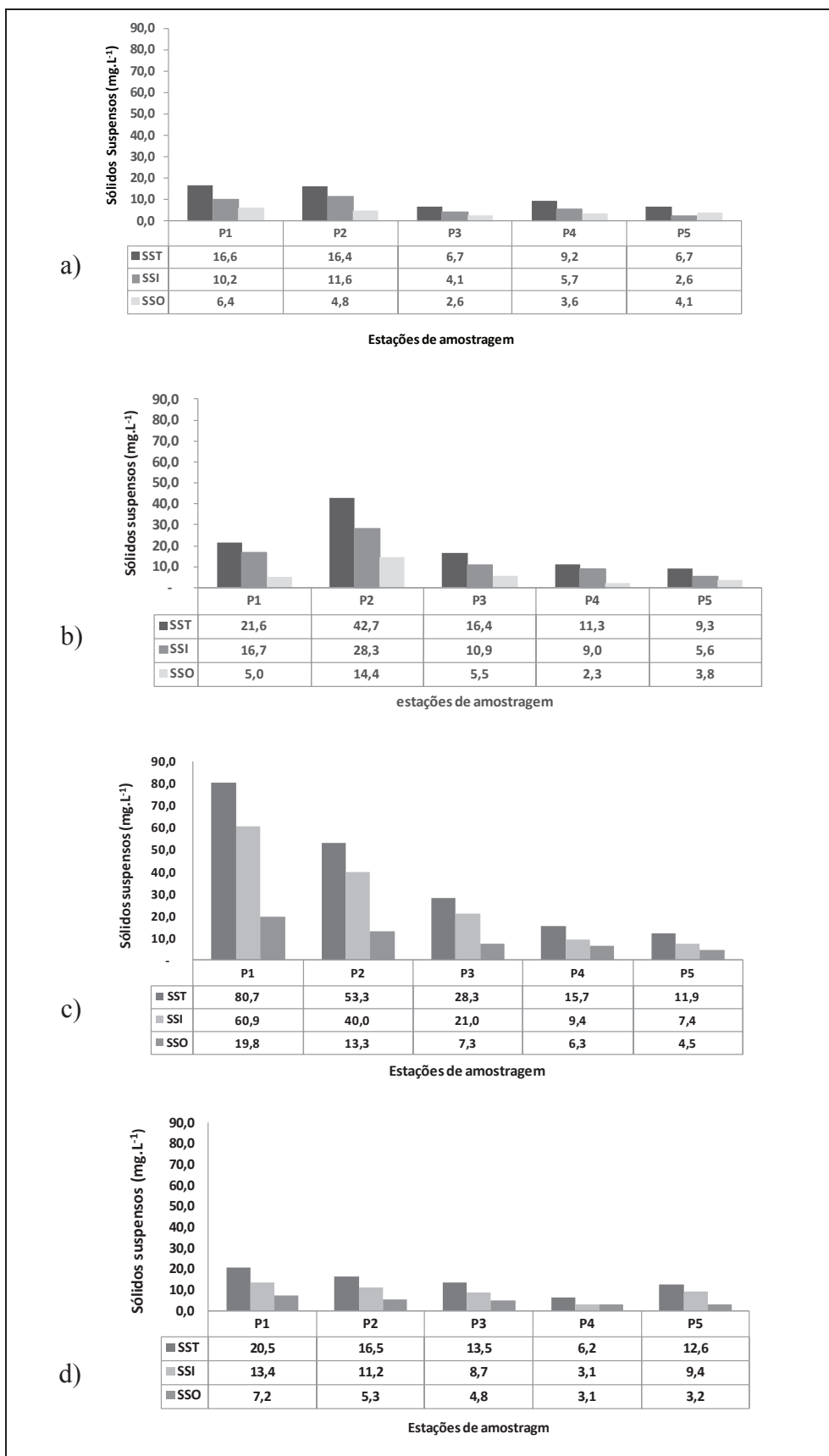


Figura 7 – Concentrações de sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos inorgânicos (SSI) e sólidos suspensos orgânicos (SSO) (mg.L^{-1}) nas diferentes estações de coleta nas amostragens no reservatório Itupararanga.

A Figura 8 apresenta a composição percentual de SST em função de SSI e SSO nas amostragens de agosto/09 (a), outubro/09 (b), dezembro/09 (c) e fevereiro/10 (d).

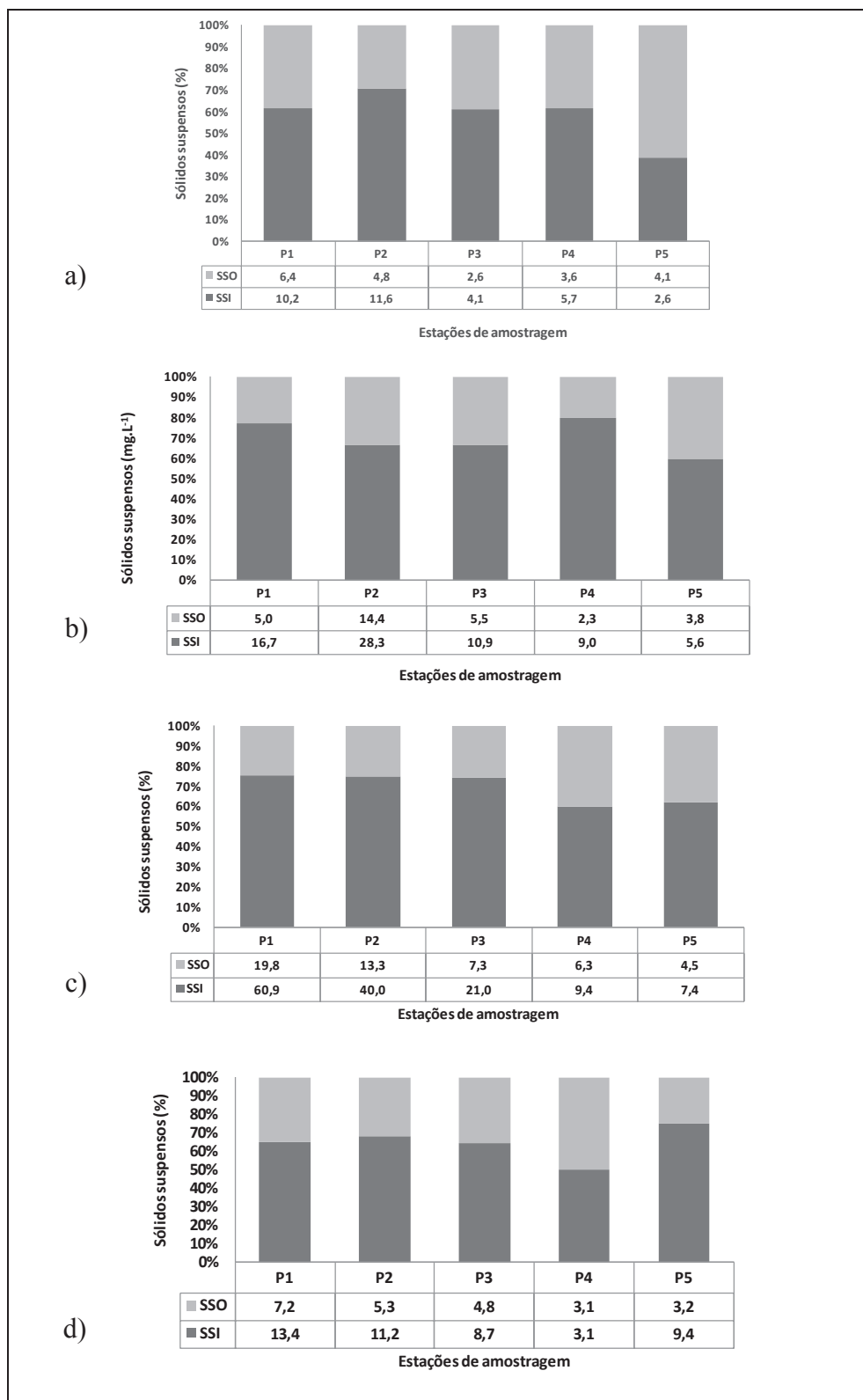


Figura 8 - Composição de SSI e SSO (%) em função de SST nas diferentes estações de coleta nas quatro amostragens no reservatório Itupararanga.

Em agosto, a maior concentração de SST foi observada na estação P1 (16,55 mg.L⁻¹) e a menor (6,65 mg.L⁻¹) na P3. Observou-se que a elevada concentração no rio Una (P1) pode ser devido à influência de Ibiúna, uma vez que o rio atravessa a zona urbana da cidade. A menor vazão no rio Una (0,9 m³.s⁻¹) (Figura 6), se comparado aos demais rios, certamente foi fator determinante para a referida constatação. Através da metodologia proposta por Lewis e Saunders (1989), obteve-se valor de 0,56 para o coeficiente “b”. Isso significa que com o aumento da vazão, as concentrações de SST diminuem no sistema (rios) que abastecem o reservatório Itupararanga. As mesmas considerações de P1 podem ser feitas para P2 devido a suas características de entorno contrastante com a estação no rio Sorocamirim (P3), o qual apresenta seu entorno mais preservado, propiciando, segundo teoria proposta por Carvalho (1994), maior retenção de partículas no solo, diminuindo o aporte alóctone de SST, seja por escoamento superficial ou por processos erosivos. Desconsiderando a possível contribuição de sólidos advindos por escoamento superficial ao redor do reservatório, notou-se que a quantidade de SST tributada pela estação mais próxima ao reservatório (P4) é 38% maior do que a encontrada no rio Sorocaba (6,68 mg.L⁻¹), o que significa que o reservatório é armazenador de sólidos suspensos.

Ainda na amostragem de agosto/09, as concentrações de sólidos suspensos inorgânicos variaram de 11,60 mg.L⁻¹ (P2) à 2,59 mg.L⁻¹ (P5). Novamente, observou-se diferença entre a estação com área de influência mais bem preservada (P3) e as com maior grau de ocupação e desenvolvimento de atividades agrícolas (P1 e P2) resultando em menores e maiores concentrações de SSI, respectivamente. Constatou-se, também, a deposição da parcela inorgânica dos sólidos no reservatório uma vez que a concentração encontrada chegou a ser quatro vezes menor no rio Sorocaba (P5).

A presença da malha urbana da cidade de Ibiúna, através da qual o leito do rio Una percorre, apresentou-se como influência alóctone considerável nas concentrações de SSO, que variaram de 6,39 mg.L⁻¹ (P1) à 2,6 mg.L⁻¹ (P3) em agosto/09. Na estação P4 notou-se discreto aumento na concentração de SSO, tanto devido à carga proveniente das estações P1 e P2 quanto pela presença de lançamento de efluente de uma estação de tratamento de esgoto (lagoa de estabilização) do município de Ibiúna localizada na margem esquerda a montante de P4.

Em aspectos gerais das variações nas concentrações de SST, SSI e SSO obtidas na amostragem de agosto/09 constatou-se que as estações afluentes ao reservatório Itupararanga (P1, P2, P3 e P4) apresentaram concentrações de SSI sempre maiores que SSO (Figura 8). O mesmo não ocorreu para a estação amostral localizada no rio Sorocaba (jusante ao

reservatório, P5) quando as concentrações de SSO foram 1,5 vezes superiores às de SSI. Ou seja, houve, no reservatório, a deposição da porção inorgânica suspensa e a atividade biológica possivelmente corroborou para que se mantivessem praticamente constantes as concentrações de SSO a montante e jusante do reservatório Itupararanga.

A análise estatística da metodologia de Lewis e Saunders (1989) resultou que as concentrações de SST diminuem com o aumento das vazões, pois o “b” calculado foi de 0,63, ou seja, houve o efeito de diluição.

As concentrações de SST variaram, na amostragem de outubro/09, de 9,3 mg.L⁻¹ na estação localizada no rio Sorocaba (P5) à 42,7 mg.L⁻¹ (P2), influência direta da malha urbana de Ibiúna. Para cada estação amostrada, as concentrações de SST foram superiores à coleta de agosto/09 (Figura 7). A mesma constatação comparativa entre as coletas foi observada também nas variáveis SSI e SSO, as quais tiveram amplitude de variação na amostragem de outubro/09 de, respectivamente: 5,6 (P2) a 28,3 mg.L⁻¹ (P5) e 2,3 (P4) a 14,4 mg.L⁻¹ (P2). Esteves (1988) atribui que a intensidade da precipitação pluviométrica é diretamente proporcional às concentrações de SST em rios, fato este observado na comparação entre as coletas de agosto/09 e outubro/09, quando este apresentou lâmina de água aproximadamente o dobro daquele.

Em todas as estações amostrais em outubro/09, as concentrações de SSI foram superiores às de SSO. Este fato possivelmente foi devido à maior influência do regime pluviométrico, superior à amostragem de agosto/09 (Figura 5), com relação ao aporte de sedimentos alóctones visto a já citada suscetibilidade do solo da bacia analisada. Contudo, a diferença entre SSI e SSO apresentou-se menor em P5 dentre as demais, o que demonstrou a possível existência da atividade biológica na produção de matéria orgânica no reservatório bem como a deposição de SSI.

A análise numérica realizada através da metodologia de Lewis e Saunders (1989) resultou, utilizando-se os dados de SST da coleta de outubro/09, no valor do coeficiente “b” igual a 0,55 para o conjunto de rios tributários ao reservatório. Ou seja, as concentrações diminuem com o aumento das vazões. Analisando-se os dados brutos entre as coletas de agosto/09 e outubro/09, quando o aumento na pluviosidade de um mês a outro provocou o aumento de vazão e, conseqüentemente, a diminuição nas concentrações de SST, observou-se o efeito de diluição. Concluiu-se que o resultado obtido na metodologia de Lewis e Saunders (op. cit) foi validado nesta análise temporal.

As concentrações de sólidos suspensos totais (SST), inorgânicos (SSI) e orgânicos (SSO), obtidos em dezembro/09, foram as maiores registradas entre as coletas realizadas neste

estudo variando de, respectivamente: 11,9 (P5) a 80,7 (P1) mg.L⁻¹, 7,4 (P5) a 60,9 (P1) mg.L⁻¹ e 4,5 (P1) a 19,8 (P5) mg.L⁻¹. A referida constatação ocorreu em áreas com maior urbanização (P1 e P2), potencialmente decorrente da maior pluviosidade registrada no mês de dezembro/09 (259 mm, Figura 5) em relação aos demais meses amostrais.

A análise da metodologia de Lewis e Saunders (1989) para os dados de SST da amostragem de dezembro/09 resultaram no valor do coeficiente “b” do método igual a 0,06, menor valor encontrado neste estudo. Ou seja, as concentrações de SST diminuem com o aumento das vazões expressando novamente o efeito de diluição.

Na amostragem de fevereiro/10, a variação nas estações de amostragem de sólidos suspensos totais (SST), inorgânicos (SSI) e orgânicos (SSO) (mg.L⁻¹) foram de: 6,2 (P4) a 20,5 mg.L⁻¹ (P1), 3,1 (P4) a 13,4 mg.L⁻¹ (P1) e 3,1 (P4) a 7,2 mg.L⁻¹ (P1). Maiores e menores concentrações destas três variáveis foram registradas nas estações P1 e P4 respectivamente, neste mês amostral. Possivelmente este fato decorreu da maior presença urbana em P1 e P2, das características mais preservadas de P3 e P4, uma vez que áreas com maior ocupação possuem preponderância em aportar maior quantidade de sólidos junto aos rios através do escoamento superficial.

Com exceção de P4, notou-se em fevereiro/10, como em todas as amostragens deste estudo, que a parcela inorgânica sempre foi superior à orgânica (Figura 8). Em P4, a excepcionalidade foi provavelmente decorrente do despejo de efluente sanitário da cidade de Ibiúna com carga orgânica considerável a montante desta estação, uma vez que, nas demais amostragens, a parcela inorgânica sempre foi superior a orgânica.

A metodologia de Lewis e Saunders (1989) aplicada para amostragem de fevereiro/10 apresentou o coeficiente “b” igual a 0,36. Ou seja, as mesmas constatações das demais coletas em que o coeficiente “b” situou-se sempre entre 0,0 e 1,0, o que significa que o aumento das vazões provocou a diminuição nas concentrações de SST, efeito de diluição.

5.5. Balanço de massa para sólidos suspensos

A Figura 9 apresenta a correlação entre sólidos suspensos totais e vazão e a melhor reta obtida a partir dos dados referentes às amostragens de agosto/09 (a), outubro/09 (b), dezembro/09 (c) e fevereiro/10 (d).

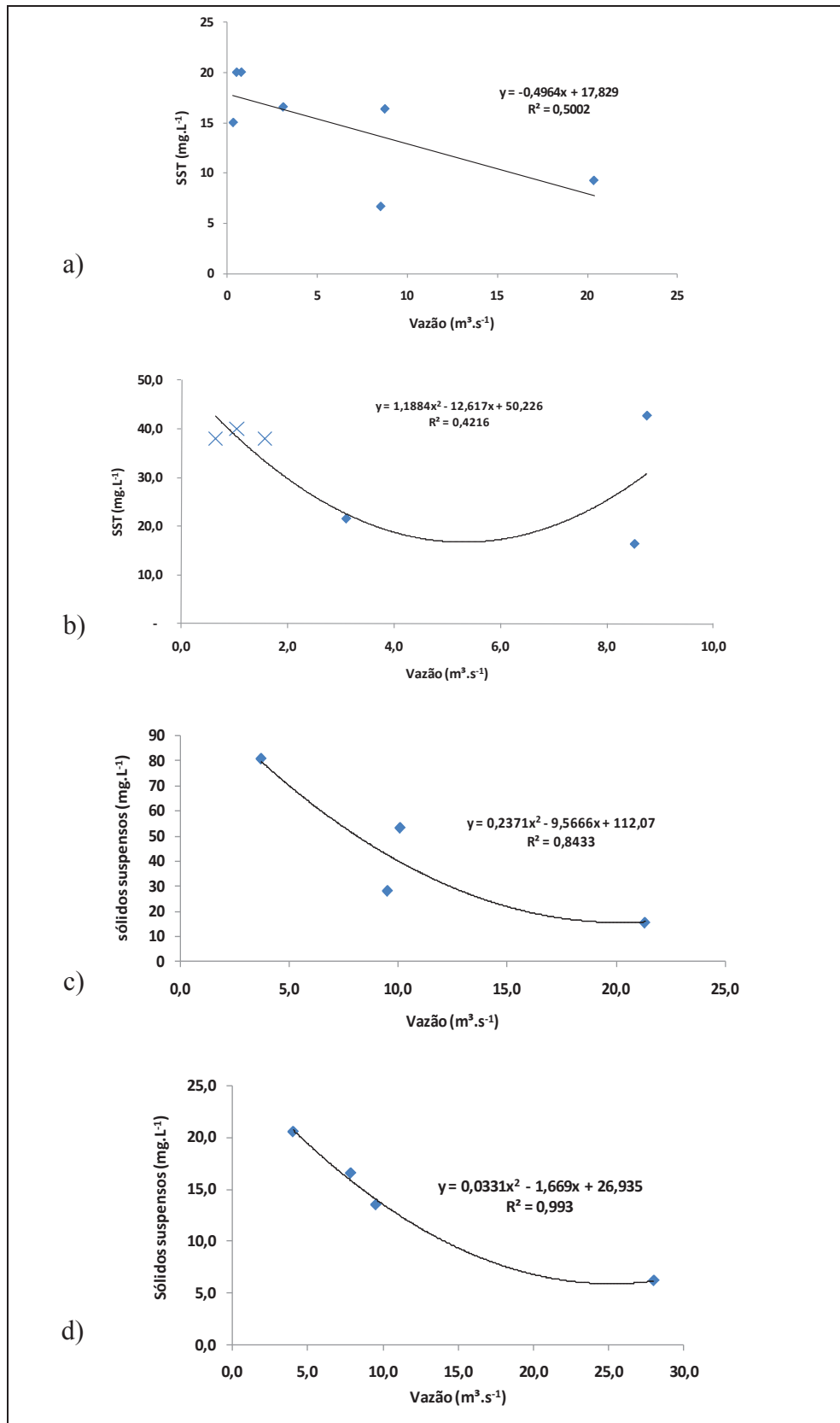


Figura 9 - Dispersão de concentração de sólidos suspensos totais por vazão dos rios afluentes ao reservatório Itupararanga

Realizou-se uma estimativa mensal da quantidade de sedimentos que entram e deixam o reservatório. Para se obter resultados mais precisos, utilizou-se em conjunto com estes dados, aqueles obtidos por Sardinha et al. (2008) (Tabela 5) na mesma área de estudo, ambos referentes ao mês de agosto nos mesmos rios estudados, sendo este obtidos em 2009 e aquele em 2008. As quantidades de saída foram calculadas multiplicando-se as vazões pelas concentrações de SST em P5 nas quatro coletas amostrais.

Tabela 5 - Dados de SST e vazão dos rios estudados.

	SST (mg.L ⁻¹)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)
Sorocaba	5	9,61
Sorocamirim	20	0,77
Sorocabuçu	20	0,51
Una	15	0,32

Fonte: Sardinha et al., 2008

Utilizando-se o método matemático de integração simples da melhor reta obtida por regressão linear tradicional (Figura 9.a), obteve-se, para o intervalo de vazões e concentrações de SST disponível, a estimativa para agosto/09 de 254 g.s⁻¹ de sólidos que entraram no reservatório Itupararanga, ou seja, aproximadamente 659,6 toneladas no referido mês. Com os dados do rio Sorocaba pode-se, também, estimar em 161,6 toneladas de sólidos (135,5 g.s⁻¹) que efluem do reservatório Itupararanga. Ou seja, estimou-se que 498,0 toneladas ficam retidas no reservatório.

Ressalva-se, contudo, que para todas as análises de balanço de massa realizadas neste estudo: (1) o valor mencionado desconsidera a deposição de sedimento junto ao fundo do reservatório Itupararanga proveniente das margens do mesmo por escoamento superficial visto que o reservatório, segundo Salles et al. (2008), sofre intensa remoção de vegetação ciliar, deposição de resíduos sólidos e lançamento de efluentes domésticos; e (2) o valor estimado não é totalitariamente sedimentado uma vez que certa fração sofre degradação microbiana, principalmente de sua parte orgânica (SSO), o que provavelmente diminui a porcentagem sedimentada.

Para o balanço de SST em outubro/09, como a intensidade pluviométrica obtida por Sardinha et al. (2008) foi semelhante ao registrado nesta pesquisa no mesmo período de 2009, utilizou-se, para avaliação mensal do transporte de SST, os dados de SST e vazão daquela

pesquisa (destacados na Figura 9.b com o símbolo “X”). Realizando-se a integração da melhor curva obtida entre SST e vazão, referentes aos rios tributários ao reservatório Itupararanga, concluiu-se que, no mês de outubro/09, houve a entrada de $192,3 \text{ g.s}^{-1}$ ou aproximadamente 498,3 toneladas de SST provenientes dos rios tributários ao reservatório Itupararanga. Com os dados desta pesquisa (Figura 6.b e Figura 7.b) pode-se inferir que a carga de SST que deixa o reservatório é de 359,9 toneladas ($138,8 \text{ g.s}^{-1}$) no mês de outubro/09. Ou seja, desconsiderando-se qualquer tipo de influência quanto ao aporte de sedimentos no entorno do reservatório Itupararanga, a quantidade de material suspenso retido no mesmo foi de 138 toneladas.

Já na coleta amostral de dezembro/09 entraram no reservatório, proveniente do sistema tributário de rios, $626,7 \text{ g.s}^{-1}$, correspondente a aproximadamente 1624,0 toneladas por mês. Multiplicando-se a concentração de SST com a vazão da estação P5 concluiu-se que do reservatório saíram, no mês de dezembro/09, 931 toneladas de sólidos ($359,3 \text{ g.s}^{-1}$). Ou seja, ficaram retidos no reservatório cerca de 693 toneladas no referido mês.

Para a amostragem de fevereiro/10 foi quantificado que entraram aproximadamente no reservatório 637 toneladas ($245,8 \text{ g.s}^{-1}$) e saíram 654 toneladas de sólidos totais ($252,4 \text{ g.s}^{-1}$) por mês. O balanço demonstrou que houve exportação do mesmo. Uma das prováveis causas foi o intenso regime pluviométrico durante o período de janeiro e fevereiro/10, fazendo com que ficassem abertas as comportas e os vertedouros da barragem. Este fato é uma excepcionalidade segundo dados da Votorantim Energia, uma vez que esse procedimento só foi adotado em meados da década de 1960. Sendo assim, a movimentação da coluna de água próxima a barragem pode ter ressuspensionado o sedimento que ali se encontrava, aumentando assim a exportação de sólidos do reservatório por alguns dias. Sendo assim, a extrapolação temporal é válida uma vez que a amostra única coletada reflete potencialmente as características do restante do mês de fevereiro/10.

A Tabela 7 apresenta o resultado da integral dos dados de vazão e concentração de sólidos suspensos totais (SST) dos rios de entrada no reservatório Itupararanga.

Tabela 6 – Balanço de massa de sólidos suspensos totais no reservatório Itupararanga

	Entrou (ton/mês)	Saiu(ton/mês)	Retido (ton/mês)
Agosto/09	659,6	161,6	498,0
Outubro/09	498,3	360,0	138,4
Dezembro/09	1624,4	931,2	693,2
Fevereiro/10	637,2	654,1	-16,9

*Valores negativos expressam exportação de sólidos

Observou-se que a variação na quantidade de SST retida no reservatório foi mais correlacionada à quantidade que entrou ($R^2=0,59$) em detrimento daquela que saiu ($R^2=0,05$). Constatou-se também que a variação do regime pluviométrico melhor se correlacionou com a variação da quantidade de entrada de SST ($R^2=0,76$). Ou seja, o que determinou se o reservatório reteve ou exportou SST foi função da combinação da quantidade de entrada e do regime pluviométrico na área de estudo.

5.6. Fósforo total

A Figura 10 apresenta as concentrações de fósforo total nas coletas amostrais de agosto/09 (a), outubro/09 (b), dezembro/09 (c) e fevereiro/10 (d).

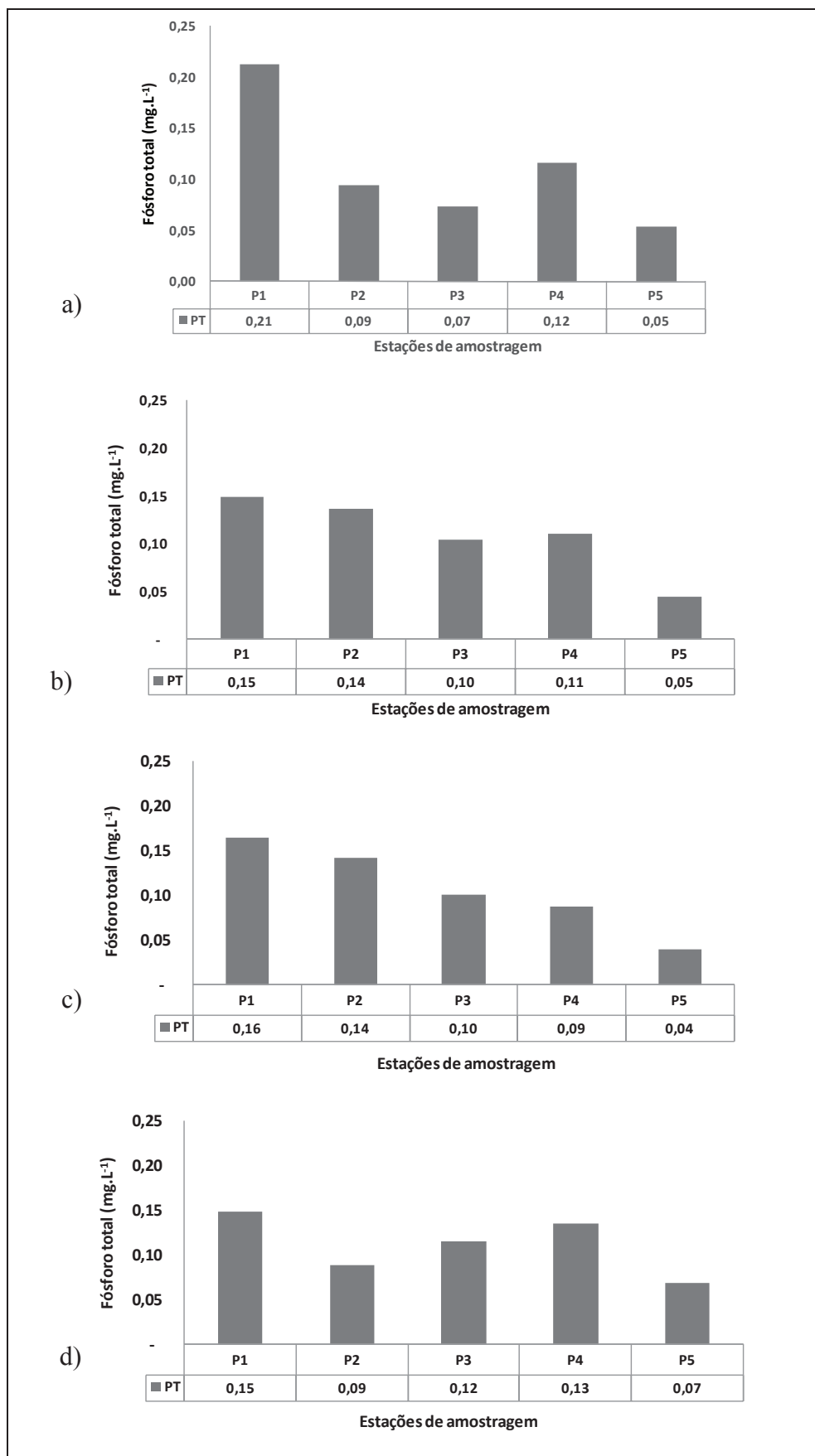


Figura 10 – Concentrações de fósforo total (mg.L^{-1}) nas diferentes estações nas quatro amostragens no reservatório Itupararanga.

Observou-se perfil (P1 a P5) semelhante das concentrações de fósforo total (PT) em todos os meses amostrais em relação ao tipo de ocupação, evidenciado pela estação P1, a qual apresentou em todas as coletas desta pesquisa maior concentração de fósforo total em relação as demais (de fontes pontuais e difusas), refletindo a presença de urbanização em sua área de influência. As variações nas concentrações de PT e SST, em todas as amostragens, apresentaram significativa correlação ($p < 0,05$; $R^2 = 0,87$). Ou seja, possivelmente partículas de diversas formas (orgânicas e inorgânicas) de fósforo pudessem estar aderidas a carga sólida que adentra o reservatório, o que explicaria a elevada correlação entre essas variáveis. Shrestha e Kazama (2007) através de aplicações de técnicas estatísticas de multivariáveis observaram comportamento semelhante ($R^2 = 0,90$) em rios da bacia do rio Fuji, Japão, propondo que PT e SST foram influenciadas pelos mesmos fatores (pluviosidade, presença de vegetação e urbanização) e suas respectivas intensidades. Fato este também observado nesta pesquisa.

5.7. Balanço de massa para fósforo total

Para se estimar a quantidade total de fósforo que entra e sai do reservatório, realizou-se, em conjunto com os dados de vazão, a integral da melhor curva de correlação entre as duas variáveis (Figura 11) referente aos dados das estações de entrada do reservatório para as coletas de agosto/09 (a), outubro/09 (b), dezembro/09 (c) e fevereiro/10 (d).

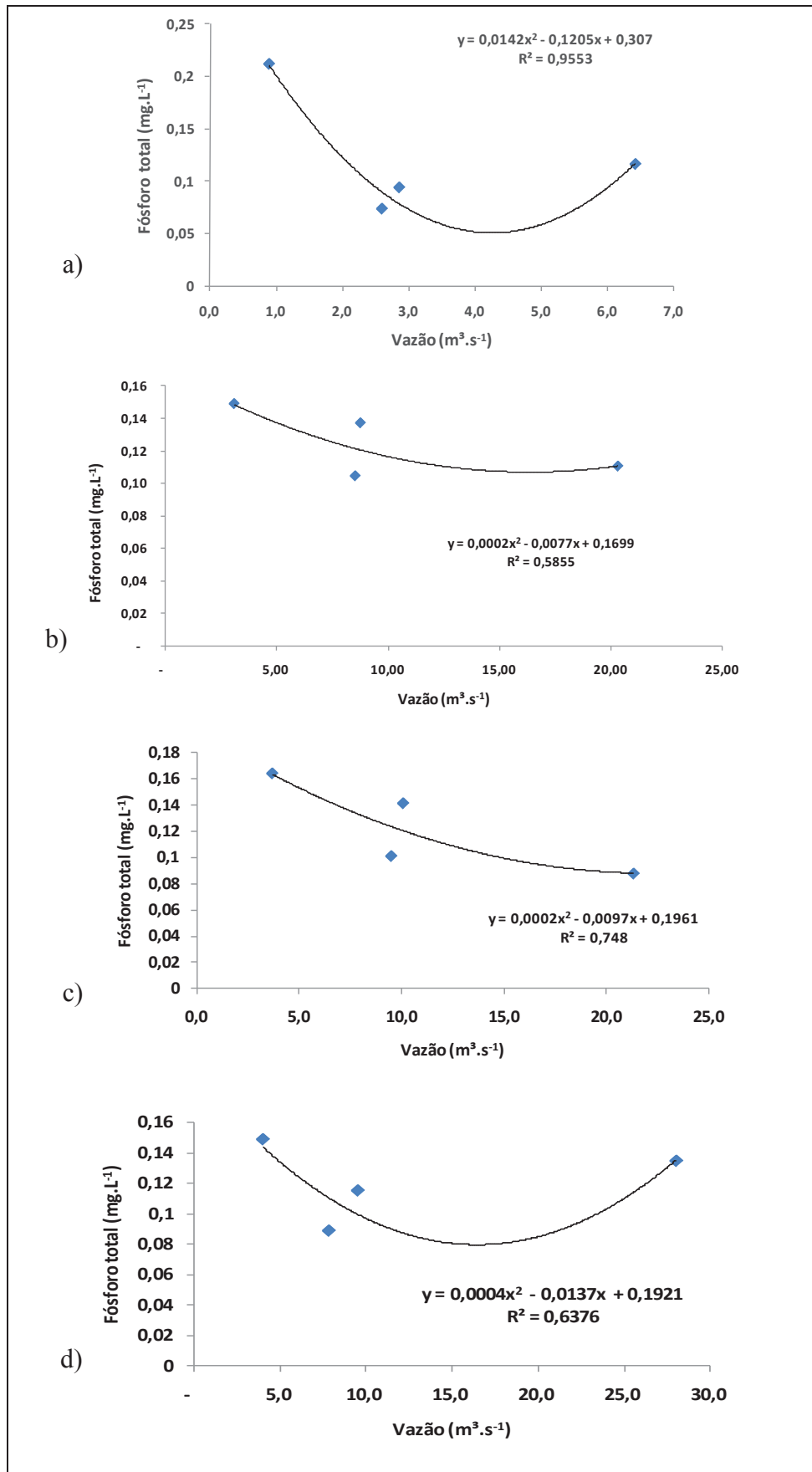


Figura 11 - Dispersão de concentração de fósforo total por vazão dos rios afluentes ao reservatório Itupararanga

A Tabela 7 apresenta o resultado da integral dos dados de vazão e concentração de fósforo total dos rios de entrada no reservatório Itupararanga. As quantidades de saída foram calculadas multiplicando-se as vazões pelas concentrações de PT em P5 nas quatro coletas amostrais.

Tabela 7 – Balanço de massa de fósforo total no reservatório Itupararanga

	Entrou (ton/mês)	Saiu(ton/mês)	Retido (ton/mês)
Agosto/09	1,3	2,1	-0,8
Outubro/09	5,0	1,8	3,3
Dezembro/09	5,1	3,1	2,0
Fevereiro/10	5,9	3,6	2,2
Média	4,3	2,6	2,5

*Valores negativos expressam exportação de fósforo

Observou-se que em agosto/09 com menor precipitação dentre as demais coletas (Figura 5), menor quantidade de PT entrou no reservatório. No referido período, a quantidade que saiu do reservatório foi 20% inferior a média, valor dentro do desvio padrão ($\sigma = 0,5$) da média (2,6). Ou seja, a quantidade que saiu se manteve próxima a média entre as coletas. Assim, possivelmente o que determinou se o reservatório reteve ou exportou PT está correlacionado com a quantidade que entrou ($R^2=0,80$) e não com a que deixou o mesmo ($R^2=0,02$).

5.8. Turbidez

A Figura 12 apresenta os dados de turbidez referentes às amostragens de agosto/09 (a), outubro/09 (b), dezembro/09 (c) e fevereiro/10 (d).

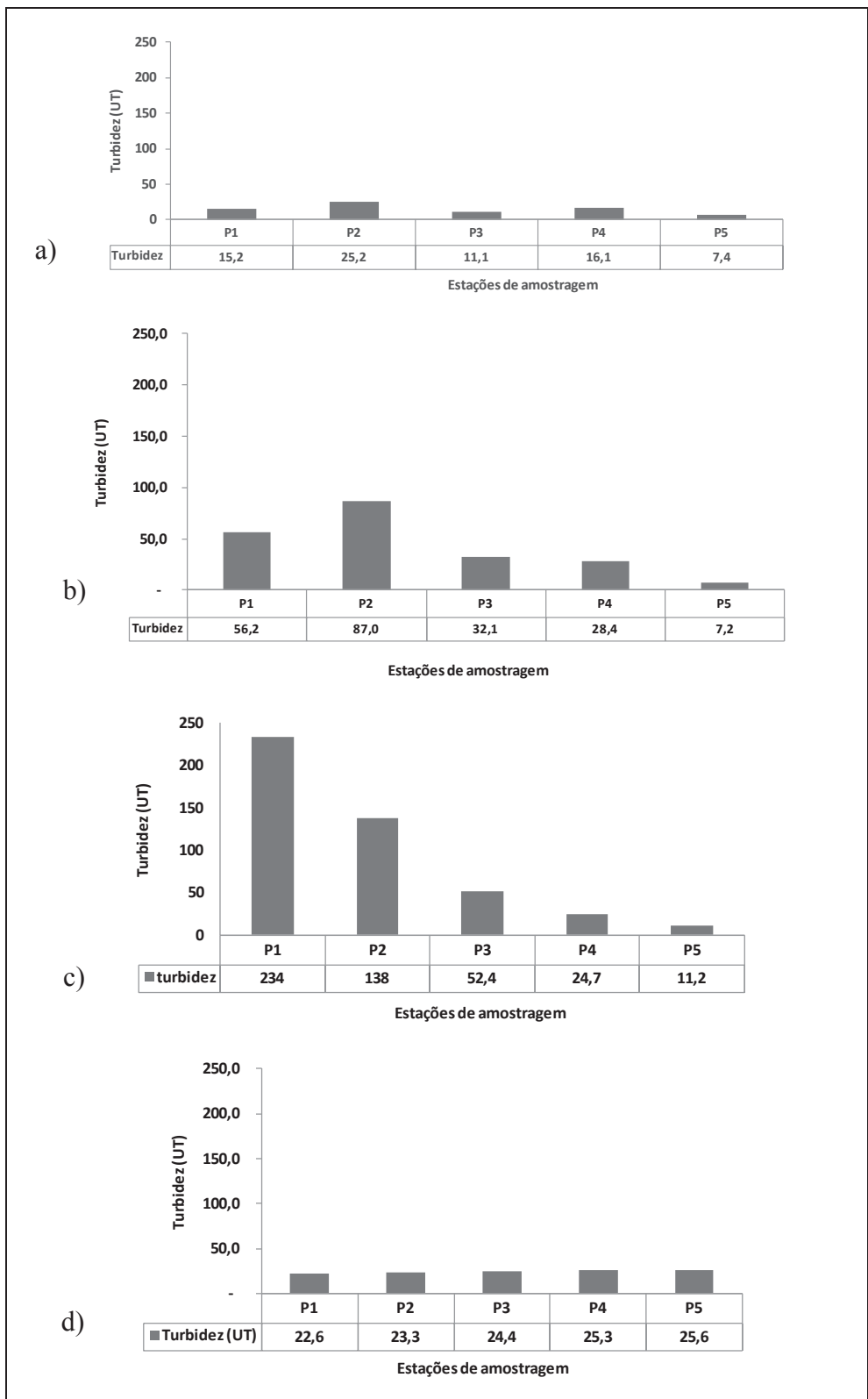


Figura 12 – Turbidez nas diferentes estações de coleta nas quatro amostragens no reservatório Itupararanga.

De acordo com o Decreto Estadual 8.468/76 (SMA, 1976), todos os rios da bacia do Alto Sorocaba são classificados como Classe II, em acordo com a resolução CONANA 357/05 (BRASIL, 2005). Os valores obtidos de turbidez na amostragem de agosto/09 estiveram abaixo do estabelecido por esta resolução (100 UT), os quais variaram de 11,1 (P3) a 25,2 UT (P2). Pode-se inferir que os principais fatores determinantes na variação de turbidez decorreram dos mesmos já discutidos para as variações das concentrações de SST nos aspectos: ocupação de entorno e de bacia, suscetibilidade do solo e suas características geológicas. Wetzel (1991) definiu uma estreita relação entre SST e turbidez considerando que as causas da variação de uma (SST) traz como consequência variações a outra (turbidez). Correlacionando essas variáveis, obteve-se nível de significância satisfatório ($p < 0,05$), cujos dados melhor se correlacionaram por uma curva de potência ($R^2 = 0,66$), através de metodologia de regressão linear.

Na amostragem de outubro/09, a turbidez apresentou amplitude de variação de 79,8 UT, entre as estações P2 (87 UT) e P5 (7,2 UT) as quais também estiveram abaixo do estabelecido pela resolução CONAMA 357 (op cit.). Também observou-se que esta variação esteve bem correlacionada às concentrações de SST ($R^2 = 0,91$) e de PT ($R^2 = 0,70$), o que possivelmente refletiu o tipo de influência do meio externo já discutidos em relação às estações amostrais para as variáveis SST e PT.

Os valores de turbidez referentes à coleta amostral de dezembro/09 apresentaram variação entre 11,2(P5) a 234 UT (P1). Observou-se que a turbidez nas estações P1 e P2 encontrou-se acima do limite máximo (100 UT) estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005 para rios classe 2. Dado o intenso uso agrícola e ocupação urbana nas bacias hidrográficas correspondentes às duas estações, o aumento da pluviosidade associada à considerável susceptibilidade do solo nas mesmas pode ter sido fator significativo para os valores de turbidez elevados nas estações P1 e P2. Raposo et al. (2009) defenderam que essa variação pode refletir de forma direta no aumento de processos erosivos na bacia hidrográfica e também na calha do rio. A variação da turbidez no sistema lótico tributário ao reservatório apresentou-se estreitamente relacionada às variações nas concentrações de SST ($R^2 = 0,99$), sendo potencial indício de aumento de processos erosivos na área das bacias hidrográficas dos rios tributários, como afirmaram Raposo et al. (op. cit) e como também constataram López-Tarazón et al. (2009) no rio Isábena na região dos Pirineus.

Para a amostragem de fevereiro/09 o mínimo observado foi de 22,6 UT (P1) e o máximo de 25,6 UT (P5), valores dentro do permitido pela resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) para rios classe 2. A análise estatística entre as variáveis estudadas apontou

que houve correlação de $R^2 = 0,74$ entre a variação de turbidez em relação às concentrações de SST. Ainda, observou-se que PT, na amostragem de fevereiro/10, também esteve significativamente ($p < 0,05$) correlacionada com a variação de turbidez ($R^2 = 0,88$). Sendo assim, possivelmente a maioria dos compostos fosfatados estavam associadas às partículas de SST e com o aumento ou diminuição de suas respectivas concentrações, a turbidez foi afetada diretamente.

5.9. Condutividade elétrica

A Figura 13 apresenta os dados de condutividade elétrica referentes às amostragens de agosto/09 (a), outubro/09 (b), dezembro/09 (c) e fevereiro/10 (d).

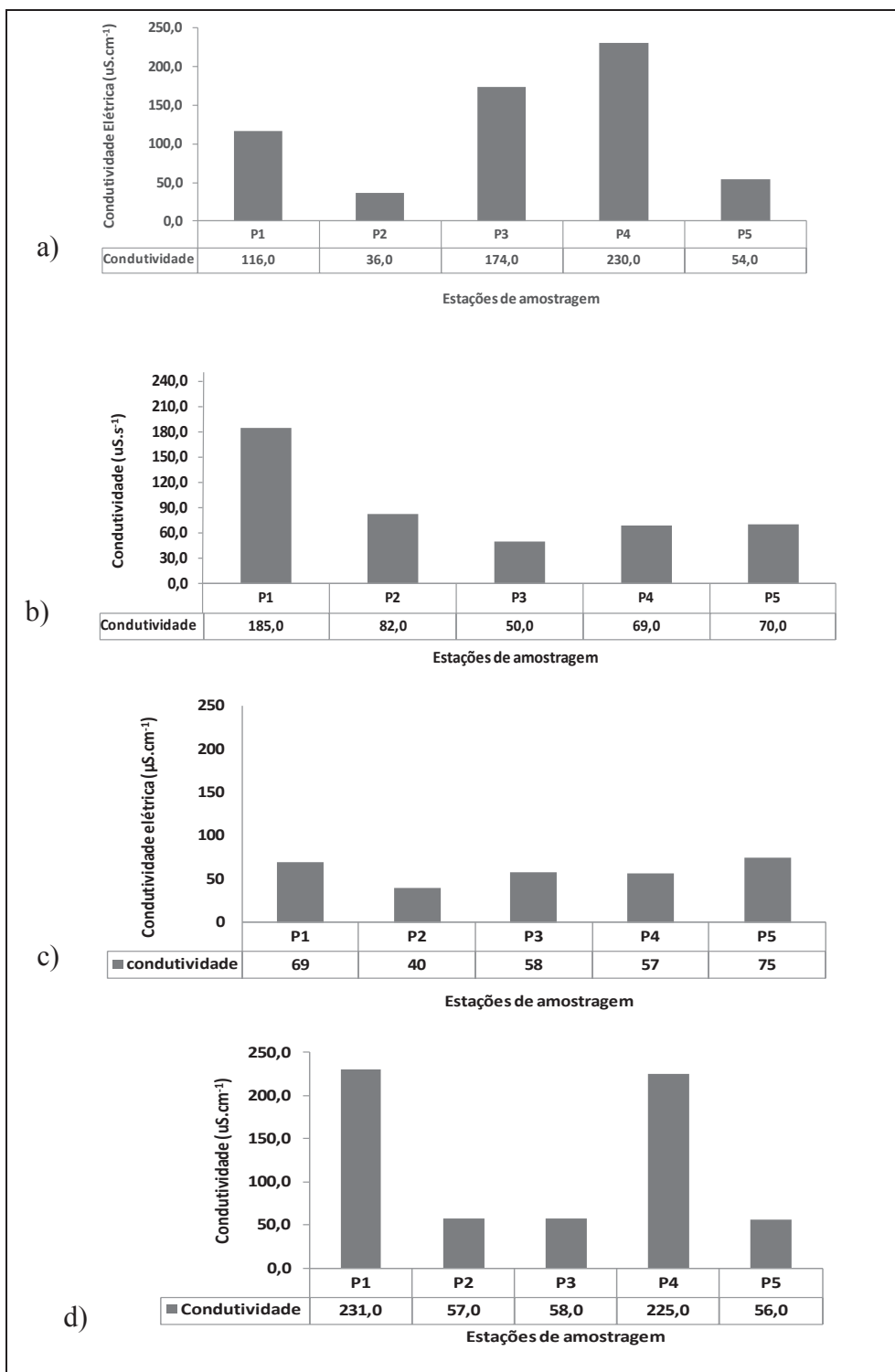


Figura 13 – Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) nas diferentes estações de coleta nas quatro amostragens no reservatório Itupararanga.

A estação P4 apresentou maior condutividade elétrica (CE) ($230 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), o que evidencia a contribuição de substâncias ionizáveis do efluente da estação de tratamento no aumento dos valores de CE.

Apesar das características da vegetação ciliar mais bem preservadas de P3 em relação a P1 e P2, com menor valor obtido na amostragem de agosto/09 ($36 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) a estação no rio Sorocamirim apresentou o segundo maior valor de CE ($174 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Analisando a composição do substrato rochoso, Sousa (1998) constatou que a área de influência do rio Sorocamirim (P3) assenta-se sobre o denominado “Complexo Geológico Embu”, cujas características são de areno-argilosas e com tendência a foliação, o que lhe confere relativa facilidade em desprender íons e partículas iônicas. Assim, as características geológicas da área de influência do rio Sorocamirim podem ter sido fator significativo para o resultado obtido nesta pesquisa.

A condutividade elétrica apresentou, na coleta de outubro/09, amplitude de variação maior se comparada ao mês de agosto, com elevada condutividade ($185,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) encontrada na estação do rio Una (P1) e menor ($69,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) obtida em P4. Analisando o regime pluviométrico, observou-se que houve precipitação de 1/3 do volume total mensal (45 mm) durante os dois dias antecedentes a coleta. Assim, o maior valor de CE registrado em P1 possivelmente é decorrente do escoamento superficial na zona urbana (localizada em sua bacia), o qual potencialmente carregou substâncias iônicas ao leito do rio. Nesta coleta, observou-se que houve significativa variação da condutividade elétrica aferida, frequentemente com amplitude superior a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, num mesmo local em curto intervalo de tempo (segundos). A velocidade da água nas sessões transversais dos rios analisados atingiu $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Esse fato pode ter promovido a instabilidade dos valores de CE obtidos pela sonda multiparâmetro em intervalos de tempo pequenos (segundos), o que potencialmente dificulta uma análise mais profunda dessa variável perante as demais estudadas.

A variação da condutividade elétrica nas coletas amostrais de dezembro/09 e fevereiro/10 foram de, respectivamente, 40 (P2) a $75 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (P5) e 57 (P5) a 231 (P1) $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Essas, pouco se relacionaram com as demais variáveis estudadas ($R^2 < 0,4$). Potencialmente com o elevado fluxo, reflexo direto da precipitação elevada, pode ter causado erro de precisão na leitura da sonda *in situ*, fato também observado e descrito na amostragem de outubro/09.

5.10. Análise estatística das variáveis estudadas

Apesar de possíveis problemas encontrados com os valores de condutividade elétrica, as amostragens com maior precipitação registrada (outubro, dezembro e fevereiro) apresentaram condutividade sempre maior em P1 em relação as demais estações.

Possivelmente, como essa sofre forte influência da malha urbana de Ibiúna com o considerável regime pluviométrico pode ter havido aporte significativo de partículas iônicas, juntamente com os sólidos, promovendo a elevação da condutividade elétrica da água.

Com o objetivo de se estimar a quantidade total de SST que entrou e saiu do reservatório Itupararanga durante os quatro meses desta pesquisa, através das melhores curvas obtidas com todas as concentrações de entrada (P1 a P4) (Figura 14) e saída (P5) (Figura 15) dos quatro meses amostrados, integraram-se as mesmas obtendo-se os seguintes resultados:

- A quantidade total que entrou no reservatório Itupararanga, proveniente dos rios onde as estações P1, P2 e P3 localizam-se, foi de 3984 toneladas ou $384,2 \text{ g.s}^{-1}$ de SST durante os quatro meses amostrais deste estudo.
- A quantidade total, durante os quatro meses amostrais deste estudo, de SST que deixou o reservatório Itupararanga foi de 1894 toneladas ou $182,7 \text{ g.s}^{-1}$ de SST.

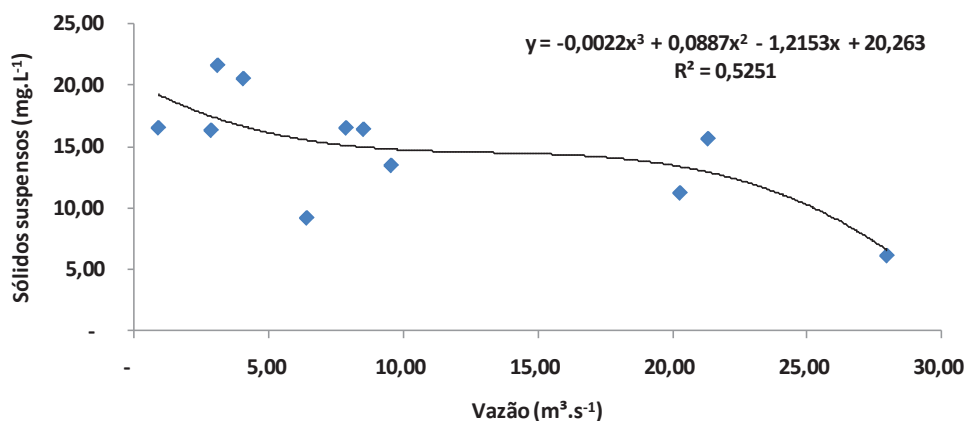


Figura 14 – Correlação de sólidos suspensos totais e vazão referente aos dados de P1 a P4, no período amostral no reservatório Itupararanga.

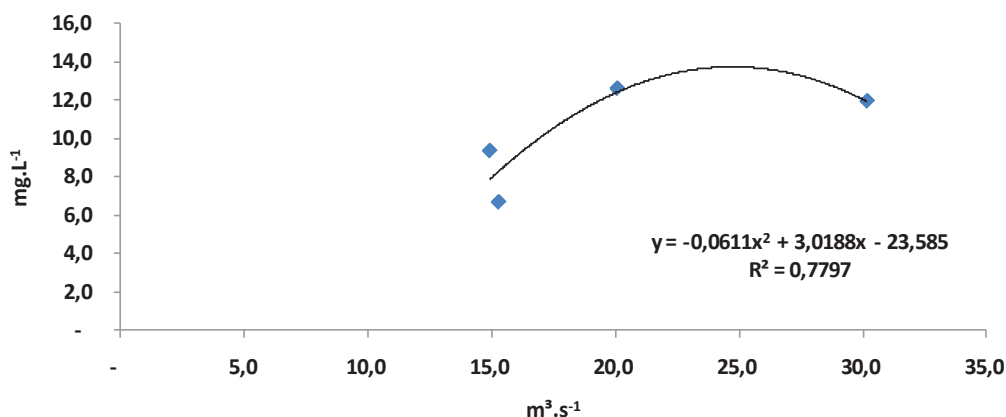


Figura 15 - Correlação de sólidos suspensos totais e vazão referente aos dados de P5, no período amostral no reservatório Itupararanga.

Sendo assim, 2090 toneladas de SST ficaram retidas no reservatório durante os meses de agosto/09, outubro/09, dezembro/09 e fevereiro/10.

A diferença entre os valores do balanço de massa realizado com todos os dados disponíveis para esta pesquisa difere em 15% se comparada à soma mês a mês da quantidade que entrou, saiu e, conseqüentemente, ficou no reservatório. Essa margem de erro é aceitável uma vez que a quantidade amostral é relativamente pequena. Sendo assim, possivelmente a amostragem apresentada neste item, que considera na análise matemática uma maior quantidade de dados, apresenta maior grau de significância ($p < 0,05$) estatística uma vez que seu número amostral é maior, o que potencialmente propicia um melhor ajuste na curva de integração gerada (Figura 14 e Figura 15).

O mesmo procedimento de integração matemática foi realizado relacionando-se os dados de vazão com as concentrações de PT para todas as amostragens. Contudo, a correlação baixa ($R^2 = 0,40$), mesmo excluindo-se pontos dispersos na análise estatística não propiciou a elaboração de uma curva estatisticamente confiável ($p < 0,05$) para se realizar a integral matemática e se quantificar o total de fósforo que entrou, saiu e ficou retido no reservatório.

Considerando-se todo o período amostral, constatou-se, integrando-se a melhor curva obtida entre os dados de SST e vazão (Figura 16), que o rio Sorocabuçu (P2) apresentou maior contribuição de SST para o reservatório Itupararanga, 1480 toneladas. Contudo, a maior contribuição em termos de vazão durante o período pesquisado foi do rio Sorocamirim (P3), com aproximadamente $30 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Isso corrobora, em todas as amostragens analisadas, as conclusões em relação à metodologia de Lewis e Saunders (1989) realizadas em todas as

amostragens desta pesquisa. Ou seja, o sistema de rios tributários ao reservatório Itupararanga possui características de vazão e concentração de sólidos totais inversamente proporcionais: o corpo hídrico com menor vazão (Sorocabuçu) apresentou maiores concentrações e contribuição de sólidos suspensos totais ao reservatório. Dai e colaboradores (2008), apesar de não terem avaliado seus dados com a metodologia de Lewis e Saunders (op. cit), chegaram às mesmas conclusões desta pesquisa na bacia do rio Pearl, China, onde o rio Hongshuihe apresentou menor vazão e maior contribuição de sólidos ao reservatório de Datengxia.

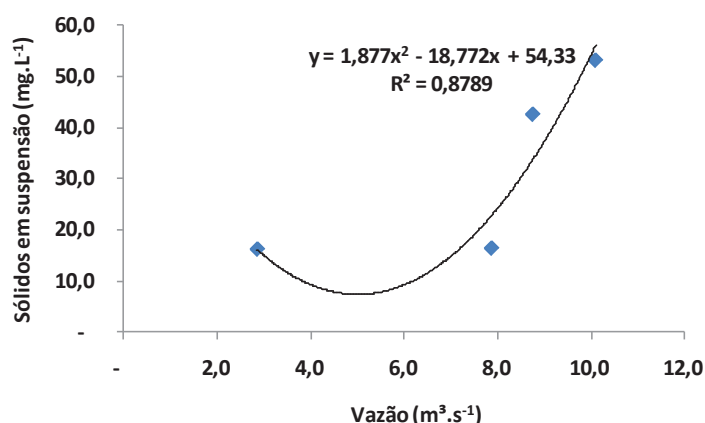


Figura 16 – SST (mg.L⁻¹) e vazão (m³.s⁻¹) do rio Sorocabuçu referente às quatro amostragens no reservatório Itupararanga.

Em todas as amostragens, observou-se que as concentrações de SST e PT estiveram bem correlacionadas com os valores de turbidez ($R^2 > 0,65$). Ou seja, tendo-se uma amostragem maior de dados, podem-se prever as concentrações de sólidos e fósforo totais apenas com dados de turbidez para os rios que alimentam o reservatório Itupararanga. Baseada numa extensa bibliografia sobre o assunto, Pereira (2008) realizou diversas modelações empíricas de variáveis limnológicas no reservatório Itupararanga, com conclusões estatisticamente significativas ($p < 0,05$), características também observadas neste estudo.

Assim, observa-se nas Figura 17 e Figura 18 a melhor reta obtida entre as variáveis SST, PT e turbidez e suas respectivas equações (eq.5 e eq. 6) propostas para o sistema tributário ao reservatório.

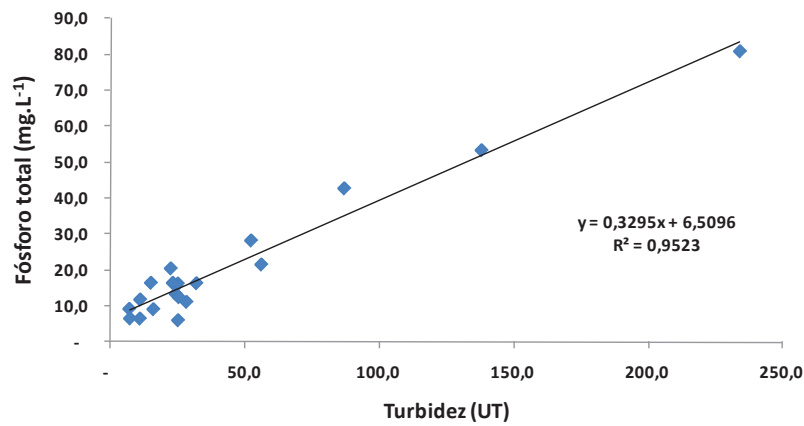


Figura 17 – Correlação de SST e turbidez no sistema de rios tributários ao reservatório Itupararanga.

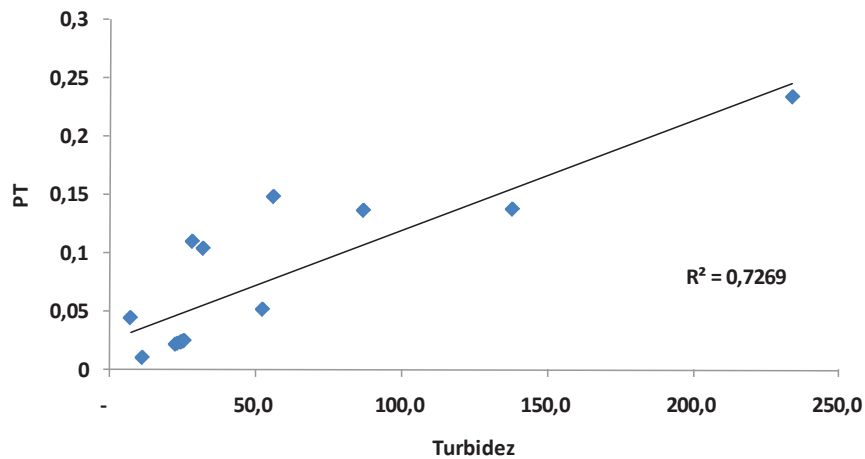


Figura 18 – Correlação de PT e turbidez no sistema de rios tributários ao reservatório Itupararanga.

$$SST=0,3295*turbidez+6,5096 \quad (\text{eq. 5})$$

$$PT=0,0009*turbidez+0,0257 \quad (\text{eq. 6})$$

A obtenção de mais dados ao longo do tempo pode gerar modelações mais precisas para o sistema de rios tributários ao reservatório. Porém, estatisticamente os modelos apresentados possuem relevância significativa ($p < 0,05$) e metodologia semelhante ao de Nadal-Romero e colaboradores (2008) e López-Tarazón e colaboradores (2009) os quais realizaram modelos semelhantes de predição de concentração de sólidos a partir da Turbidez,

sendo o último desenvolvido na bacia do rio Isábena também com pequeno número amostral (n=6) e correlação próxima ($R^2=0,94$) ao obtido nesta pesquisa.

Observou-se também que houve correlação significativa ($p<0,05$ e $R^2=0,90$) e diretamente proporcional entre a vazão de entrada e saída do reservatório Itupararanga. Ou seja, mesmo sendo controlada a vazão de saída (P5), observou-se que seu comportamento refletiu aquilo que seria o natural, a quantidade em volume que entraria naturalmente sairia do reservatório, caso não houvesse a barragem.

Visto que a estação P5 se localiza a uma distância aproximada de 12 km após a barragem do reservatório e pode sofrer alterações devido ao uso e ocupação no entorno do rio, analisou-se uma estação à jusante da barragem, em relação aos sólidos suspensos. Observou-se que as concentrações de sólidos suspensos orgânicos (SSO) apresentaram-se superiores às inorgânicas. A Figura 19 apresenta as concentrações médias de SSO da coluna de água, que foram sempre superiores às de SSI, fato não observado nas discussões acima. Ou seja, apenas com os dados de P5 não se poderia afirmar que o reservatório possuiria grau de trofia de meso a eutrófico como classificado por Carlson (op. cit).

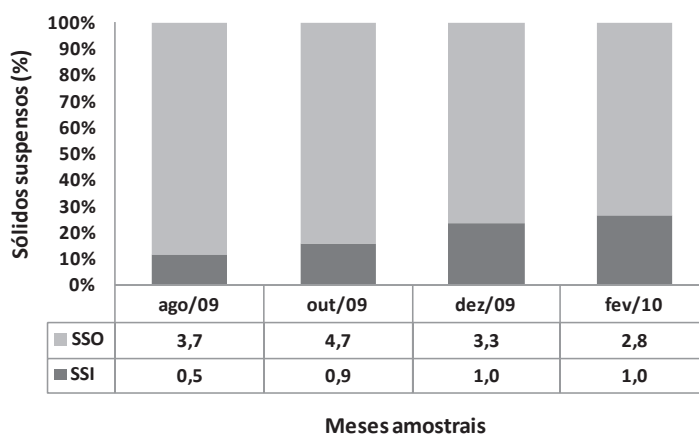


Figura 19 – Concentrações e percentuais de Sólidos Suspensos Orgânicos (SSO) e Inorgânicos (SSI) referentes a estação de amostragem próxima a barragem.

A diferença entre a estação amostral P5 e a próxima a barragem é espacial. Ou seja, esta contemplou amostras à jusante da barragem (aproximadamente 12 km, P5) e àquela à montante da barragem (aproximadamente 1 km). Assim, a distância da estação amostral P5 é considerável e pode sofrer influências externas (escoamento superficial e erosão) com carga inorgânica superior à orgânica. Os dados apresentados na Figura 19 são a média entre seis profundidades coletadas próximo a barragem. Analisando-as, constatou-se que em todas as

profundidades as concentrações de SSO foram sempre superiores aos de SSI na estação amostral a montante da barragem. Portanto, a posição espacial das estações amostrais foi fator decisivo para a mudança nas características da água, evidenciando a influência das características de entorno e a variável espacial em análises limnológicas.

Os objetivos principais determinados para esta pesquisa foram atingidos, tanto em análises laboratoriais para a determinação de dados quanto na elaboração de discussão com o emprego de ferramentas matemática e computacional.

Mais especificamente, avaliou-se e observou-se a variabilidade espacial que a precipitação pluviométrica exerce sobre a área de estudo, bem como suas conseqüências em relação às demais variáveis estudadas, principalmente nas concentrações de sólidos suspensos totais em função também do tipo de uso e/ou ocupação presentes nas bacias hidrográficas dos rios Una, Sorocabuçu, Sorocamirim e Sorocaba. A exceção observada foi na impossibilidade de se quantificar matematicamente o balanço de massa de fósforo total no sistema rios-reservatório, devido a sua baixa precisão da melhor curva gerada ($R^2=0,35$).

Elaboram-se também modelos empíricos de obtenção das variáveis sólidos suspensos totais e fósforo total a partir da turbidez. A obtenção de mais dados das referidas variáveis proporcionará uma melhor precisão para os modelos apresentados, fato esse que certamente acontecerá até o fim do projeto temático ao qual este estudo de iniciação científica se inseriu.

Recomenda-se que sejam elaboradas cartas batimétricas do reservatório, possibilitando assim quantificar precisamente sua vida útil a partir de dados de entrada e saída de sólidos suspensos e vazão como realizado neste estudo. Ainda, as características topográficas e o monitoramento de sua modificação ao longo do tempo são de relevante importância tanto na avaliação das variações das características limnológicas quanto nas possíveis conseqüências ambientais negativas a jusante do reservatório Itupararanga (bacia do rio Sorocaba).

Sendo assim, o presente estudo pode contribuir como ferramenta a todo processo de gestão e gerenciamento da bacia do rio Sorocaba, corroborando a melhoria de todos os aspectos referentes à sustentabilidade ambiental da bacia, e mais especificamente de toda a área adjacente ao reservatório Itupararanga.

6. *CONCLUSÃO*

Atendendo aos objetivos principais desta pesquisa, conclui-se que o reservatório Itupararanga atuou, nos meses amostrados, como retentor de sólidos suspensos totais e fósforo total, sendo possivelmente exportador dos mesmos quando na ocorrência de regimes pluviométricos intensos e moderados, respectivamente. Concluiu-se também que o que determinou a retenção ou exportação de SST e PT foi função da quantidade que entrou no reservatório, a qual esteve diretamente associada à quantidade de vegetação e ao tipo de ocupação nas bacias hidrográficas dos rios tributários ao reservatório Itupararanga.

7. BIBLIOGRAFIA

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2004). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh2004045.pdf> (acessado em 20/09/2009).
- AGOSTINHO, A.A; FERREIRA, V.S; JULIO JR, H.F.; MINTE-VERA, C.V.; OLIVEIRA, E.F; OKADA, E.K; PAGIORO, T.A; ROBERTO, M.C.; SUZUKI, H.I.; THOMAZ, S.M; ABUJANRA, F. (1997). Variações espaço-temporais na ictiofauna e suas relações com as condições limnológicas no reservatório de itaipu. Relatório anual. Maringá, PR. 330p.
- APHA – American Public Health Association (2005). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 25h edition. Washington.
- Banco Nacional de Desenvolvimento Economico e Social (BNDES). (2009). Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/s_eminario/hidrico_7.pdf (acessado em 27/11/2009).
- BORSOI, Z.M.F.; TORRES, S.D.A. (1997). Revista do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, BNDES. Disponível em: www.bndes.gov.br
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L; BARROS, M.T.L; VERAS JR, M.S; PORTO, M.F.A, NUCCI, N.L.R; JULIANO, N.M.A; EIGER,S. (2002). Introdução À Engenharia Ambiental. 2ª reimpressão. São Paulo. Ed Prentice Hall. 305p
- BRASIL (2005) – Resolução CONAMA 357/2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências - Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>.
- BURIOL, A.G; ESTEFANEL, VALDUINO; SWAROWSKY, ALEXANDRE; D’AVILA, RAFAEL FERRAZ. (2006). Homogeneidade e Estatísticas Descritivas dos Totais Mensais e Anuais de Chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 11v. 89-97p.
- CALIJURI, M.C. e TUNDISI, J.G. (1990). Limnologia Comparada das Represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita - Estado de São Paulo: Mecanismos de Funcionamento e Bases para o Gerenciamento. Rev. Brasileira de Biologia. V. 50. 893-913p.

- CALIJURI, M.C. E BUBEL, A.P.M. (2006). Conceituação de Microbacias. In: LIMA, W.P. e ZAKIA, M.J.B. (eds). Manejo Ambiental de Florestas Plantadas: Operacionalizando o Conceito de Microbacia como Unidade de Planejamento. Ed. Rima, São Carlos, SP.
- CALLISTO, M; MORENO,P; GONCALVES, J.F.; *et al.* (2002). Diversity and biomass of Chironomidae (Diptera) larvae in an impacted coastal lagoon in Rio de Janeiro, Brazil. *Braz. J. Biol.* v. 62, n.1, 77-84p.
- CARLSON, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography.* v. 22.
- CARVALHO, N.O. (1994). Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro. CPRM. 372p.
- DAI, S.B.; YANG, S.L.; CAI, A.M. (2008). Impacts of dams on the sediment flux of the Pearl River, southern China. *Catena* n. 76. 36-43p.
- ESTEVES, F.A. (1988). Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Interciencia, FINEP.
- GADELHA, C.L.M; FILGUEIRA, H.J.A; CAMPOS, L.F; QUININO, U.C.M. (2002). Bacia do Rio Gramame- Hidrologia e Aspectos Ambientais para Gestão dos seus Recursos Hídricos. 61p.
- GARCIA, J. P. M.; FREITAS, N. P.; FILHO, N. L. S. (1999). Caracterização geo-ambiental da Represa de Itupararanga. Disponível em: <http://IPE.ibrc.unesp.br/cbhsmt/projeto.html>.
- GENTHNER, C.; FERRARI, J.A.; KARMANN, I. (2003). Identificação das áreas de recarga de fontes cársticas com o uso do traçador rodamina FWT. Área carbonática Lajeado-Bombas, Iporanga-SP. *Rev. do Inst. Geo., SP.* v. 24(1/2). 11-23p.
- HENRY, R.; GOUVEIA, L. (1993). Os fluxos de nutrientes e seston em cursos de água do Alto Paranapanema (São Paulo) – Sua relação com usos de solo e morfologia das Bacias de drenagem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências.* v. 65. 439-451p.
- HENRY, R.; SANTOS, A.A.N.; CAMARGO, Y.R. (1999). Transporte de Sólidos Suspensos, N e P Total pelos Rios Paranapanema e Taquari e uma Avaliação de sua Exportação na Represa de Jurumirim. In: HENRY, R. (Ed). *Ecologia de reservatórios: Estrutura, Função e aspectos sociais.* Botucatu. FAPESP/FUNDIBIO. 799p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2007). Dispõe sobre censos estatísticos gerais sobre a população brasileira. Disponível em www.ibge.gov.br; Acessado em 17/02/2009.
- LEWIS JR, W.N.; SAUNDERS III, J.G. (1989). Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River. *Biogeochemistry.* 7v. 203-240p.

- LIMA, W.P. & ZAKIA, M.J.B. (1998). Indicadores hidrológicos em áreas florestais. Série Técnica IPEF. v. 12, n. 31, 53-64p.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnologia*. Barcelona: Ediciones Omega S. A. 1010p.
- MARTINELLI, L.A.; FERREIRA, J.R.; VICTORIA, R.L.; MORTATTI, J.; FORSBERG, B.R.; BONASSI, J.A.; OIVEIRA, E.; TANCREDI, A.C. (1988). Fluxo de nutrientes em alguns rios do Estado de Rondonia, Bacia do Rio Madeira. *Acta Lomnol. Bras.* v. 2. 911-930p.
- McNEIL, V. H.; COX, M.E. (2000). Relationship between conductivity and analysed composition in a large set of natural surface-water samples, Queensland, Australia. *Environmental Geology*. 39n.
- Ministério de Minas e Energia. Brasil. (2008). [www.mme.gov.br]. Acessado em 12/02/2009.
- NADAL-ROMERO, E.; LATRON, J.; MARTÍ-BONO, C.; REGUÉS, D. (2008). Temporal distribution of suspended sediment transport in a humid Mediterranean badland area: The Araguás catchment, Central Pyrenees. *Geomorphology*. 97n. 601-616p.
- ODUM, E.P. (1971). *Basic Ecology*. Ed Holt-Saunders Japan. Holt-Saunders international Editions. 3ª edição 13-16p.
- PEREIRA, A.C.F. (2008). Desenvolvimento de método para inferência de características físicas da água associadas às variações espectrais. Caso de Estudo: Reservatório de Iupararanga-SP. Orientadora: Maria de Lourdes Bueno Trindade Galo e Edivaldo Domingues Velini. Tese de doutorado apresentado à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista. 206p.
- PORTO, M.F.A.; BRANCO, S.M.; LUCA, S. J. (1991). *Hidrologia Ambiental*. Ed. da Associação Brasileira de Recursos Hídricos. v.3.
- RIBEIRO FILHO, R.A. (2006). Relações tróficas e Limnológicas no reservatório de Itaipu: uma análise do impacto da biomassa pesqueira nas comunidades planctônicas. Orientador Prof. Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espíndola. Tese de doutorado apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 94p.
- RICKEY, J.E.; HEDGES, J.I.; DEVOL, H.H.; QUAY, P.D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; FORSBERG, B.R. (1990). Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. *Lomnol. Oceanogr.* v.35. 352-371p.
- SALLES, M.H.D.; CONCEIÇÃO F.T.; ANGELUCCI, V.A. et al. (2008). Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba (SP). *Revista de estudos ambientais*. v. 10, 1n., 6-20p.

- SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M.; et al. (2008). Avaliação de balanço anual de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba (SP). *Revista Brasileira de Geociências*. v.38, 4n, 730-740.
- SEMA - Secretaria do meio ambiente (2007). Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo 2006. Informações referentes à 2005. Disponível em <http://www.sema.sp.gov.br>
- SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*. v. 27, 464-475p.
- SIOLI, H. (1978). *Limnologia e Ciência*. Boletim Paulista de Geografia. 93-105p.
- SMITH, W. R.; PETRERE, M. (2001). Peixes em represas: o caso de Itupararanga. *Ciência Hoje*, v. 29, n. 170, p 74-77
- SOUSA, C.J.S. (1998). Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada. Orientadora: Dra. Teresa Gallotti. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- STUDART, T.M.C. (2003). Escoamento Superficial. Disponível em: http://www.deha.ufc.br/ticiana/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_8_Escoamento_Superficial.pdf. Acesso em 18/02/2008.
- THOMAZ, S.M.; ROBERTO, M.C.; LANSAC-JOHA, F.A.; LIMA, A.F.; ESTEVES, E.A. (1992). Características limnológicas de uma estação de amostragem do Alto Rio Paraná e outra do Baixo Rio Ivinheima. *Acta Limnol. Bras.* v. 3. 32-51p.
- THORTON, K. W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. (1990). *Reservoirs limnology: ecological perspectives*. New York: Wiley. 246p.
- TUCCI, C. E. M. (2002). Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos. ANA-Agencia Nacional das Águas.
- TUNDISI, J. G. (2003). *Água no século XXI. Enfrentando a escassez*. São Carlos, SP: Rima Editora. 250p.
- VANNOTE, R.L.; MENSALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R.; CUSHING, C.E. (1980). The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37v. 30-137p.
- WARD, J.V. e STANFORD, J.A. (1983). The serial discontinuity concept in lotic ecosystems. In: FONTAINE, T.D. E BARTIELL, S.M. (Eds). *Dynamics of lotic ecosystems*. Ann Arbor: Ann Arbor Scien. Publ. 347-356p.

WETZEL, R.G. & LIKENS, G.E. (1991). *Limnological Analyses*. Springer-Verlag, 2^aed. New York. 391p.

WETZEL, R.G. (1983). *Limnology*. CBS College Publishing. 2^o ed. 255p.

WOOD, F.L.; HEATHWAITE, A.L.; HAYGARTH, P.M. (2005). Evaluating diffuse and point phosphorus contributions to river transfer at different scales in the Taw catchment, Devon, UK. *Journal of Hydrology*. 304n. 118-138p.