

---

## LEVANTAMENTO DAS CARGAS ORGÂNICAS LANÇADAS NOS RIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Luiz Antonio Martinelli<sup>1</sup>, Alexandre Marco da Silva<sup>1</sup>, Plínio Barbosa de Camargo<sup>1</sup>, Luiz Roberto Moretti<sup>2</sup>, Andréa Cristina Tomazelli<sup>4</sup>, Daniela Mariano Lopes da Silva<sup>1</sup>, Evandro Gaiad Fischer<sup>3</sup>, Kathia Cristhina Sonoda<sup>1</sup>, Marcos S. M. B. Salomão<sup>1</sup>

Biota Neotropica Volume (2) -<http://www.biotaneotropica.org.br/v2n2/pt/abstract?article+BN01502022002>

Recebido em 22/05/2002

Revisado em 12/08/2002

Publicado em 22/08/2002

<sup>1</sup>Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Av. Centenário 303, 13416-000, Piracicaba-SP. E-mail: [zebu@cena.usp.br](mailto:zebu@cena.usp.br)

<sup>2</sup>Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo e Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

<sup>3</sup>CETESB

<sup>4</sup>Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, USP

### Abstract

Based on population data provided by the 2000 IBGE census, the volume of domestic sewage, the volume of treated sewage, the potential and remnant domestic sewage loads and the equivalent carbon and nitrogen loads were estimated for each one of the 645 counties of the São Paulo State and for the catchments of the rivers Piracicaba, Mogi-Guaçu, Turvo, Peixe, Aguapeí, São José dos Dourados, Itapetininga, Apiaí, Taquari, and Paranapanema. In order to estimate these parameters the existence of sewage collecting system, and the existence of any kind of sewage treatment in each county of the State were taken into account. The database generated in this study may be found at [www.cena.usp.br/biota](http://www.cena.usp.br/biota). Despite of the historical attempts of the São Paulo State government in treating sewage, only 17% of the sewage volume produced in the State has some type of treatment before it is launched to rivers. Consequently, the load of untreated sewage is indeed very large. This input of extra organic matter causes severe alterations in water bodies. Among the catchments we have analyzed the Piracicaba River basin is the most affected by domestic sewage, followed by Mogi-Guaçu and Turvo basins. On the other hand, the basins of the rivers Itapetininga, Apiaí, Taquari and Paranapanema are the least affected.

**Key Words:** rivers, watersheds, pollution, sewage, organic load.

### Resumo

Os parâmetros: volume de esgoto gerado, volume de esgoto tratado, cargas poluidoras domiciliar potencial e remanescente, cargas equivalentes de carbono e nitrogênio foram estimados neste estudo a partir dos dados populacionais do censo 2000 do IBGE para todos os municípios do Estado de São Paulo bem como as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Mogi-Guaçu, Turvo, Peixe, Aguapeí, São José dos Dourados, Itapetininga, Apiaí, Taquari e Paranapanema. Para essas estimativas foram levados em consideração o nível de atendimento das populações pela existência de redes coletoras de esgoto e a existência ou não de algum tipo de tratamento de esgoto em cada município do Estado. Todas essas estimativas encontram-se disponíveis em [www.cena.usp.br/biota](http://www.cena.usp.br/biota). Apesar da preocupação histórica do Governo Paulista com saneamento básico, somente 17% do esgoto gerado no Estado sofre algum tipo de tratamento prévio. Portanto, a carga domiciliar remanescente é extremamente elevada. Esse aporte extra de matéria orgânica causa mudanças profundas nos corpos hídricos receptores. Dentre as bacias hidrográficas acima citadas, a bacia do rio Piracicaba é a mais severamente afetada por despejos de esgoto doméstico, seguida pelas bacias dos rios Mogi e Turvo. Por outro lado, as bacias do Alto Paranapanema (Itapetininga, Apiaí, Taquari e Paranapanema) são as menos afetadas.

**Palavras-chave:** rios, bacias hidrográficas, poluição, esgoto, cargas orgânicas.

## 1. Introdução

Um dos maiores problemas ambientais do Brasil é a grande carga de esgoto lançada aos corpos hídricos sem um prévio tratamento adequado. Dos 9.948 distritos pesquisados pelo IBGE, somente 1.383 (14%) têm algum tipo de tratamento para esgoto domiciliar ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)). No Estado de São Paulo, em meados do século XIX, o governo da província de São Paulo demonstrava preocupação com o saneamento básico. Aquele governo inaugurou o primeiro distrito de esgoto em 1883, no bairro da Luz, quando a cidade de São Paulo tinha somente cerca de 20.000 habitantes ([www.recursoshidricos.sp.gov.br](http://www.recursoshidricos.sp.gov.br)). Atualmente, o governo paulista reconhece que "o ambiente salubre, indispensável à segurança sanitária e à melhoria da qualidade de vida, é direito de todos, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de assegurá-lo" ([www.recursoshidricos.sp.gov.br](http://www.recursoshidricos.sp.gov.br)). Mais de um século após a inauguração do 1º distrito de esgoto, em 1992, promulgou-se a lei 7.750, que dispõe sobre a política estadual de saneamento de São Paulo, porém ainda hoje vivemos uma situação grave quanto ao tratamento de esgoto doméstico no Estado.

O aporte adicional de matéria orgânica propiciado pelos esgotos modifica o funcionamento básico dos sistemas aquáticos, interferindo na flora e na fauna local (VanderPeek & VanGaans, 1997; Dauba et al., 1997; Noppe et al., 1999; Goni-Urriza et al., 1999; Wass & Leeks, 1999; Naden & Cooper, 1999; Koning & Ross, 1999). Vários estudos realizados na bacia do rio Piracicaba demonstram que a concentração e a variação de gases biogênicos, como oxigênio dissolvido e gás carbônico livre, é totalmente modificada pela carga de esgoto (Martinelli et al., 1999a; Ballester et al., 1999; Daniel et al., 2002). Além dos gases, a distribuição do carbono orgânico dissolvido e particulado também é alterada, aumentando as concentrações dessas formas de carbono e de nitrogênio particulado e inorgânico dissolvido (Martinelli et al., 1999b; Krusche et al., no prelo). Como nitrogênio é um nutriente limitante, esse aporte extra pode causar sérios problemas de eutrofização em reservatórios, como pode ser observado no reservatório de Salto Grande, em Americana ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)). Essas modificações têm o potencial de alterar a distribuição das espécies animais e vegetais e, conseqüentemente, interferir na biodiversidade local. Por exemplo, foi observada uma mudança acentuada na população de macroinvertebrados bentônicos nas áreas mais afetadas da bacia do rio Piracicaba em comparação às áreas mais preservadas (Ometto et al., 2001). Outro fator relevante ligado ao saneamento básico é a saúde pública ([www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br)). Para ilustrar a idéia da relevância desse setor, cerca de 70 a 80% dos leitos hospitalares nos países desenvolvidos são ocupados por pacientes com doenças veiculadas pela água (Wurzel, 1993). Benicio & Monteiro (2000) atribuíram a melhoria no suprimento de água, como sendo uma das principais causas do decréscimo de casos de diarreia entre crianças na cidade de São Paulo.

Pelos motivos acima citados, é de suma importância que se conheçam as cargas poluidoras de origem doméstica

no Estado de São Paulo. No entanto, somente mais recentemente, os Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo realizaram levantamentos precisos sobre as cargas poluidoras de origem doméstica nas Unidades Hidrográficas de Gerenciamentos dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Os resultados estão nos Relatórios Iniciais de Situação, denominados Relatórios Zero. Apesar da importância desses relatórios, as informações sobre cada município encontram-se dispersas em cerca de 22 relatórios, os quais nem sempre se encontram em um formato digital prontamente utilizável (pdf), tornando seu manuseio e mesmo a utilização dos dados uma tarefa extremamente árdua. A CETESB, por meio do Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo ano 2000 ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)) também estimou as cargas poluidoras de origem doméstica para cada município do Estado. Estes municípios foram agrupados conforme as Unidades Hidrográficas de Gerenciamentos dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Da mesma forma, esse documento encontra-se disponível num formato digital (pdf) de difícil manuseio e utilização dos dados. Além disso, o documento não especifica como foram feitas as estimativas de carga poluidora, tornando difícil a interpretação. O banco de dados proveniente deste levantamento será de fácil acesso e, também, auxiliará na correlação entre os fatores bióticos e abióticos, levando a um melhor entendimento das alterações ocorridas nos *habitats* e, conseqüentemente, nas comunidades aquáticas.

Sendo assim, o objetivo desse estudo é estimar, a partir de dados populacionais, a carga poluidora doméstica dos 645 municípios que compõem o Estado de São Paulo e, em seguida agrupá-los de tal modo que permitam o cálculo da carga poluidora doméstica das seguintes bacias hidrográficas do Estado: Alto Paranapanema, Aguapeí, Peixe, São José dos Dourados e Turvo. Essas bacias foram selecionadas por serem consideradas regiões importantes quanto à biodiversidade aquática no Estado de São Paulo segundo o programa BIOTA-FAPESP. Além dessas bacias, foram também estimadas as cargas para as bacias dos rios Mogi-Guaçu e Piracicaba. Estas duas bacias recebem uma carga poluidora alta, menor somente que a região metropolitana da cidade de São Paulo.

## 2. Material e Métodos

A menor unidade territorial de análise considerada neste estudo foi o município, uma vez que os dados sobre população encontravam-se disponíveis somente nesse nível de organização territorial. Os seguintes parâmetros foram retirados da Fundação Seade ([www.seade.gov.br](http://www.seade.gov.br)): número de habitantes no ano 2000 (P), população urbana no ano 2000 (PU), área do município (A), percentual de esgoto tratado no ano de 1997 (ET), percentual da população do município que foi atendida pela rede sanitária no ano de 1991 (RE). Uma exceção notável nesse procedimento foi feita para o Município de São Paulo. Devido à sua grande população, esse município tem um peso importante em relação ao restante do Estado.

Provavelmente por engano, no banco de dados do SEADE, o percentual de esgoto tratado no ano de 1997 era de 100%. Por acharmos muito elevada essa cifra, fizemos várias consultas e chegamos à conclusão que o percentual de esgoto tratado nesse Município foi de no máximo 10%, valor que foi adotado nesse estudo. Em seguida, conferimos, através de consultas, a percentagem de esgoto

tratado dos 20 municípios mais poluidores, tentando evitar enganos como o constatado para o Município de São Paulo.

Com os parâmetros citados acima foram calculadas as seguintes variáveis:

*Taxa de urbanização (%)* Indica o percentual da população que vive em centros urbanos em relação à população total do município. Foi obtida pela seguinte equação:

$$TU(\%) = \frac{PU}{P} \cdot 100 \quad (1)$$

*Densidade demográfica (habitantes.km<sup>-2</sup>)* – Indica o número de habitantes do município pela unidade de área. Foi obtido pela seguinte equação:

$$D = \frac{P}{A} \quad (2)$$

*Volume de esgoto gerado (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>)* – É o volume de esgoto gerado por habitante por dia. Foi obtido pela seguinte equação:

$$VE = PU \cdot \frac{RE}{100} \cdot f1 \quad (3)$$

onde: *f1* é a produção média diária de esgoto por habitante (0,180 m<sup>3</sup>/dia).

*Volume de esgoto tratado (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>)* – É o volume de esgoto gerado que sofre algum tipo de tratamento. Foi obtido pela seguinte equação:

$$VET = VE \cdot \frac{ET}{100} \quad (4)$$

*Volume de esgoto não tratado (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>)* – É o volume de esgoto gerado que não é tratado. Foi obtido pela seguinte equação:

$$VENT = VE - VET \quad (5)$$

*Carga poluidora domiciliar potencial (kgDBO.dia<sup>-1</sup>)* – É a carga de esgoto doméstico gerada pelos habitantes. Classicamente é expressa em massa de DBO pela unidade de tempo. DBO é a abreviatura de demanda biológica de oxigênio e representa a atividade metabólica requerida para mineralizar uma carga orgânica. Em outras palavras, é a quantidade de oxigênio utilizada para mineralizar uma certa carga orgânica. Desse modo é proporcional a quantidade de carbono orgânico que é lançada em um corpo receptor:

$$CPDP = P \cdot RE \cdot f2 \quad (6)$$

onde: *f2* é a produção média diária de esgoto por habitante, expressa em DBO (0,054 kg de DBO.dia<sup>-1</sup>.habitante<sup>-1</sup>).

*Carga poluidora domiciliar remanescente (kgDBO.dia<sup>-1</sup>)* – É a carga de esgoto que efetivamente foi lançada em algum corpo hídrico. Portanto, é a diferença entre a carga poluidora potencial e a carga que foi tratada. Foi obtida pela seguinte equação:

$$CPDR = CPDP \cdot \left(1 - \frac{ET}{100}\right) \cdot \frac{ef}{100} \quad (7)$$

onde: *ef* é a eficiência do sistema de tratamento de esgoto empregado. As seguintes eficiências foram consideradas: lagoa de estabilização – 80%, lagoa facultativa – 80%, lagoa anaeróbica – 85%, fossa-filtro – 70% e gradeamento primário – 5%.

*Carga equivalente de carbono (kgC.dia<sup>-1</sup>)* – É a carga poluidora domiciliar remanescente expressa em massa de carbono em vez de massa de DBO. A conversão de DBO para carbono foi feita utilizando-se seguinte equação, proposta por Fadini & Jardim (Fadini & Jardim, dados não publicados):

$$CEC = 0,402 \cdot CPDR \quad (8)$$

*Carga equivalente de nitrogênio (kgN.dia<sup>-1</sup>)* – É a carga de nitrogênio gerada por habitante por dia. Segundo Meybeck (1982), cada habitante gera em média 3,3 kgN.di<sup>-1</sup>. Foi obtida pela seguinte equação:

$$CEN = PU \cdot \left(1 - \frac{ET}{100}\right) \cdot 3,3 \quad (9)$$

O agrupamento dos municípios por bacia foi feito a partir das informações obtidas nos Relatórios Zero. Para efeito de estimativa de cargas orgânicas domiciliares foi consultado nos respectivos Relatórios Zero o corpo hídrico e, conseqüentemente, a bacia hidrográfica que cada sede de município lançava seus esgotos. A somatória da carga de cada município que compunha uma determinada bacia

hidrográfica constituiu-se na carga total daquela determinada bacia. Nesse estudo, foram consideradas as seguintes bacias hidrográficas: Alto Paranapanema, subdividida nas bacias dos rios Itapetininga, Paranapanema, Apiaí-Guaçu e Taquari, além das bacias dos rios do Peixe, Aguapeí, São José dos Dourados, Turvo, Mogi-Guaçu e Piracicaba (Fig. 1).

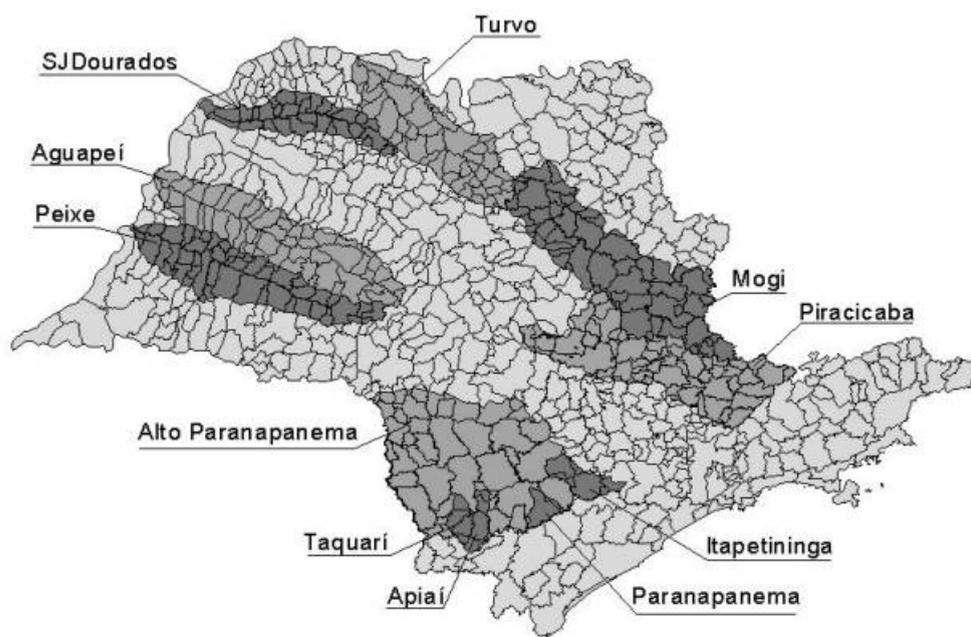


Figura 1. Localização das áreas de estudo (bacias hidrográficas) no estado de São Paulo.

Os mapas mostrados no presente trabalho foram gerados a partir de duas principais fontes de informação: o banco de dados do Seade ([www.seade.gov.br](http://www.seade.gov.br)) e a malha digital municipal do Brasil (IBGE, 2000). O mapa do Estado de São Paulo, formado por 645 municípios, foi separado do mapa municipal do Brasil através do uso do software Arcview 3.1 (ESRI, 1996). Com a planilha de dados já elaborada, procedeu-se a adição desta planilha eletrônica junto ao arquivo digital da malha municipal do Brasil, por meio do software Arcview (comando “join tables”). O Arcview permite a manipulação da legenda, bem como a reordenação dos dados conforme os objetivos de elaboração dos mapas. Sendo assim, após essa etapa, procedeu-se a manipulação dos dados para obter-se os mapas de interesse. A delimitação da área de drenagem de cada uma das bacias estudadas também foi feita através do uso do Arcview. Utilizando-se imagens de satélite georreferenciadas como imagem de fundo, analisou-se os divisores de água ao longo de cada bacia e realizou-se a digitalização de cada polígono. Posteriormente, criou-se o “layer” referente à área de drenagem da bacia. Este procedimento foi adotado para cada uma das bacias estudadas no presente trabalho. Em seguida, fez-se a intersecção entre os “layers” da malha municipal do Estado de São Paulo e cada uma das bacias, a fim de gerar um novo

arquivo que corresponde à malha municipal que está inserida exatamente dentro da bacia de drenagem.

### 2.1. Incertezas associadas às estimativas

A maioria dos parâmetros estimados nesse estudo foi baseada em dados de censos demográficos. Portanto, existem erros inerentes a tais estimativas. Os dados de nível de atendimento de rede coletora de esgoto são referentes ao ano de 1991. Portanto, são dados relativamente antigos que, em alguns casos, já foram modificados. O ideal seria uma consulta a cada um dos 645 municípios do Estado, o que seria uma tarefa para os organismos estaduais e federais, fugindo assim do escopo desse trabalho. Para o cálculo de volume de esgoto e para as cargas domiciliares utilizam-se constantes que multiplicadas pelo número de habitantes resultam nos parâmetros mencionados. Portanto, as constantes são valores médios que não levam em conta, por exemplo, particularidades regionais. Outra fonte de incerteza é o tipo de tratamento de esgoto que cada município emprega e qual a eficiência de cada tipo de tratamento. Seria inviável buscar esse tipo de informação em cada município que têm algum tipo de tratamento de esgoto. Portanto, foram empregadas eficiências médias encontradas na literatura.

Quanto ao trabalho de agrupamento dos municípios

por bacias hidrográficas, a maior fonte de incerteza foi quanto àqueles municípios que lançam seus esgotos em duas bacias distintas. É extremamente difícil saber o percentual de lançamento em cada bacia. Na maioria das vezes foram consultados os Relatórios Zero e em alguns casos, como o de Campinas, o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE). Outro aspecto importante é o não georeferenciamento dos pontos de lançamento de esgoto domiciliar. Apenas sabemos que uma determinada cidade lança uma certa quantidade de esgoto, mas não temos a longitude e a latitude do ponto de lançamento. Esse fato faz com que nossos mapas sejam apresentados em nível de município e não em relação a uma determinada coordenada geográfica.

### 3. Resultados

#### 3.1. O Estado de São Paulo

O Estado de São Paulo com área de aproximadamente 250 mil km<sup>2</sup> totalizava uma população de cerca de 37 milhões de habitantes no ano 2000 ([www.seade.gov.br](http://www.seade.gov.br)). Quanto à área ocupada pelos municípios paulistas, a maioria deles (65%) fica entre 100 e 500 km<sup>2</sup>. Somente 10% dos municípios têm áreas menores que 100 km<sup>2</sup> e,

somente 6%, maiores que 1000 km<sup>2</sup> (Fig. 2). Quase a metade dos municípios paulistas têm uma população menor que 10 mil habitantes e cerca de 80% dos municípios têm uma população maior que 50 mil habitantes (Fig. 3). Os municípios com maior população concentram-se na parte leste do Estado, especialmente na região sudeste (Fig. 3a). A maioria dos municípios (70%) tem densidades populacionais variando entre 10 e 100 hab.km<sup>2</sup>. Somente 6% tem uma densidade populacional menor que 10 hab.km<sup>2</sup> e somente 25% acima de 100 hab.km<sup>2</sup> (Fig. 4). As maiores densidades populacionais foram observadas nos municípios de maior população e também se concentram na região sudeste do Estado (Fig. 3b). Finalmente, a maioria da população concentra-se em centros urbanos. Somente cerca de 20% dos municípios têm uma taxa de urbanização menor que 70%. Conseqüentemente, 80% dos municípios têm uma taxa de urbanização acima de 70%, sendo que em 32% dos municípios a taxa de urbanização é maior que 90% (Fig. 5). A taxa de urbanização de todo o Estado de São Paulo é de cerca de 93% ([www.seade.gov.br](http://www.seade.gov.br)). Novamente, os municípios com maiores taxas de urbanização concentram-se na porção leste do Estado, especialmente na região sudeste (Fig. 3c).

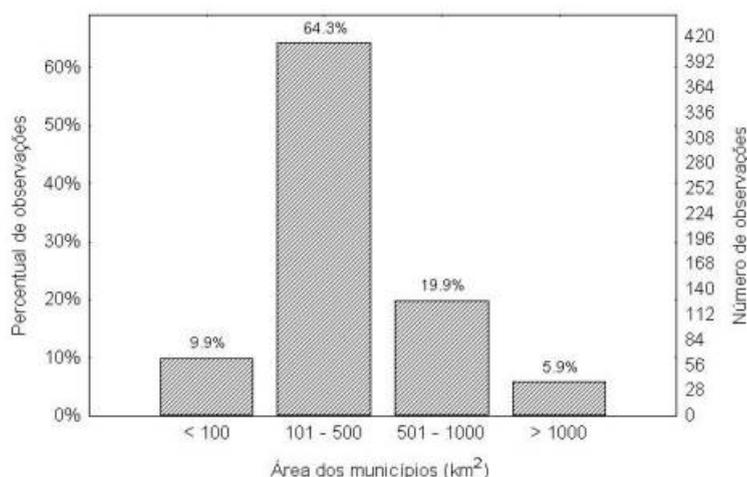


Figura 2. Relação percentual das áreas ocupadas pelos municípios.

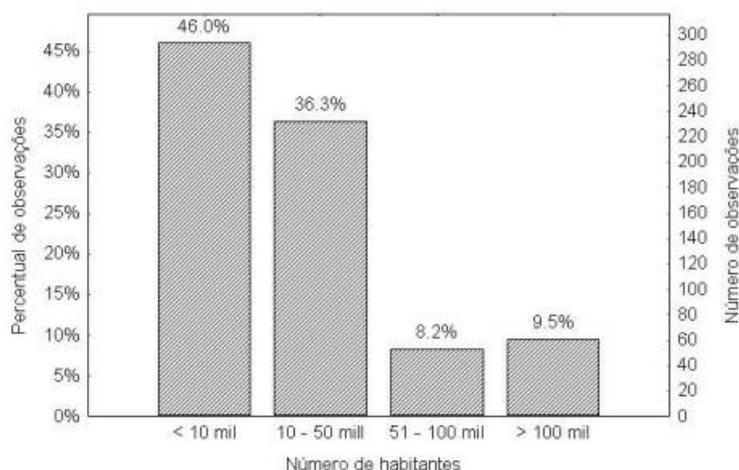
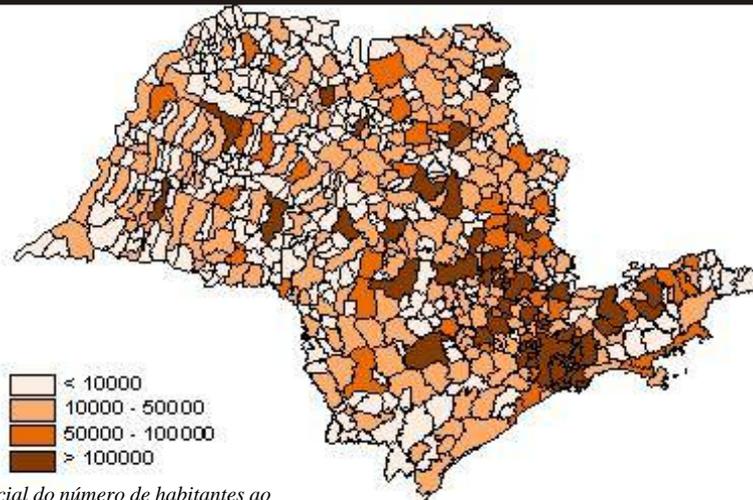
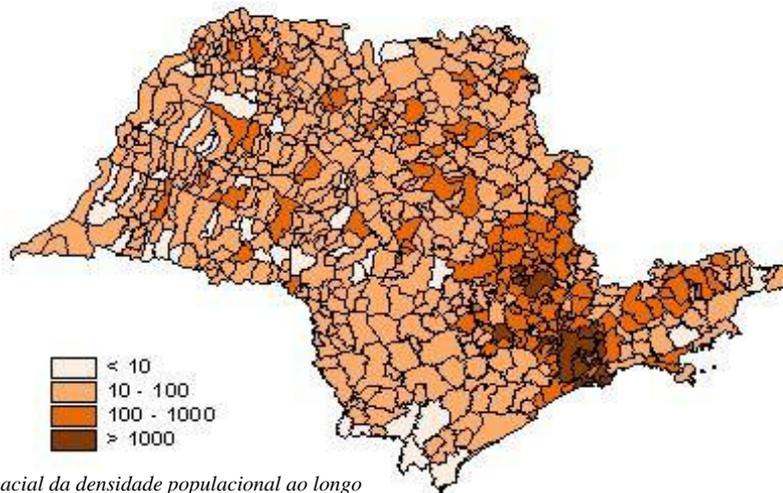


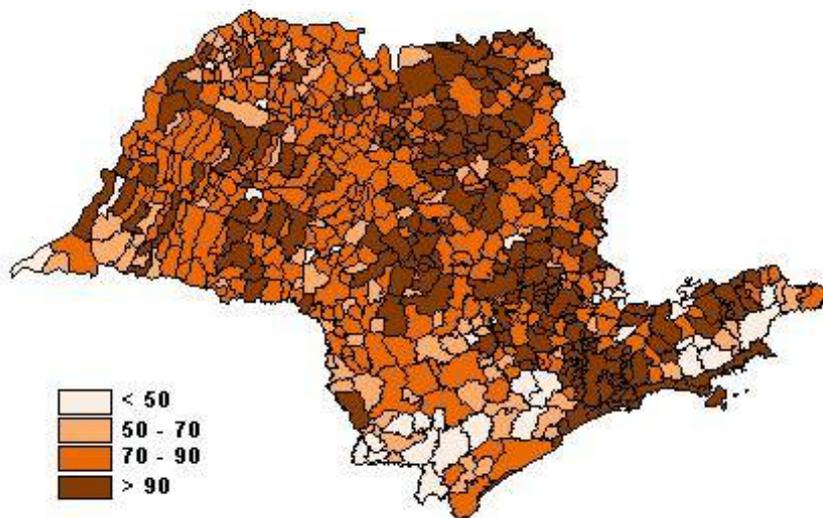
Figura 3. Relação percentual do número de habitantes dos municípios



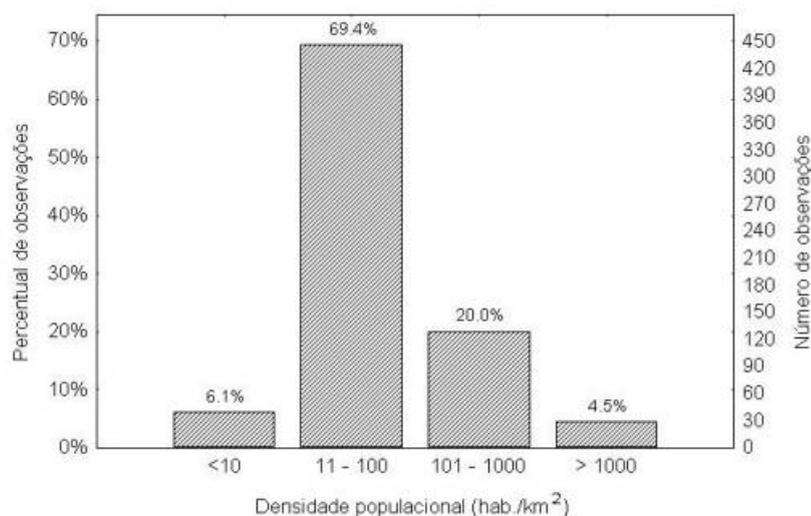
**Figura 3a.** Distribuição espacial do número de habitantes ao longo do estado de São Paulo.



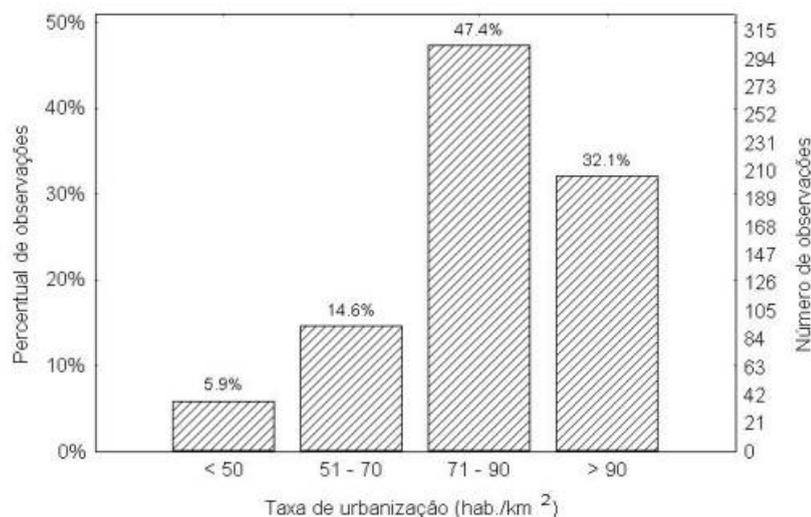
**Figura 3b.** Distribuição espacial da densidade populacional ao longo do estado de São Paulo.



**Figura 3c.** Distribuição espacial da taxa de urbanização nos municípios ao longo do estado de São Paulo.



**Figura 4.** Relação percentual da densidade populacional dos municípios.



**Figura 5.** Relação percentual da taxa de urbanização dos municípios

A percentagem de atendimento, ou seja, a percentagem da população urbana que é servida com rede de esgoto é bastante significativa (Fig. 6). Aproximadamente 50% dos municípios do Estado têm um nível de atendimento acima de 90%, sendo que para todo o Estado, este é de aproximadamente 80%. Os municípios com maiores níveis de atendimento concentram-se particularmente na região nordeste do Estado (Fig. 7a). Por outro lado, em cerca de 40% dos municípios do Estado não há nenhum tratamento prévio do esgoto e, em quase 50%, mais de 90% da carga de esgoto doméstico é tratada (Fig. 8). Dos municípios que tratam 100% de seus esgotos domésticos, cerca de 70% são pequenos municípios com uma população menor que 10 mil habitantes (Fig. 9). Somente 3% dos municípios com uma população maior que 100 mil habitantes tratam integralmente seus esgotos. Duas regiões do Estado se destacam quanto à percentagem de esgoto tratado: a região oeste e a região sul sudeste (Fig. 7b).

Em termos de volume de esgoto, considerando-se todo o Estado, são gerados quase cinco milhões de m<sup>3</sup>, sendo que somente a metade sofre algum tipo de tratamento. Em função da população, o total potencial de carga poluidora domiciliar do Estado de São Paulo é de 1,5 milhões kgDBO.dia<sup>-1</sup>. Dentre os municípios, somente 16% geram uma carga domiciliar potencial menor que 100 kgDBO.dia<sup>-1</sup> (Fig. 10). Mais da metade dos municípios geram uma carga entre 100 e 1000 kgDBO.dia<sup>-1</sup> e cerca de 30% geram uma carga acima de 1000 kgDBO.dia<sup>-1</sup>. A carga domiciliar potencial concentra-se principalmente na região de maior população, uma vez que a sua estimativa é baseada principalmente no número de habitantes (Fig. 7c). Como cerca de 17% do total de volume de esgoto doméstico do Estado de São Paulo sofre algum tipo de tratamento, o total da carga domiciliar remanescente foi cerca de 1,24 milhões de kgDBO.dia<sup>-1</sup>, sendo que em cerca de 40% dos municípios a carga remanescente foi menor que 100

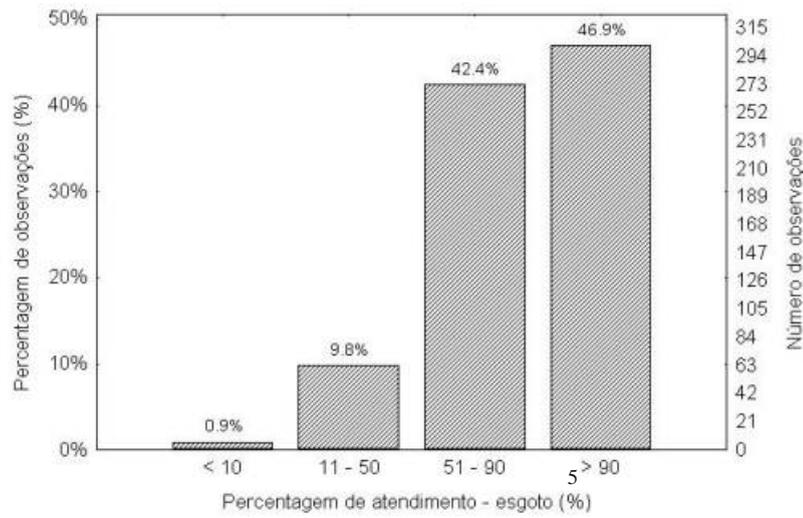


Figura 6. Relação percentual da população que é servida com rede de esgoto nos municípios

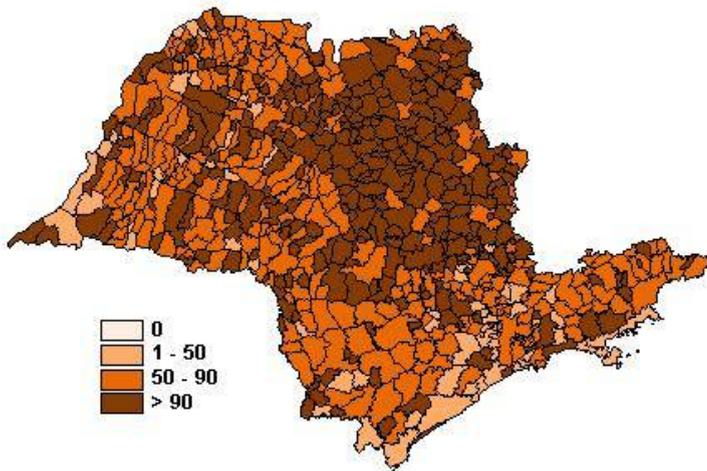


Figura 7a. Distribuição espacial da população que é servida com rede de esgoto nos municípios.

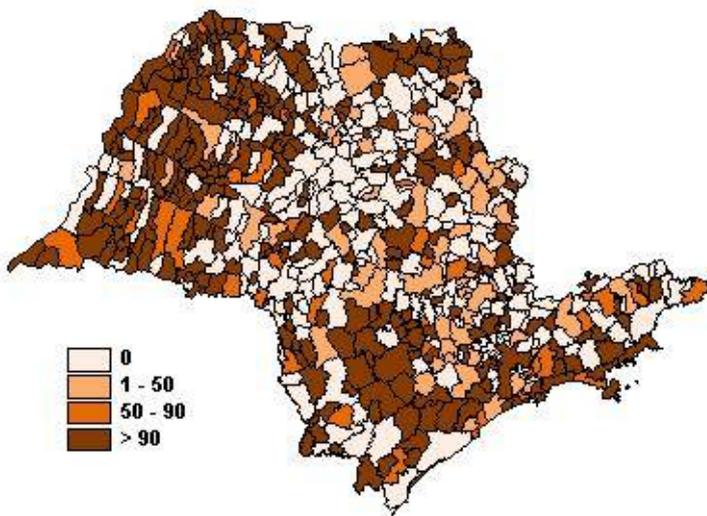
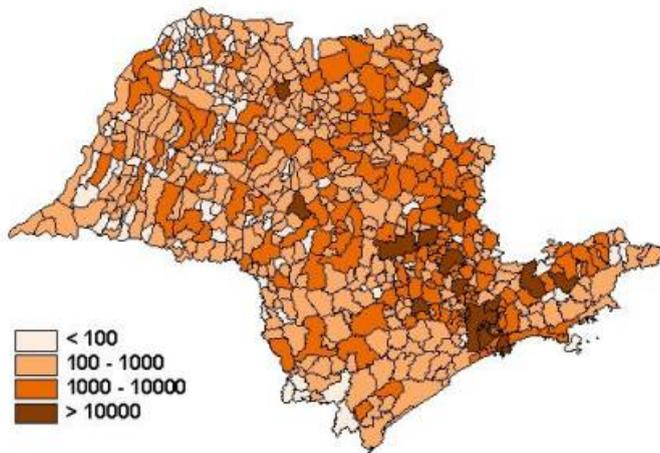
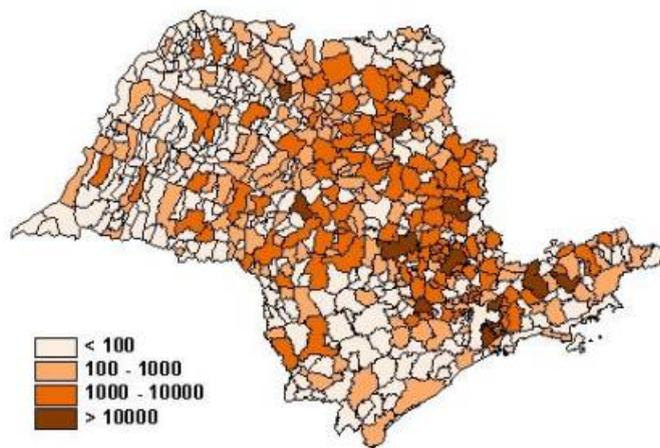


Figura 7b. Distribuição espacial da porcentagem de esgoto tratado nos municípios.

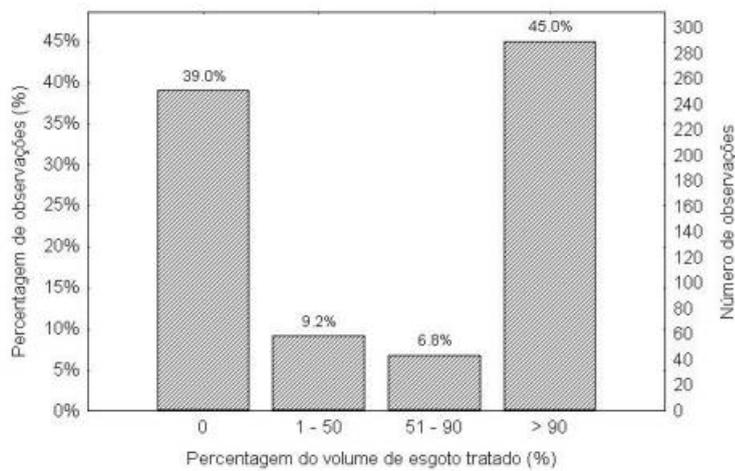


**Figura 7c.** Distribuição espacial da carga poluidora domiciliar potencial nos municípios

**Carga domiciliar remanescente (kgDBO/dia)**



**Figura 7d.** Distribuição espacial da carga poluidora domiciliar remanescente nos municípios.



**Figura 8.** Relação percentual do volume de esgoto tratado nos municípios.

kgDBO.dia<sup>-1</sup> e em 38% variou de 101 a 1000 kgDBO.dia<sup>-1</sup> (Fig. 11). Cerca de 20% dos municípios possuem uma carga acima de 1000 kgDBO.dia<sup>-1</sup>. Somente 30 municípios são responsáveis por cerca de 78% da carga domiciliar remanescente em todo o Estado (Fig. 12). A carga domiciliar remanescente leva em conta o percentual de esgoto tratado. Como os municípios mais populosos do Estado tratam um baixo volume de seus esgotos, a carga remanescente também concentra-se nos municípios mais populosos, os quais concentram-se na região leste do Estado, especialmente próximos à cidade de Piracicaba e ao longo do vale do rio Paraíba (Fig. 7d). Como a carga equivalente de carbono é convertida por uma equação de reta da carga domiciliar poluidora remanescente, a frequência dos valores foi muito similar entre as mesmas (Figs. 13 e 13a). Cerca de 90% dos municípios apresentaram uma carga de carbono menor que 1000 kgC.dia<sup>-1</sup>. A carga equivalente de nitrogênio também teve uma distribuição semelhante às outras duas cargas discutidas anteriormente (Figs. 14 e 14a). Da mesma forma, a grande maioria dos municípios teve carga menor que 1000 kgN.dia<sup>-1</sup>.

### 3.2. As bacias hidrográficas

Os dados foram agrupados por bacias hidrográficas, que por sua vez foram selecionadas de acordo com o interesse científico que temos nessas bacias. A bacia do rio Piracicaba é a mais populosa, com aproximadamente 3,4 milhões de habitantes e, a menos populosa, é a do Paranapanema (Tab. 1). As bacias do Piracicaba, Mogi-Guaçu, Turvo e Peixe têm uma taxa de urbanização acima de 90%, similar à do Estado de São Paulo. Enquanto as sub-bacias do Alto Paranapanema - Apiaí, Itapetinga, Paranapanema e Taquari - têm as menores taxas de urbanização, variando de 64% a 82% (Tab. 1). Intermediariamente, as bacias do Aguapeí e São José dos Dourados, têm uma taxa de urbanização de 89% e 85%, respectivamente. A maior densidade demográfica foi observada na bacia do rio Piracicaba, 341 hab/km<sup>2</sup>, correspondente a cerca de duas vezes a densidade média do Estado de São Paulo (Tab. 1) As densidades demográficas das bacias do Mogi, Peixe e Turvo foram cerca de 3 vezes menores que as da bacia do rio Piracicaba (Tab. 1). Os restantes das bacias, especialmente as sub-bacias do Alto Paranapanema (Tab. 1), têm densidades ainda menores que

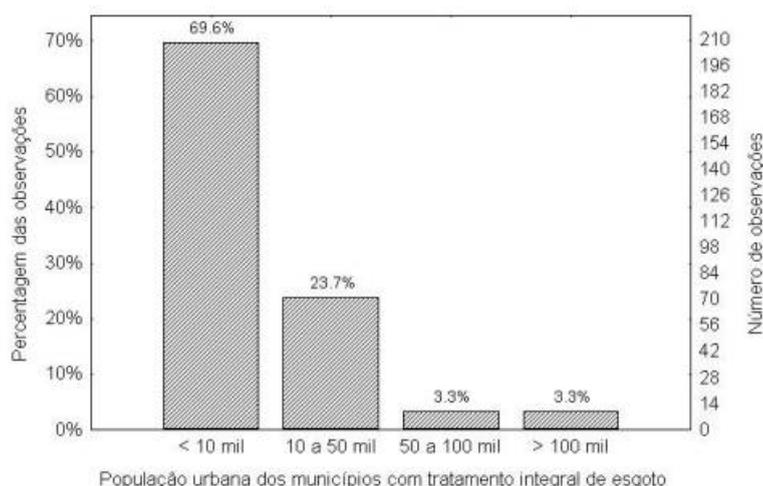


Figura 9. Relação percentual dos municípios que possuem tratamento integral de esgoto.

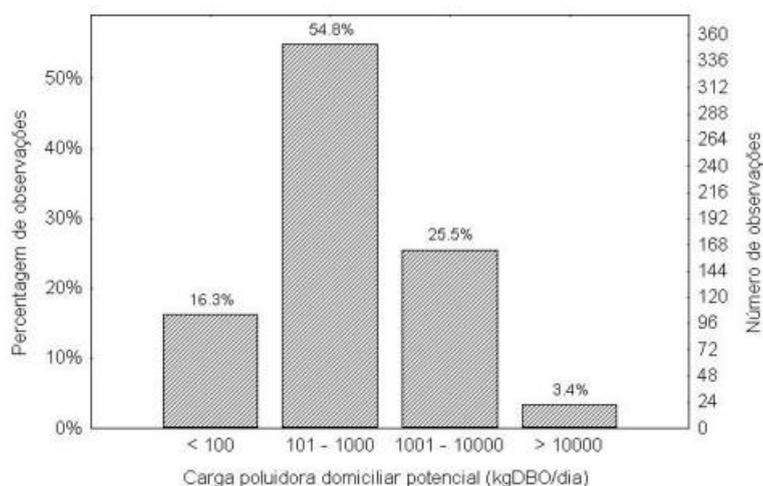


Figura 10. Relação percentual da carga poluidora domiciliar potencial nos municípios.

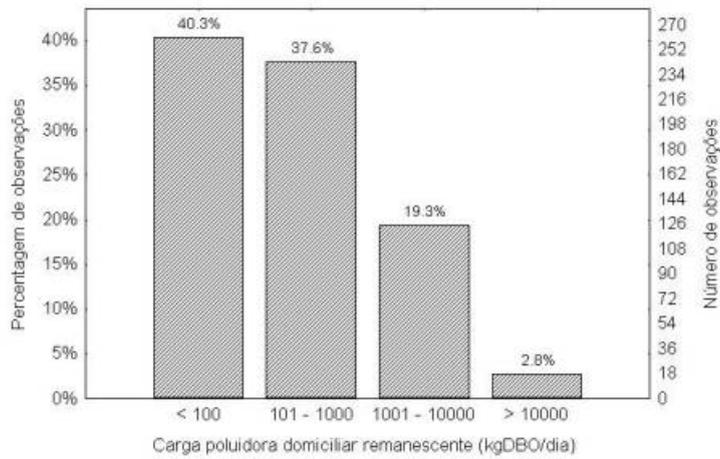


Figura 11. Relação percentual da carga poluidora domiciliar remanescente nos municípios.

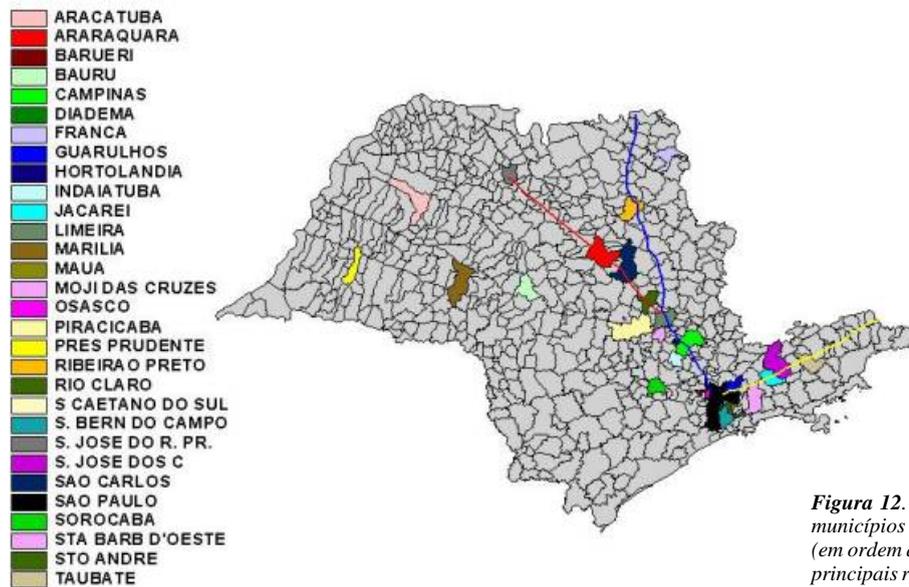


Figura 12. Listagem e respectiva localização dos 30 municípios mais poluidores do estado de São Paulo (em ordem alfabética) e também disposição de três das principais rodovias que cortam o estado.

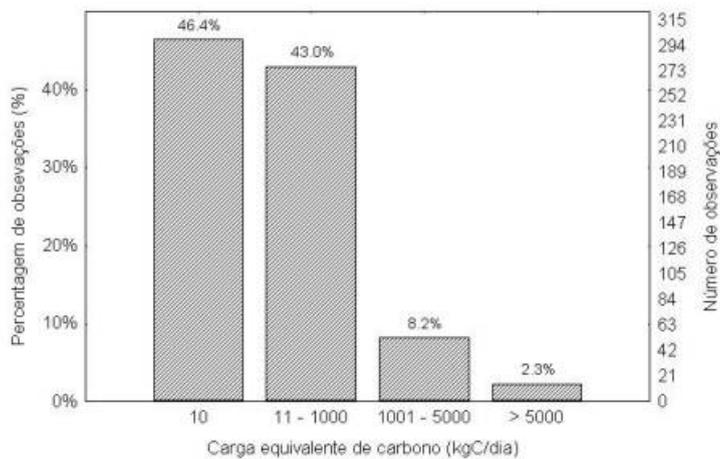
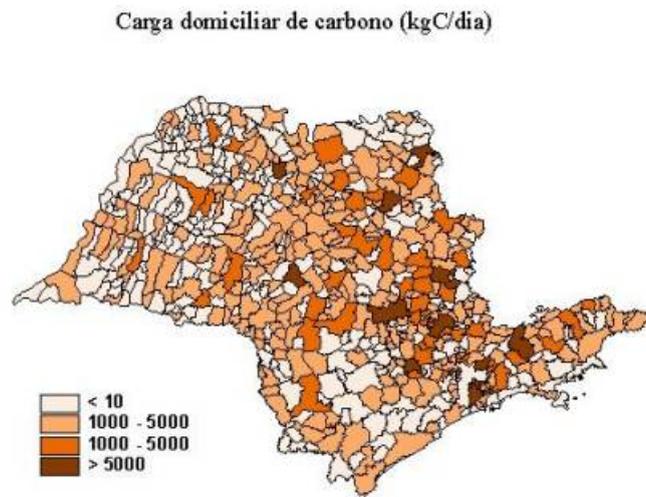
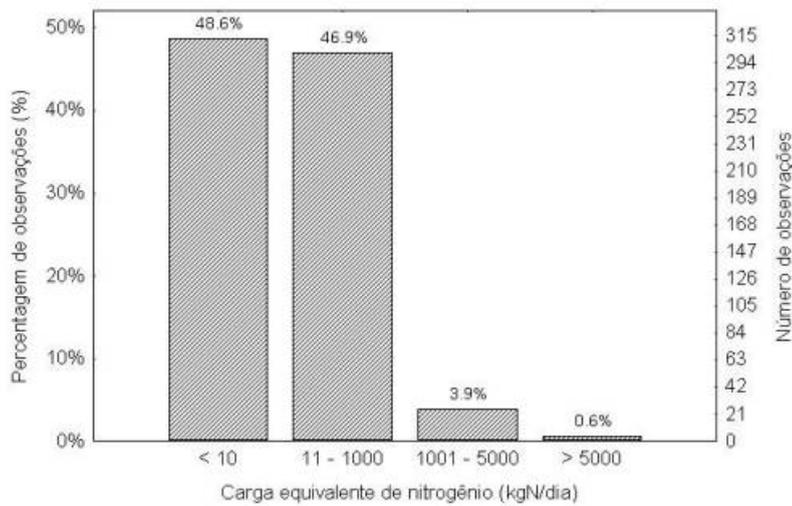


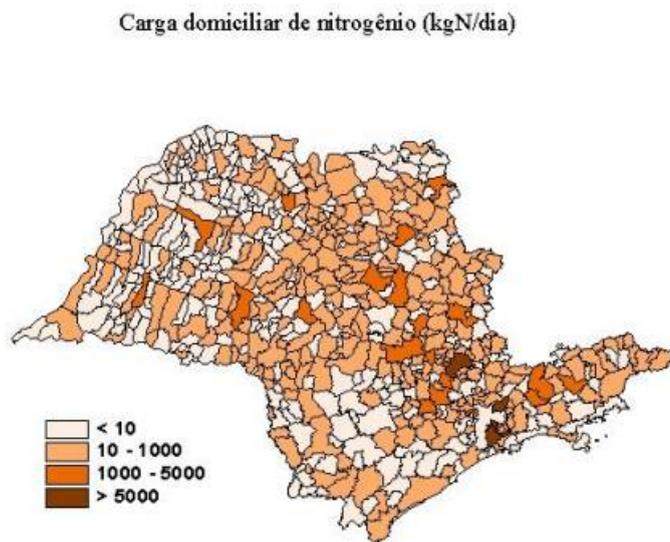
Figura 13. Relação percentual da carga equivalente de carbono nos municípios.



**Figura 13a.** Distribuição espacial da carga domiciliar de carbono nos municípios



**Figura 14.** Relação percentual da carga equivalente de nitrogênio nos municípios.



**Figura 14a.** Distribuição espacial da carga domiciliar de nitrogênio nos municípios

as do Piracicaba. O nível de atendimento, ou seja, o percentual de residências servidos com rede coletora de esgoto, assim como em todo o Estado (média de 80%), é bastante elevado (Tab.1). O menor nível de atendimento foi observado na bacia do rio Taquari, com apenas 53%. Todas as outras bacias têm um atendimento igual ou superior a 80%, com exceção da bacia do rio Apiaí, com atendimento de 75%. Por outro lado, a porcentagem de esgoto tratado é, em modo geral, muito baixa, especialmente nas bacias mais populosas, como a do Piracicaba e Mogi (Tab. 1). Conseqüentemente, esse fato, aliado ao elevado número de habitantes, faz com que a carga domiciliar potencial seja próxima da remanescente e especialmente alta na bacia do Piracicaba, sendo seguida pelas bacias do Mogi e do Turvo (Tab. 1). Seguem-se a essas bacias, as bacias dos rios do Peixe e Aguapeí e, com cargas bem menores, as demais bacias (Tab.1).

A carga equivalente de carbono pode ser comparada com a carga de carbono orgânico dissolvido do rio principal de cada bacia em seu ponto mais a jusante possível. Com dados obtidos junto ao projeto BIOTA/FAPESP (proc. 99/05279-4) e utilizando-se as descargas médias fornecidas pelo DAEE, foram calculadas as cargas de carbono orgânico dissolvido no rio principal (carga fluvial) das bacias em estudo (Tab. 1). Nas bacias dos rios Piracicaba e Turvo, a carga domiciliar remanescente já atingiu cerca da metade da carga fluvial (Tab. 1). Nas bacias dos rios Mogi, Peixe, Apiaí e Taquari, a carga domiciliar variou de 20% a 30% da carga fluvial (Tab.1). Por outro lado, na bacia do rio Paranapanema a carga domiciliar chegou somente a 2% da carga fluvial, enquanto que nas bacias do Itapetininga, Aguapeí e São José dos Dourados a carga domiciliar variou entre 10% e 15% da carga fluvial (Tab. 1).

	Piracicaba	Mogi	Turvo	Peixe	Aguapeí	SJDourados	Itapetininga	Apiaí	Taquari	Paranapanema	ESP
Número de habitantes	3.406.561	1.283.114	869.857	791.262	587.425	206.056	179.568	145.731	111.224	77.427	36.909.200
População Urbana	3.222.223	1.167.129	796.511	725.402	523.471	175.856	146.873	93.216	73.685	54.468	34.472.706
Taxa de urbanização	95	91	92	92	89	85	82	64	66	70	93
Área (km <sup>2</sup> )	11.538	13.314	11.497	12.976	12.235	5.785	3.384	4.424	2.943	2.551	248.600
Densidade demográfica (hab.km <sup>-2</sup> )	341	96	84	110	74	61	58	34	38	31	148
Porcentagem de esgoto tratado (%)	12	20	18	29	36	63	86	22	11	97	17
Cobertura da rede sanitária (%)	84	96	93	80	84	80	81	75	53	80	80
Volume de esgoto gerado (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> )	384.818	200.681	145.860	72.760	53.335	25.315	21.473	12.635	10.621	7.878	4.979.884
Volume de esgoto tratado (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> )	37.825	32.070	20.817	16.780	15.392	12.797	14.838	2.174	974	5.994	835.538
Carga poluidora domiciliar potencial (kgDBO.dia <sup>-1</sup> )	134.493	60.204	40.108	21.828	15.555	7.595	6.442	3.790	3.186	2.363	1.493.965
Carga poluidora domiciliar remanescente (kgDBO.dia <sup>-1</sup> )	121.947	50.584	34.563	16.794	10.937	3.756	1.991	3.138	2.894	565	1.243.304
Participação em relação ao Estado (%)	9.8	4.1	2.8	1.4	0.9	0.3	0.2	0.3	0.2	0.05	100.0
Carga equivalente remanescente de carbono (kgC.dia <sup>-1</sup> )	49.023	20.335	13.824	6.751	4.397	1.510	800	1.262	1.163	227	366.796
Carga equivalente remanescente de N (kgN.dia <sup>-1</sup> )	21.957	8.066	6.019	3.989	2.884	468	147	498	472	11	152.766
Descarga média no ponto mais a jusante da bacia (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	142.00	266.00	99.92	75.76	87.12	30.75	20.15	13.09	10.30	20.20	
Carga COD no ponto mais a jusante da bacia (kgC.dia <sup>-1</sup> )	88.425	75.449	30.548	31.598	36.246	9.782	7.629	4.067	3.375	11.806	
IQA no ponto mais a jusante da bacia	40	62	66	59	68	67			53	78	

**Tabela 1.** Parâmetros agrupados por bacias hidrográficas abordadas nesse estudo. Dados de descarga foram obtidos junto à base de dados do DAEE ([www.dae.sp.gov.br](http://www.dae.sp.gov.br)) e são valores médios referentes às séries históricas de cada ponto de medida. O IQA é o índice de qualidade de água para o ano 2000 estimado pela CETESB ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)) e representa a média das coletas feitas pela CETESB nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro. A carga de COD refere-se à carga de carbono orgânico dissolvido e foi obtida pelo produto da descarga média pela concentração média de COD obtida por Martinelli (dados não publicados) nos mesmos pontos em que foram medidas as descargas durante o ano de 2001 (coletas mensais).

## 4. Discussão

### 4.1. Comparações com outras estimativas

Além das estimativas de carga poluidora domiciliar feitas nesse estudo, duas outras estimativas similares foram feitas pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH), baseando-se em informações obtidas nos Relatórios Zero de cada Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos e na CETESB (Tab. 2). A estimativa neste estudo foi realizada considerando-se a bacia hidrográfica, enquanto que, as duas estimativas citadas anteriormente, consideraram as Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São

Paulo ([www.sigrh.sp.gov](http://www.sigrh.sp.gov)). Essas Unidades geralmente são maiores que as bacias hidrográficas. Assim, por exemplo, a Unidade 5 engloba não somente a bacia do rio Piracicaba, mas também as bacias dos rios Capivari e Jundiá. A Unidade 15 engloba a bacia do rio Turvo e alguns outros pequenos rios que deságuam no rio Grande. Enquanto nesse estudo as bacias dos rios Itapetininga, Apiaí, Taquari e Paranapanema foram tratados separadamente, o SIGRH considera todos esses rios como parte da Unidade 14, denominada Alto Paranapanema. Em outras Unidades, a área da bacia é próxima ou igual à área da Unidade, como é o caso das bacias do Mogi, Peixe, Aguapeí e São José dos Dourados. Nas quatro bacias citadas, as estimativas potencial e remanescente foram similares entre as três

	Potencial (KgDBO.dia <sup>-1</sup> )				Remanescente (KgDBO.dia <sup>-1</sup> )		
	Este estudo	SIGRH	CETESB				
Piracicaba	134.493	194.73	219.922	Piracicaba	121.947	172.728	190.097
Mogi	60.204	58.49	63.636	Mogi	50.584	52.376	52.957
Turvo	40.108	50.703	54.805	Turvo	34.563	42.184	47.006
Peixe	21.828	18.723	20.029	Peixe	16.794	13.481	14.280
Aguapeí	15.554	15.076	16.086	Aguapeí	10.937	9.482	9.098
SJDourados	7.594	9.273	9.818	SJDourados	3.756	4.044	5.274
Itapetininga	6.441			Itapetininga	1.991		
Apiáí	3.790			Apiáí	3.138		
Taquari	3.186			Taquari	2.894		
Paranapanema	2.363			Paranapanema	565		
Estado de São Paulo	1.493.965	1.713.190	384.296	Estado de São Paulo	1.243.303	1.290.582	318.712

**Tabela 2.** Comparação da carga poluidora domiciliar potencial e remanescente estimada nesse estudo, pelo Sistema Integrado de Gerenciamento Hidrológico da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo ([www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br)) e pela CETESB ([www.cetesb.br](http://www.cetesb.br)).

fontes de estimativa (Tab. 2). A maior diferença foi encontrada na bacia do rio São José dos Dourados, onde a estimativa feita nesse estudo foi sempre menor que as estimativas feitas pelo SIGRH e pela CETESB (Tab. 2). Talvez essa diferença seja pela não inclusão, nas nossas estimativas, dos municípios localizados na região noroeste da Unidade, os quais não pertencem à bacia hidrográfica do São José dos Dourados, mas sim à bacia do ribeirão Ponte Preta. Em outras bacias, onde a área da Unidade é maior que a área da bacia, as estimativas feitas nesse estudo foram, obviamente, sempre menores que as estimativas feitas pelas outras duas fontes (Tab. 2). Apesar de algumas estimativas terem sido similares entre si, não foram exatamente iguais (Tab. 2). Provavelmente, essas diferenças estejam relacionadas, principalmente, ao volume de esgoto que é efetivamente tratado, ao tamanho da população servida com rede de esgoto e, finalmente, à eficiência adotada para cada tipo de tratamento de esgoto.

A recém lançada Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000, representa outra fonte de informações sobre saneamento ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)). Dois parâmetros importantes levantados por essa fonte foram o volume de esgoto coletado pela rede e o volume de esgoto tratado em cada município. Essas informações foram obtidas por meio de questionários enviados às instituições responsáveis por esses serviços nos municípios ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)). No formulário denominado “bloco 05”, item 05, encontra-se a seguinte pergunta: “qual o volume de esgoto coletado pela rede no distrito em m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>?”. No “bloco 06”, item 01 pergunta-se sobre a existência de tratamento de esgoto. Em caso afirmativo, no item 02 encontra-se a seguinte pergunta: “qual o volume de esgoto tratado no distrito em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>?”. Lembrando que a menor unidade territorial utilizada pelo IBGE é o distrito e a soma de um ou mais

distritos formam o município. A estimativa do volume de esgoto coletado feita nesse estudo foi semelhante àquela feita pelo IBGE. Nesse estudo estimamos um total coletado de 3.983.907 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, sendo esse número obtido pelo produto do total de esgoto gerado no Estado (4.979.884 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>) pela percentagem média que é coletada no Estado (80%) (Tab.1). A a estimativa do IBGE foi de 4.558.345 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>. Por outro lado, a estimativa de volume de esgoto tratado, feita pelo IBGE, alcançou cerca de 40% do esgoto gerado, enquanto, nesse estudo, a percentual de esgoto tratado no Estado não passou de 17%. Torna-se difícil explicar essa discrepância. Como nosso dado sobre percentual de esgoto tratado refere-se ao ano de 1997 e o levantamento do IBGE refere-se ao ano 2000, provavelmente houve uma melhora muito significativa no volume de esgoto tratado no Estado de São Paulo, passando de 17% para 40% em apenas 3 anos. Por outro lado, basta um município populoso super estimar o volume de esgoto tratado para aumentar de maneira desproporcional o volume de esgoto tratado. Por exemplo, para o município de São Paulo, o mais populoso do Estado, adotamos um percentual de tratamento de esgoto de 10%, enquanto no levantamento feito pelo IBGE, comparando-se o volume de esgoto coletado e tratado, chega-se a um percentual de tratamento próximo a 65% ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).

#### 4.2. Os municípios mais poluidores do Estado de São Paulo

Apesar da preocupação histórica do governo paulista com saneamento básico, chegamos ao século XXI com graves problemas. Por um lado, praticamente 76% de todo esgoto domiciliar gerado no Estado é recolhido por redes de esgoto. Por outro lado, somente cerca de 17% do volume

gerado no Estado sofre algum tipo de tratamento. Considerando-se a população total de cada município (rural + urbana), o percentual de esgoto tratado cai para 15%. Como uma pequena parte do esgoto produzido é tratado, a carga poluidora remanescente é próxima da carga poluidora potencial e ambas são uma função direta do número de habitantes que vivem principalmente nos grandes centros urbanos. Assim, não é surpreendente que somente 30 municípios (Fig. 12), os quais congregam 58% da população do Estado, são responsáveis por cerca de 70% da carga domiciliar poluidora remanescente. Somente a região da Grande São Paulo congrega nove municípios, responsáveis por 48% da carga remanescente de todo o Estado. Uma segunda região preocupante é a Unidade Hidrográfica de Gerenciamento Piracicaba, Capivari e Jundiá, onde estão sete dos 30 municípios mais poluidores do Estado. Desses 30 municípios, a menor população encontra-se em Itu com cerca de 135.000 habitantes e a maior em São Paulo, em torno de 10 milhões de habitantes. No entanto, a maioria dos municípios (60%) tem uma população menor que 320 mil habitantes e 80% têm uma população menor que 500 mil habitantes. É interessante notar que os municípios mais poluidores se congregam ou ao redor do município de São Paulo ou ao longo de uma importante rodovia do Estado. Por exemplo, os municípios de Jacaré, São José dos Campos e Taubaté situam-se ao longo da BR-116, ou via Dutra. Já os municípios de Campinas, Hortolândia, Santa Bárbara d'Oeste, Limeira e Ribeirão Preto ficam na região da Rodovia Anhanguera. Ao longo da Rodovia Washington Luís situam-se os municípios de Rio Claro, São Carlos, Araraquara e São José do Rio Preto. Finalmente, Bauru e Araçatuba situam-se ao longo da Rodovia Marechal Rondon. Outra característica interessante desse conjunto de municípios, é que os mesmos são responsáveis por quase 80% do ICMS<sup>1</sup> arrecadado em 1999 gerado pelo Estado de São Paulo. Dos 30 municípios, 23 foram classificados pelo IPRS de 1997 (Índice Paulista de Responsabilidade Social) índice composto a partir de indicadores de riqueza, longevidade e escolaridade (definição dada pelo SEADE: [www.seade.gov.br](http://www.seade.gov.br)). Nos municípios pertencentes ao Grupo 1, denominados "municípios-pólo". Nestes, a longevidade média é ligeiramente superior à média do Estado e os níveis médios de riqueza e escolaridade são superiores aos estaduais. Em todo o Estado, 83 municípios foram classificados dessa forma, sendo que desse total, 23 são os maiores poluidores. Portanto, apesar de serem considerados "desenvolvidos" pelos órgãos estaduais, o saneamento básico nesses municípios ainda é realmente precário; talvez porque saneamento básico não faça parte da definição de "desenvolvimento". O fato de termos encontrado uma correlação altamente significativa entre a carga poluidora domiciliar remanescente e o ICMS dos

municípios ( $r = 0,80, P < 0,01$ ) e também entre o volume de esgoto não tratado e o mesmo ICMS ( $r = 0,80, P < 0,01$ ), atesta que a riqueza gerada não é de forma alguma aplicada em saneamento. Dos 30 municípios considerados nessa análise, 25 deles (cerca de 85%) tratam menos de 5% do volume do esgoto que geram.

#### 4.3. A carga de esgoto e processos biogeoquímicos

Vários estudos têm demonstrado que existem correlações significativas entre o uso do solo e a composição química dos rios (Peierls et al., 1991; Hunsaker & Levine, 1995; Puckett, 1995; Howarth et al., 1996 e Allan et al., 1997), e mesmo entre o uso do solo e componentes bióticos (Allan & Flecker, 1993; Richards et al., 1996 e Ometto et al., 2000). Nos estudos realizados em países mais desenvolvidos, as correlações mais significativas foram estabelecidas entre, por exemplo, o tamanho das áreas cultivadas de uma determinada bacia e a composição química dos rios (Jordan et al., 1997). Por outro lado, no nosso meio, onde a maioria do esgoto doméstico não é tratado, as correlações mais significativas foram encontradas entre a área urbanizada da bacia ou a carga de DBO, e a composição química dos rios (Ometto et al., 2000; Krusche et al., no prelo e Daniel et al., 2002). Essas correlações são importantes, uma vez que atestam que eventos ocorridos nas bacias de drenagem afetam diretamente os rios. Baseando-se nessa premissa, testamos correlações (correlação de Pearson) entre indicadores de poluição, como a percentagem de esgoto tratado, o volume de esgoto não tratado e a carga poluidora domiciliar remanescente, e também a média do Índice de Qualidade de Água (IQA) para o ano 2000 dos pontos mais a jusante de cada bacia estudada ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)) (Tab. 1). Houve uma correlação direta entre o percentual de esgoto tratado e o IQA ( $r = 0,76, P < 0,01$ ), ou seja, quanto maior o volume de esgoto que é tratado, melhor é a qualidade da água avaliada pelo IQA. Por outro lado, houve uma correlação inversa entre o volume de esgoto não tratado e o IQA ( $r = -0,72, P < 0,01$ ). Conforme aumenta o volume de esgoto sem tratamento, há um decréscimo na qualidade da água. O mesmo tipo de correlação inversa foi encontrado entre a carga poluidora domiciliar remanescente e o IQA ( $r = -0,73^{**}$ ). Portanto, com o aumento da carga de esgoto há uma progressiva deterioração da qualidade de água. A significância dessas correlações não deixa de ser surpreendente, considerando-se que o IQA é um índice obtido a partir de nove parâmetros relacionados à qualidade de água, com ênfase em abastecimento público, e as limitações das nossas estimativas (ver item Incertezas associadas as estimativas). Uma vez demonstrado que os lançamentos de esgoto nos rios do Estado de São Paulo afetam diretamente a qualidade de água, no próximo

<sup>1</sup> - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - Tributo estadual incidente nas operações de circulação de mercadorias e sobre as prestações de serviços de transporte interestadual e intermunicipal, nas comunicações e na distribuição de energia elétrica, inclusive quando estas operações e prestações de serviço se iniciem no exterior. Definição dada pelo SEADE [www.seade.gov.br](http://www.seade.gov.br)

parágrafo serão discutidos processos ou parâmetros específicos que podem ser alterados por essa atividade.

Em termos biológicos, a carga de esgoto lançada nos rios significa uma entrada extra de matéria orgânica que passa a ser prontamente decomposta. No processo dessa decomposição a distribuição de elementos-chave como carbono e nitrogênio são totalmente alterados (Martinelli et al., 1999a; Ometto et al., 2000; Daniel et al., 2002). Na bacia do rio Piracicaba a distribuição de vários nutrientes e suas diferentes formas foram sensivelmente modificadas pela carga de esgoto. Os corpos hídricos mais afetados foram os pequenos rios que recebem grande parte da carga de esgoto (Daniel et al., 2002). Por exemplo, a concentração média de carbono orgânico dissolvido no ribeirão do Tatu chegou a 47,7 mg/L e no ribeirão do Enxofre a 21,2 mg/L. Essas são concentrações altíssimas quando comparadas com as concentrações encontradas em riachos que não recebem carga de esgoto (2 a 3 mg/L) (Daniel et al., 2002). Nos rios de maior porte, o aumento na concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) não foi tão elevado nos trechos mais poluídos. Mas mesmo assim, a concentração média de COD no rio Piracicaba na cidade de mesmo nome foi de 5,0 mg/L contra 2,7 mg/L no rio Atibaia em local próximo de suas cabeceiras (Daniel et al., 2002). Esse aumento abrupto na concentração de carbono leva conseqüentemente a um aumento nas taxas de respiração, com conseqüente consumo de oxigênio dissolvido e liberação de carbono inorgânico dissolvido (Ballester et al., 1999). A concentração média de CID no ribeirão do enxofre chegou a quase 165 mg/L contra 15 a 20 mg/L nos locais menos poluídos (Daniel et al., 2002). No rio Piracicaba, no seu trecho mais poluído, essa concentração chegou a 35 mg/L contra 15 mg/L, valor observado nos trechos menos poluídos do rio Atibaia (Ballester et al., 1999). As implicações do decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido na sobrevivência de organismos aquáticos são amplamente conhecidas (Ometto et al., 2000). Nos trechos mais poluídos dos ribeirões e rios, a concentração média oscilou entre 2 a 3 mg/L, sendo que no período de estiagem a concentração de oxigênio dissolvido freqüentemente caía a zero (Daniel et al., 2002). Como conseqüência, nos trechos mais poluídos, predomina na maior parte do tempo, condições de anaerobiose, enquanto nos rios menos poluídos a matéria orgânica é decomposta na presença de oxigênio (Martinelli et al., 1999b). Além da alteração na concentração de oxigênio dissolvido, as variações na concentração desse elemento com a hidrógrafa também foram evidentes. Nos rios que não recebem carga significativa de esgoto, as maiores concentrações são observadas no período de estiagem, quando o aporte de sedimentos é menor e a penetração de luz e produtividade primária são maiores. Na época de cheia, com o maior aporte de sólidos aos rios, a entrada de luz decresce, seguido do decréscimo na produtividade. Conseqüentemente, a concentração de oxigênio dissolvido também decresce. Por outro lado, nos rios que recebem uma carga elevada de esgoto, durante a estiagem a quantidade de água para diluição do esgoto é

menor, conseqüentemente mais oxigênio é consumido durante o processo de decomposição, com conseqüente decréscimo na sua concentração. Na época cheia, apesar da carga maior de sólidos, há uma quantidade maior de água disponível para diluição da carga de esgoto, conseqüentemente, a concentração de oxigênio dissolvido sobe.

Por ser um nutriente altamente limitante, alterações na distribuição e concentração de nitrogênio têm implicações importantes na distribuição dos organismos aquáticos. Nos trechos mais poluídos dos rios da bacia do Piracicaba foi detectado um aumento nas várias formas do nitrogênio. Na forma inorgânica, apesar de a concentração de nitrato também aumentar, os maiores aumentos foram observados na concentração de amônio, que entra nos rios carreado pelo esgoto urbano (Martinelli et al., 1999a). Como nos trechos mais poluídos a concentração de oxigênio dissolvido é muito baixa, não há oxidação do amônio para nitrato, propiciando o acúmulo de amônio no meio. Na forma particulada, foi também notado um sensível aumento na proporção relativa de nitrogênio no material em suspensão nos rios mais poluídos da bacia do rio Piracicaba (Krusche et al., no prelo).

Além de carbono, o esgoto urbano é reconhecidamente fonte de patógenos (Higuti et al., 1998 e Donnison & Ross, 1999), drogas (Ternes, 1998 e Ono et al., 2000) e metais pesados (Sanudo-Wilhelmy & Gill, 1999). Cabe ressaltar que as concentrações de cádmio e chumbo foram sensivelmente mais elevadas nos tecidos de moluscos capturados nos rios Piracicaba e Mogi-Guaçu em comparação às concentrações medidas em espécimens provenientes de uma área controle, livre de contaminação (Tomazelli et al., no prelo).

## 5. Conclusões

Somente cerca de 17% do esgoto doméstico que é produzido no Estado de São Paulo é tratado, o restante é, na maioria das vezes, lançado nos rios sem tratamento prévio. Mediante esse quadro, não deixa de ser surpreendente o fato de 65% dos pontos onde foram medidos o IQA, possuírem qualidade da água boa para abastecimento público, em 17% dos pontos a qualidade foi considerada ótima e, em 11% foi considerada aceitável, segundo o Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo ano 2000, produzido pela CETESB ([www.cetesb.com.br](http://www.cetesb.com.br)). Por outro lado, em somente 6% dos postos, a água foi considerada ruim e em somente 1% foi considerada péssima. As piores condições foram encontradas na região da Grande São Paulo e nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. As prováveis causas desse aparente paradoxo são: (i) a concentração das populações em determinadas áreas do Estado, como já discutido anteriormente; (ii) o poder de depuração dos rios, que ainda foi pouco avaliado em nosso Estado e, finalmente, (iii) a maioria dos lançamentos de esgoto no Estado não acontece nos rios de porte médio, onde se concentra a maioria das medidas feitas pela CETESB, mas

sim em ribeirões, que na maioria das vezes não são monitorados, mas são muito afetados pela carga de esgoto (Daniel *et al.*, 2002).

Caso a combinação de dois fatores (crescimento populacional e falta de tratamento de esgoto) persista, no futuro vamos assistir a um agravamento progressivo das condições de nossos rios e provavelmente a seguinte meta proposta pelo Estado não será atingida. "O ambiente salubre, indispensável à segurança sanitária e à melhoria da qualidade de vida, é direito de todos, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de assegurá-lo" ([www.recursoshidricos.sp.gov.br](http://www.recursoshidricos.sp.gov.br)).

### Referências Bibliográficas

- ALLAN J.D. & FLECKER A.S. 1993. Biodiversity conservation in running waters. *Bioscience*, 43 (1): 32-43.
- ALLAN J.D.; ERICKSON D.L. & FAY J. 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater Biology* 37 (1): 149-161.
- BALLESTER, M.V.; MARTINELLI, L.A.; KRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R.L.; BERNARDES, M. & CAMARGO, P.B. 1999. Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O<sub>2</sub>, free dissolved CO<sub>2</sub> and respiration rates in the Piracicaba river basin, southeast Brazil. *Water Research* 33(9): 2119-2129.
- BENICIO, M.H.D. & MONTEIRO, C.A. 2000. Secular trends in child diarrhea in São Paulo city, Brazil (1984-1986). *Revista de Saúde Pública*, 34 (6): 83-90.
- DANIEL M.H.B.; MONTEBELO, A.A.; BERNARDES, M.C.; OMETTO, J.P.H.B.; CAMARGO, P.B.; KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, M.V.; VICTORIA, R.L. & MARTINELLI, L.A. Effects of Urban Sewage on Dissolved Oxygen, Dissolved Inorganic and Organic Carbon, and Electrical Conductivity of Small Streams along a Gradient of Urbanization in the Piracicaba River Basin. *Water, Air and Soil Pollution* 136: 189-206.
- DAUBA F.; LEK S.; MASTRORILLO S.; COPP, G.H. 1997. Long-term recovery of macrobenthos and fish assemblages after water pollution abatement measures in the River Petite Baise (France). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 33 (3): 277-285.
- DONNISON A.M. & ROSS C.M. 1999. Animal and human faecal pollution in New Zealand rivers. *New Zealand Journal of Marine Freshwater* 33 (1): 119-128.
- E.S.R.I. (Environmental Systems Research Institute). Arcview GIS The Geographic Information System for Everyone. Version 3.1. 1996. 350 p.
- GONI-URRIZA, M.; CAPDEPUY, M.; RAYMOND, N., QUENTIN, C. & CAUMETTE, P. 1999. Impact of an urban effluent on the bacterial community structure in the Arga River (Spain), with special reference to culturable Gram-negative rods. *Canadian Journal of Microbiology* 45 (10): 826-832.
- HIGUTI, I.H.; MACENA, I.R.; MASUNARI, S.; BRANCO, M.D.; BLASKOWSKI, M.M.M. & DO NASCIMENTO, A.J. 1998. Occurrence of coliforms in water samples of the Pereque and Penedo rivers in Parana, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 41 (4): 417-421.
- HOWARTH, R.W.; BILLEN, G.; SWANEY, D.; TOWNSEND, A.; JAWORSKI, N.; LAJTHA, K.; DOWNING, J.A.; ELMGREN, R.; CARACO, N.; JORDAN, T.; BERENDESE, F.; FRENEY, J.; KUDEYAROV, V.; MURDOCH, P. & ZHAOLIANG, Z. 1996. Regional nitrogen budgets and riverine N&P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry*, 35 (1): 75-139.
- HUNSAKER, C.T. & LEVINE, D.A. 1995. Hierarchical approaches to the study of water-quality in rivers. *Bioscience*, 45 (3): 193-203.
- I.B.G.E. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2000. Base de informações municipais. 2ed. CD-rom.
- JORDAN, T.E.; CORRELL, D.L. & WELLER, D.E. 1997. Effects of agriculture on discharges of nutrients from coastal plain watersheds of Chesapeake Bay. *Journal of Environmental Quality* 26 (3): 836-848.
- KONING, N. & ROOS, J.C. 1999. The continued influence of organic pollution on the water quality of the turbid Modder River. *Water SA*, 25 (3): 285-292.
- KRUSCHE, A.V., MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L. ET AL. Composition of particulate organic matter in a disturbed basin of southeast Brazil (Piracicaba River Basin). (no prelo).
- MARTINELLI, L.A.; KRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; BERNARDES, M.; FERRAZ, E.S.; MORAES, J.M. & BALLESTER, M.V. 1999a. Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba river, Brazil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 110 (1/2): 67-79.
- MARTINELLI, L.A.; BALLESTER, M.V.V.; KRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; BERNARDES, M. & OMETTO, J.P.H.B. 1999b. Landcover changes and <sup>13</sup>C composition of riverine particulate organic matter in the Piracicaba river basin (Southeast region of Brazil). *Limnology and Oceanography*, 44 (7): 1826-1833.
- MEYBECK, M. 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *American Journal of Science* 282 (4): 401-450.
- NADEN, P.S. & COOPER, D.M. 1999. Development of a sediment delivery model for application in large river basins. *Hydrological Process*, 13 (7): 1011-1034.
- NOPE, K.; PRYGIEL, J.; COSTE, M. & LEPETRE, A. 1999. *Journal of Freshwater Ecology* 14, 161.
- OMETO, J.P.H.B.; MARTINELLI, L.A.; BALLESTER, M.V.; GESSNER, A.; KRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R.L. & WILLIAMS, M. 2000. Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two

- streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil. *Freshwater Biology* 44: 327-337.
- OMETTO ET AL.; GESSNER, A.; MARTINELLI, L.A.; CAMARGO, P.B.; BERNARDES, M.C. 2001. Macroinvertebrates community distribution in two sub tropical watersheds, southern Brazil. *Hydrobiologia* (no prelo).
- ONO, Y.; SOMIYA, I. & ODA, Y. 2000. Identification of a carcinogenic heterocyclic amine in river water. *Water Research* 34 (3): 890-894.
- PEIERLS, B.L.; CARACO, N.F.; PACE, M.L. & COLE, J. 1991. Human influence on river nitrogen. *Nature*, 350 (6317): 386-387.

Titulo: Levantamento das cargas orgânicas lançadas nos rios do Estado de São Paulo

Autores: Luiz Antonio Martinelli (*et al*)

Biota Neotropica, Vol. 2( número 2): 2002

[Http://www.biotaneotropica.org.br/v2n2/pt/abstract?article+BN01502022002](http://www.biotaneotropica.org.br/v2n2/pt/abstract?article+BN01502022002)

Recebido em 22/05/2002

Revisado em 12/08/2002

Publicado em 22/08/2002

ISSN 1676-0603