



Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal
of Applied Science

ISSN: 1980-993X

ambi-agua@agro.unitau.br

Universidade de Taubaté
Brasil

Mortatti, Jefferson; Vendramini, Diego; de Oliveira, Helder

Avaliação da poluição doméstica fluvial na zona urbana do município de Piracicaba, SP, Brasil

Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 7, núm. 2, 2012, pp. 110-119

Universidade de Taubaté

Taubaté, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92823633011>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto



Avaliação da poluição doméstica fluvial na zona urbana do município de Piracicaba, SP, Brasil

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.846>)

Jefferson Mortatti¹; Diego Vendramini¹; Helder de Oliveira¹

¹Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP,
e-mails: jmortatt@cena.usp.br, dvendram@cena.usp.br, helder@cena.usp.br

RESUMO

A influência dos efluentes urbanos brutos na carga dissolvida do rio Piracicaba em termos de carga de poluição per capita das principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas, foi estimada a partir de um modelo de aportes de efluentes pontuais sem tratamento prévio na zona urbana central do município de Piracicaba (SP). As cargas químicas inorgânicas, representadas pelos cátions e ânions principais e a sílica dissolvida foram determinadas nos efluentes brutos e no próprio rio, antes e depois da área urbana. O modelo utilizado permitiu estimar as contribuições dessas espécies químicas nas cargas totais dos efluentes para toda a bacia de drenagem e quantificar em termos mais específicos os respectivos aportes por habitante.

Palavras-chave: efluentes urbanos, carga dissolvida, poluição, rio Piracicaba.

Evaluation of fluvial domestic pollution in the urban area of Piracicaba, SP, Brazil

ABSTRACT

The influence of urban raw sewage, in terms of per capita load pollution of major dissolved inorganic chemical species, in fluvial dissolved load was estimated using a model of punctual sewage contributions without previous treatment, in urban central area of Piracicaba city, SP. The inorganic loads represented by major cations, anions and dissolved silica, were determined in both raw sewage and in the river, before and after the river crossing the urban area. This model also allowed the contributions of these chemical species of total effluent loads to be estimated for the entire drainage basin, as well their respective contributions per capita.

Keywords: raw sewage, dissolved load, pollution, Piracicaba river.

1. INTRODUÇÃO

O descarte de efluentes urbanos brutos é um dos principais causadores de poluição e contaminação de rios e mananciais de água doce no mundo, em geral, e no Brasil, em particular, com efeitos sobre a qualidade das águas e impactos nesses ecossistemas (Rebouças et al., 1999). A poluição fluvial só é destacada para o grande público, ou seja, vira notícia, quando ocorrem acidentes graves de aportes pontuais de efluentes brutos, sem tratamento

prévio diretamente no rio, quer seja doméstico, industrial, agrícola ou criminoso, causando mortalidade de peixes e prejudicando o tratamento e distribuição de água temporariamente (Meybeck e Helmer, 1989; Mortatti et al., 2008).

De acordo com Thibert (1994), a influência antrópica é bem definida com respeito à escala de tempo, sendo diária e semanal (rejeitos urbanos domésticos e industriais), sazonal (atividades agrícolas) e episódica (canais pluviais).

A poluição crônica, que se apresenta muito mais danosa, tem várias origens (domésticas, agrícolas e industriais) e geralmente passa despercebida até o momento em que o sistema fluvial tem seu aspecto visual alterado em suas características originais (Meybeck, 1990). O aspecto dinâmico do rio, em termos das oscilações das vazões ao longo do tempo, segundo Mortatti e Probst (2010), colabora para camuflar o sinal da poluição, sendo percebido principalmente durante a estação mais seca, onde ocorrem as mais baixas vazões.

A avaliação da poluição fluvial urbana tem um papel muito importante no estudo hidrogeoquímico de bacias de drenagem, pois sem a sua correção, associada às contribuições totais atmosféricas, não seria possível identificar na carga dissolvida fluvial, as espécies químicas provenientes dos processos erosivos de alteração de rochas que ocorrem na bacia de drenagem (Stallard e Edmond, 1981; Probst et al., 1994; Tardy et al., 2005).

O impacto das atividades antrópicas nas águas do rio Piracicaba tem aumentado muito nestas últimas décadas em função do grande desenvolvimento industrial e demográfico ocorrido na região, desencadeando um processo de degradação global que parece ser irreversível, a não ser que as autoridades governamentais tomem drásticas atitudes no controle e tratamento dos efluentes domésticos, agrícolas e industriais para a preservação, recuperação e manutenção dos mananciais, visando diretamente a qualidade de vida da população.

O tratamento dos efluentes tem contribuído para amenizar o processo de degradação dos rios dessa bacia de drenagem, que é antigo, entretanto, o rio Piracicaba e seus afluentes continuam entre os mais poluídos do Estado de São Paulo.

É fundamental, portanto, caracterizar esses poluentes, sob todos os aspectos e avaliar seus efeitos, para dimensionar melhor o problema e gerar conhecimentos que possam subsidiar outros estudos, sejam hidrogeoquímicos, limnológicos e tecnológicos, vinculados ao tratamento de água, de esgotos, enfim, voltados à gestão dos recursos hídricos (Evangelista, 2003).

O lançamento de esgotos domésticos sem tratamento prévio em águas fluviais tem sido investigado nos últimos anos sem que haja, ainda, um conhecimento detalhado desse potencial de poluição. Nesse sentido, o presente trabalho tem como foco principal caracterizar e quantificar a influência dos efluentes urbanos brutos, principalmente os domésticos na carga dissolvida do rio Piracicaba, de acordo com suas principais espécies químicas, verificando o seu potencial de poluição em termos de fluxo per capita, com base em cinco pontos de lançamento de efluentes diretamente no rio e também com amostras fluviais coletadas antes e após a área urbana do município de Piracicaba (São Paulo, Brasil).

2. DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudo

O município de Piracicaba, considerado um importante pólo regional de desenvolvimento industrial e agrícola, situado em uma das regiões mais industrializadas e produtivas do estado de São Paulo, está localizado entre as coordenadas 22°43'31" de latitude sul e 47°38'57" de longitude oeste, a uma altitude de 547 metros, com uma população estimada em 2009 de 368.843 habitantes (IBGE, 2010). A base econômica do município encontra-se alicerçada na indústria e na agroindústria da cana-de-açúcar, cultura que teve sua

expansão a partir da década de 1970 propiciada por incentivos governamentais e características físicas adequadas de declividade e aptidão agrícola (Barreto et al., 2006).

O presente estudo foi realizado na parte central da área urbana do município de Piracicaba, em uma área de 30 km² que integra uma parte do rio Piracicaba, representativa de uma população de 170.000 habitantes. Nessa área central foram observados e selecionados cinco pontos principais de lançamento de efluentes urbanos diretamente no rio Piracicaba sem nenhum tratamento prévio e também dois pontos de controle para amostragem fluvial antes e depois da área estudada, conforme pode ser verificado na Figura 1.



Figura 1. Área central urbana do município de Piracicaba (SP) evidenciando os cinco pontos de amostragem de efluentes urbanos (1 a 5) e os pontos de amostragem fluvial antes (Ra) e depois (Rd) da área estudada.

2.2. Protocolo de amostragem

Foram realizadas 13 excursões de amostragens nos pontos de lançamento direto de efluentes urbanos (1 a 5) e no próprio rio Piracicaba, antes (Ra) e depois (Rd) da zona urbana do município, conforme já observados na Figura 1. O período referente às amostragens realizadas foi de junho 2007 a outubro 2008, considerando a sazonalidade fluvial.

As amostragens nos pontos de 1 a 5 foram realizadas em triplicata usando baldes de polietileno, calibrados, sendo as amostras brutas e preservadas (razão 1 mL de H₂SO₄ conc. por litro de amostra), armazenadas em frascos plásticos de 1000 mL, com etiquetas de identificação, sendo as mesmas mantidas sob refrigeração em torno de 4 °C.

Para cada ponto de amostragem foi calculada a vazão dos efluentes, medindo-se o volume escoado em função do tempo (para os pontos tubulares) e profundidade, largura e velocidade para os pontos tipo galeria, até o estabelecimento de uma curva chave entre profundidade e vazão.

Os pontos Ra e Rd de coleta da água do rio Piracicaba, respectivamente antes e depois da zona urbana do município, foram amostrados também em triplicata no eixo da corrente do rio, utilizando um amostrador pontual a 1 metro de profundidade e seguiram o mesmo procedimento de armazenagem descrito. As vazões do rio Piracicaba nesses dois pontos de amostragens foram determinadas a partir da série histórica dos dados diários de vazão do SEMAE (Serviço Municipal de Águas e Esgotos de Piracicaba), para cada dia da coleta.

2.3. Protocolo analítico

As amostras oriundas das cargas dissolvidas dos efluentes urbanos e do rio antes e depois da zona urbana do município de Piracicaba (SP), após processo de filtração manual a vácuo (filtros millipore acetato, 0,45 μm), foram analisadas em triplicata para principais cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e NH_4^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e PO_4^{3-}) por cromatografia iônica usando um equipamento Dionex ICS-90. As concentrações de HCO_3^- foram determinadas em função da alcalinidade total pelo método da micro-titulação de Gran (Edmond, 1970). As análises de Si foram realizadas em termos de SiO_2 por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido de argônio (ICP/AES). Todas as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. Caracterização química inorgânica dos efluentes urbanos

Os resultados das análises das principais espécies químicas inorgânicas, cátions, ânions e sílica, presentes nos efluentes brutos lançados no rio Piracicaba, em sua parte central urbana, nos cinco pontos de amostragem selecionados e no rio Piracicaba, antes e depois da zona urbana, podem ser observados nas Tabelas 1 e 2. Os resultados observados representaram as concentrações médias, obtidas em cada ponto de coleta para as 13 excursões de amostragem realizadas, incluindo os respectivos desvios-padrão. Cabe salientar que os erros analíticos foram sempre inferiores a 5 %.

Dentre os cátions principais o Na^+ e o Ca^{2+} foram os que apresentaram maior concentração nos efluentes lançados, com médias de $136,1 \pm 8,1$ e $34,5 \pm 8,5$ mg L^{-1} , respectivamente. As concentrações de Na^+ verificadas no rio Piracicaba antes e depois da zona urbana, aumentaram de $39,2 \pm 10,7$ a $56,5 \pm 10,1$ mg L^{-1} . Em termos de Ca^{2+} os resultados foram similares, com concentrações de $17,6 \pm 2,9$ e $19,8 \pm 3,9$ mg L^{-1} para Ra e Rd, respectivamente. As concentrações de SiO_2 se mostraram bastantes baixas nos efluentes urbanos, com um valor médio de $1,4 \pm 0,1$ mg L^{-1} , quase dez vezes menos do que a concentração verificada no rio Piracicaba, da ordem de $11,1 \pm 1,0$ mg L^{-1} .

Em termos dos ânions principais, HCO_3^- e SO_4^{2-} foram os que apresentaram maiores concentrações nos efluentes lançados, com concentrações médias de $176,0 \pm 45,9$ e $128,4 \pm 20,2$ mg L^{-1} , respectivamente. Já no rio Piracicaba, as concentrações de HCO_3^- se apresentaram similares antes e depois da zona urbana, com $72,9 \pm 14,7$ e $82,1 \pm 19,5$ mg L^{-1} , respectivamente, o mesmo ocorrendo com o SO_4^{2-} , com concentrações de $27,1 \pm 1,9$ e $28,3 \pm 1,8$ mg L^{-1} , respectivamente.

Os elevados desvios-padrão observados principalmente para HCO_3^- e SO_4^{2-} , tanto para a média dos efluentes (MNQ) como em cada ponto de amostragem, representam uma significativa variabilidade desses aportes ao longo do período estudado, em função da sazonalidade e principalmente das taxas de produção no ambiente fluvial. No caso do íon HCO_3^- o mesmo é produzido à partir da oxidação da matéria orgânica via microorganismos, intermediada por íons SO_4^{2-} , conforme descrito por Haida et al. (1996).

Tabela 1. Concentração média dos cátions principais e sílica nos efluentes brutos lançados no rio Piracicaba, em sua parte central urbana, nos cinco pontos de amostragem selecionados, incluindo as respectivas vazões e as médias normalizadas pelas vazões (MNQ) no rio Piracicaba, antes e depois da zona urbana (Ra e Rd, respectivamente).

Amostra	$Q_{\text{média}}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	SiO_2
	$(L.s^{-1})$	$(mg.L^{-1})$					
1	1,5	$18,6 \pm 2,9$	$5,6 \pm 0,5$	$149,7 \pm 48,6$	$7,4 \pm 1,4$	$18,8 \pm 11,1$	$1,1 \pm 0,1$
2	551,6	$33,5 \pm 5,5$	$9,1 \pm 1,8$	$137,2 \pm 15,0$	$11,6 \pm 2,6$	$11,6 \pm 3,2$	$1,4 \pm 0,1$
3	84,5	$41,3 \pm 10,5$	$16,3 \pm 1,8$	$129,2 \pm 13,8$	$10,6 \pm 1,8$	$7,9 \pm 2,0$	$1,7 \pm 0,1$
4	0,3	$36,4 \pm 6,3$	$7,0 \pm 4,3$	$94,1 \pm 21,4$	$5,8 \pm 2,0$	$1,5 \pm 1,0$	$0,4 \pm 0,0$
5	3,4	$31,5 \pm 7,8$	$5,8 \pm 1,9$	$119,1 \pm 15,9$	$9,0 \pm 2,4$	$6,3 \pm 3,2$	$1,0 \pm 0,1$
MNQ		$34,5 \pm 8,5$	$10,1 \pm 4,5$	$136,1 \pm 8,1$	$11,4 \pm 2,4$	$11,9 \pm 5,9$	$1,4 \pm 0,1$
Ra	80000,0	$17,6 \pm 2,9$	$4,7 \pm 1,2$	$39,2 \pm 10,7$	$11,5 \pm 3,1$	$3,3 \pm 1,3$	$10,6 \pm 0,5$
Rd	80986,0	$19,8 \pm 3,9$	$4,0 \pm 1,1$	$56,5 \pm 10,1$	$9,7 \pm 1,1$	$4,1 \pm 1,6$	$11,1 \pm 1,0$

Tabela 2. Concentração média dos ânions principais nos efluentes brutos lançados no rio Piracicaba, em sua parte central urbana, nos cinco pontos de amostragem selecionados, incluindo as respectivas vazões e as médias normalizadas pelas vazões (MNQ) no rio Piracicaba, antes e depois da zona urbana (Ra e Rd, respectivamente).

Amostra	$Q_{\text{média}}$	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}
	$(L.s^{-1})$	$(mg.L^{-1})$				
1	1,5	$111,0 \pm 58,7$	$64,3 \pm 5,1$	$105,3 \pm 8,0$	$4,8 \pm 1,1$	$0,86 \pm 1,0$
2	551,6	$173,7 \pm 27,1$	$58,3 \pm 3,8$	$96,6 \pm 10,1$	$1,3 \pm 0,4$	$2,4 \pm 1,3$
3	84,5	$194,5 \pm 35,8$	$54,9 \pm 4,2$	$90,9 \pm 7,3$	$6,8 \pm 1,1$	$1,7 \pm 0,9$
4	0,3	$82,3 \pm 33,2$	$40,0 \pm 4,0$	$66,3 \pm 6,1$	$4,1 \pm 0,4$	$1,8 \pm 1,5$
5	3,4	$127,2 \pm 30,7$	$50,6 \pm 3,2$	$83,8 \pm 8,4$	$2,3 \pm 0,5$	$3,1 \pm 2,0$
MNQ		$176,0 \pm 45,9$	$57,8 \pm 9,1$	$128,4 \pm 20,2$	$2,1 \pm 2,1$	$2,6 \pm 1,0$
Ra	80000,0	$72,9 \pm 14,7$	$21,4 \pm 1,8$	$27,1 \pm 1,9$	$2,9 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,2$
Rd	80986,0	$82,1 \pm 19,5$	$22,1 \pm 1,7$	$28,3 \pm 1,8$	$4,0 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,1$

A partir dos resultados médios normalizados das concentrações das espécies químicas estudadas e das vazões médias para cada ponto de amostragem foi possível calcular, em termos químicos inorgânicos, os aportes e influências dos efluentes urbanos brutos na carga dissolvida do rio Piracicaba, primeiramente da parte central urbana, de acordo com o modelo de balanço de massa proposto, depois para o município e finalmente para a bacia do rio Piracicaba como um todo, conforme pode ser na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos aportes dos efluentes brutos para a área central urbana, município e bacia do rio Piracicaba e suas influências percentuais na carga dissolvida das principais espécies químicas no período estudado.

Espécie	Rio Piracicaba	Efluente Bruto					
		Área central urbana		Município		Bacia	
		(t.d ⁻¹)	(%)	(t.d ⁻¹)	(%)	(t.d ⁻¹)	(%)
Ca ²⁺	134,09	1,91	1,43	4,15	3,10	39,39	29,38
Mg ²⁺	27,59	0,56	2,02	1,21	4,38	11,48	41,61
Na ⁺	388,13	7,54	1,94	16,36	4,22	155,26	40,00
K ⁺	67,94	0,63	0,93	1,38	2,03	13,06	19,22
NH ₄ ⁺	28,77	0,62	2,15	1,33	4,62	12,71	44,16
SiO ₂	77,67	0,08	0,10	0,17	0,22	1,61	2,07
HCO ₃ ⁻	574,24	9,75	1,70	21,16	3,69	200,83	34,97
Cl ⁻	154,64	3,20	2,07	6,95	4,50	65,98	42,66
SO ₄ ²⁻	198,02	5,31	2,68	11,52	5,82	109,31	55,20
NO ₃ ⁻	27,68	0,11	0,41	0,25	0,89	2,35	8,49
PO ₄ ³⁻	4,48	0,13	2,90	0,29	6,47	2,77	61,83

Os cálculos realizados para a área central urbana levaram em consideração a carga total de efluentes brutos dos pontos amostrados, em toneladas por dia, em função da população representativa dessa área (170.000 habitantes), bem como para todo o município de Piracicaba, de acordo com a população estimada de 368.843 habitantes para o ano de 2010 (IBGE, 2010). Os dados relativos à bacia do rio Piracicaba foram calculados de acordo com as estimativas do total da população ao longo da bacia hidrográfica, de 3.500.000 habitantes para 2008 (Beduschi, 2008; CBH/PCJ, 2007).

Pode ser verificado que as cargas totais dos efluentes brutos na área central urbana foram particularmente importantes para as seguintes espécies químicas inorgânicas, na ordem decrescente, HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > Cl⁻ > Na⁺, com aportes máximos de 9,75 t. d⁻¹ para HCO₃⁻ e 5,31 t. d⁻¹ para SO₄²⁻ entre as espécies dominantes. No entanto, as maiores contribuições percentuais da área central urbana em termos de efluentes brutos em relação ao transporte fluvial do rio Piracicaba foram de PO₄³⁻, SO₄²⁻ e NH₄⁺, com 3,00, 2,68, e 2,15 %, respectivamente.

As estimativas das contribuições das cargas totais dos efluentes brutos do município de Piracicaba para o transporte total fluvial do rio Piracicaba seguiram o mesmo modelo da área central urbana, supondo nenhum tratamento desses efluentes.

Não houve a necessidade de correção desses valores em função da porcentagem de esgoto tratado no município de Piracicaba (36 %) e nem na bacia de drenagem (37 %) devido ao fato do tipo de tratamento utilizado não ser eficiente para remoção dessas espécies químicas inorgânicas dissolvidas, ocorrendo até mesmo um aumento após o tratamento, casos particulares de NH₄⁺ e HCO₃⁻, conforme descrito por Evangelista et al. (2002).

De acordo com a evolução dos resultados obtidos, os aportes de HCO₃⁻ e SO₄²⁻ devido aos efluentes brutos oriundos do município de Piracicaba na carga fluvial foram de 21,16 e 11,52 t. d⁻¹ respectivamente, enquanto que para a bacia de drenagem esses aportes foram de

200,83 e 109,31 t. d⁻¹ respectivamente. Tais cargas, aparentemente elevadas, representaram cerca de 35 % para o caso do HCO₃⁻, ou seja, 35 % do HCO₃⁻ que se encontra presente dissolvido nas águas do rio Piracicaba, ao longo de sua bacia de drenagem, vêm dos esgotos brutos lançados diretamente no canal fluvial, enquanto que para o SO₄²⁻ essa contribuição foi da ordem de 55 %.

Os resultados obtidos para os aportes de efluentes brutos na parte central urbana do município de Piracicaba, de acordo com modelo utilizado, permitiram estimar as cargas dissolvidas per capita das principais espécies e comparar com o resultado de outras cidades onde o mesmo tipo de estudo foi realizado.

A Tabela 4 apresenta a comparação da carga dissolvida per capita dos efluentes urbanos brutos do município de Piracicaba, para as principais espécies químicas estudadas, com as cargas brutas urbanas das cidades de Paris, França (Thibert, 1994), Bruxelas, Bélgica (Verbanck et al., 1989) e Montreal, Canadá (Caille et al., 1973).

A escolha de tais cidades pode ser justificada sob vários aspectos: disponibilidade de dados referente ao objeto de estudo; tratamento de esgoto similar ao comumente realizado no Brasil; estudos sobre eficiência desses tratamentos, usando modelos de balanço de massa similares ao do presente trabalho.

Pode ser verificado que as cargas dos efluentes urbanos brutos das diferentes cidades foram bastante similares, variando em um ou outro elemento, conforme os diferentes hábitos alimentares e composição química de saponáceos e detergentes presentes normalmente nos efluentes domésticos urbanos.

O SiO₂, por exemplo, é parte integrante da maioria dos saponáceos, e sua carga em Piracicaba, de 0,46 g.d⁻¹.hab⁻¹, foi praticamente a mesma de Paris, sendo bastante diferente de Bruxelas, que apresentou um valor de 3,29 g.d⁻¹.hab⁻¹. Já no caso de K⁺, o mesmo se mostrou associado essencialmente aos rejeitos domésticos e como pode ser observado, seu aporte, de 3,73 g.d⁻¹.hab⁻¹ foi praticamente o mesmo em todas as cidades estudadas.

Caso interessante foi o do SO₄²⁻, cuja presença nos detergentes como agente surfactante é bastante conhecida, apareceu em altas concentrações no efluente urbano bruto, com uma carga per capita bastante elevada no município de Piracicaba, com 31,23 g.d⁻¹.hab⁻¹, similar ao observado nas outras cidades comparadas, com exceção da cidade de Bruxelas, que apresentou um aporte de 15,89 g.d⁻¹.hab⁻¹.

As cargas per capita de HCO₃⁻ e Cl⁻ obtidas para Piracicaba, com 57,38 e 18,85 g.d⁻¹.hab⁻¹ foram similares às verificadas para todas as cidades estudadas, enquanto as cargas de Ca²⁺ em Piracicaba, 11,25 g.d⁻¹.hab⁻¹ foram superiores às verificadas nas outras cidades, sendo que Paris foi a que apresentou a menor carga per capita, com 3,30 g.d⁻¹.hab⁻¹.

De acordo com Siegrist et al. (1976), as presenças de NH₄⁺ e NO₃⁻ nos efluentes brutos urbanos estão relacionados principalmente aos componentes fecais e não fecais dos rejeitos humanos, sendo em Piracicaba essas cargas da ordem de 3,63 e 0,67 g.d⁻¹.hab⁻¹, respectivamente. Para o PO₄³⁻, cuja presença em saponáceos e detergentes é normalmente significativa, a carga nos efluentes brutos de Piracicaba foi de 0,79 g.d⁻¹.hab⁻¹, valores muito próximos aos verificados em Paris e Bruxelas.

Parâmetros outros, complementares, poderiam ser também utilizados para ilustrar a caracterização dos efluentes brutos estudados, como DBO, DQO e Coliformes fecais. No entanto, o presente trabalho teve por foco a química inorgânica desses efluentes e seu comportamento no rio Piracicaba, uma vez que a eficácia das estações de tratamento de esgoto é bastante baixa ou nula com relação à esses compostos.

Tabela 4. Comparação das cargas dos efluentes urbanos brutos per capita estimados para o município de Piracicaba, para as principais espécies químicas estudadas, com aquelas verificadas para outras cidades em estudos correlatos.

Carga Dissolvida	Piracicaba	Paris ^a	Bruxelas ^b	Montreal
	(g.d ⁻¹ .hab ⁻¹)			
Ca ²⁺	11,25	3,30	7,12	8,77
Mg ²⁺	3,28	1,90	n/d	1,78
Na ⁺	44,36	17,50	26,02	18,08
K ⁺	3,73	4,10	4,38	2,74
NH ₄ ⁺	3,63	5,50	6,58	n/d
SiO ₂	0,46	0,50	3,29	n/d
HCO ₃ ⁻	57,38	39,70	40,27	65,75
Cl ⁻	18,85	17,00	23,01	22,47
SO ₄ ²⁻	31,23	30,00	15,89	36,99
NO ₃ ⁻	0,67	0,00	n/d	n/d
PO ₄ ³⁻	0,79	1,20	1,11	n/d

4. CONCLUSÕES

As influências dos efluentes urbanos brutos na carga dissolvida do rio Piracicaba foram avaliadas para as principais espécies químicas e caracterizadas em termos de aportes per capita diários. O procedimento proposto permitiu estimar a carga química desses efluentes na parte central da zona urbana do município de Piracicaba tendo como parâmetros os pontos de amostragem fluvial antes e depois dos aportes pontuais.

As cargas totais dos efluentes brutos da área central urbana foram particularmente importantes não só nos períodos chuvosos, quando a carga transportada é maior, mas também ao longo do ano. Dentre os cátions principais o Na⁺, Ca²⁺ e NH₄⁺ foram os que apresentaram maior aporte diário, mas foi o NH₄⁺ quem apresentou a maior contribuição para o canal fluvial. Dentre os ânions principais, embora o HCO₃⁻ tenha tido o maior aporte diário foi o PO₄³⁻ quem mais contribuiu para o rio, justificando a sua utilização como traçador de esgotos domésticos.

As cargas per capita das principais espécies químicas presentes nos efluentes urbanos brutos lançados no rio Piracicaba quando comparadas com as cargas brutas urbanas das cidades de Paris (França), Bruxelas (Bélgica) e Montreal (Canadá), mostraram ser similares apesar dos diferentes hábitos alimentares e composição química de saponáceos e detergentes presentes normalmente nos efluentes domésticos urbanos.

De uma forma geral, foi possível verificar a importância do tratamento de esgotos e efluentes, principalmente referente à composição química inorgânica, que normalmente passa despercebida, sendo essas espécies químicas, quando em excesso, também prejudiciais a saúde.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão dos recursos para pesquisa e bolsas de estudo.

6. REFERÊNCIAS

- BARRETTO, A. G. O. P.; SPAROVEK, G.; GIANNOTTI, M. **Atlas rural de Piracicaba**. Piracicaba: IPEF, 2006. p. 76.
- BEDUSCHI, C. E. **Caracterização isotópica dos componentes do ciclo hidrológico em quatro sub-bacias pertencentes à bacia do rio Piracicaba (SP)**. 2008. 97f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- CAILLE, A.; CAMPBELL, P.; MEYBECK, M.; SASSEVILLE J. L. **Etude du fleuve St Laurent: effluent urbains de l'agglomération de Montréal**. Rapport Interne, INRS Eau. Québec: Université du Québec, 1973. 203p.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ - CBH/PCJ. **Relatório de situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (2004/2006)**. [S.l.: s.n]: 2007. v. 2. p. 258-333.
- EDMOND, J. M. High precision determination of tritration alkalinity and total carbon dioxide content of sea water by potentiometric tritration. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, Oxford, v. 17, n. 4, p. 737-750, 1970.
- EVANGELISTA, R. A. O.; BORTOLETTO JÚNIOR, M. J.; MORTATTI, J. Estudo da variabilidade temporal diurna de 15-N e 13-C em efluentes domésticos. **Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 4, n. 3, p. 681-686, 2002.
- EVANGELISTA, R. A. **Caracterização química e isotópica de carbono e nitrogênio no estudo hidrogeoquímico de efluentes urbanos**. 2003. 139f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- HAIDA, S.; SNOUSSI, M.; LATOUCHE, C.; PROBST, J. L. Géodynamique actuelle dans le bassin versant de l'oued Tensift (Maroc): erosion et bilan du transfert solide fluvatile. **Sciences Géologiques**, v. 49, p. 7-23, 1996.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 20 set. 2010.
- MEYBECK, M. La pollution des fleuves. **La Recherche**, v. 21, n. 221, p. 608-617, 1990.
- MEYBECK, M.; HELMER, R. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. **Global and Planetary Change**, v. 1, n. 4, p. 283-309, 1989. [http://dx.doi.org/10.1016/0921-8181\(89\)90007-6](http://dx.doi.org/10.1016/0921-8181(89)90007-6)

- MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; FERNANDES, A. M.; MORTATTI, B. C.; OLIVEIRA, H. Influence of discharge on silicate weathering dynamics of the Tiete river basin: major cations and dissolved silica approach. **Geochimica Brasiliensis**, v. 22, n. 1, p. 15-26, 2008.
- MORTATTI, J.; PROBST, J. L. Characteristics of heavy metals and their evaluation in suspended sediments from Piracicaba river basin (São Paulo, Brazil). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 3, p. 375-379, 2010.
- PROBST, J. L.; MORTATTI, J.; TARDY, Y. Carbon river fluxes and global weathering CO₂ consumption in the Congo and Amazon river basins. **Applied Geochemistry**, v. 9, p. 1-13, 1994. [http://dx.doi.org/10.1016/0883-2927\(94\)90047-7](http://dx.doi.org/10.1016/0883-2927(94)90047-7)
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. 717p.
- STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon 1. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 86, n. C10, p. 9844-9858, 1981. <http://dx.doi.org/10.1029/JC086iC10p09844>
- SIEGRIST, R.; WITT, M.; BOYLE, W. C. Characteristics of rural household wastewater. **Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE**, v. 102, p. 533-548, 1976.
- TARDY, Y; BUSTILLO, V.; ROQUIN, C.; MORTATTI, J.; VICTORIA, R. The Amazon. Bio-geochemistry applied to river basin management: Part I. Hydro-climatology, hydrograph separation, mass transfer balances, stable isotopes, and modeling. **Applied Geochemistry**, v. 20, n. 9, p. 1746-1829, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2005.06.001>
- THIBERT, S. **Exportations naturelles et anthropiques des ions majeurs et des éléments nutritifs dans le bassin de la Seine: approches méthodologiques**. 1994. Thèse (Doctorale) - Université Pierre et Marie Curie, Paris, 1994.
- VERBANCK, M.; VANDERBORGHT, J. P.; WOLLAST, R. Major ion content of urban wastewater: an assessment of per capita loading. **Research Journal of the Water Pollution Control Federation**, v. 61, p. 1722-1728, 1989.