

Avaliação do Transporte de Sedimentos no Rio Barigüi

Márcia Regina Chella, Cristóvão V. S. Fernandes, Gilmar Antunes Fermiano, Heinz Dieter Fill

Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento

marcia.dhs@ufpr.br; cris.dhs@ufpr.br; gilmar.dhs@ufpr.br

Irani dos Santos

Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC

irani@lactec.org.br

Recebido: 28/03/05 revisado: 19/07/05 aceito: 19/07/05

RESUMO

Os processos de erosão acelerada pela urbanização não planejada, provocada pelo crescimento desordenado das cidades, podem causar sérios problemas relacionados ao transporte de sedimentos em rios. Quanto melhor o entendimento dos mecanismos de transporte e a avaliação da carga de sedimentos transportados, maior a chance de um diagnóstico eficaz para a solução ou minimização de problemas associados à deposição de sedimentos. Na literatura nacional, pouco se tem publicado sobre experiências de monitoramento ambiental com o enfoque na questão de transporte de sedimentos. Esta nota técnica apresenta os resultados referentes à análise de material sólido presente no rio Barigüi, localizado na região de Curitiba. Foram realizadas campanhas de amostragem e análises em laboratório para a determinação das concentrações de sedimentos em suspensão, sugerindo a ordem de grandeza do volume de sólidos transportado em seu curso de água. Para uma melhor análise da evolução do transporte de sedimentos, os resultados apresentados neste estudo foram comparados com os obtidos por Fill et al. (2002). As concentrações de sólidos totais e suspensos mantiveram-se nas mesmas ordens de grandeza nos dois estudos, evidenciando que a dinâmica do rio Barigüi permaneceu estável desde o ano de 2002. Também foram determinadas as curvas de descarga sólida, ou curvas-chave de sedimentos, para as estações de monitoramento, revelando variações nos coeficientes de correlação.

Palavras-chave: transporte de sedimentos, rio Barigüi, curva-chave de sedimentos.

INTRODUÇÃO

A expansão das zonas urbanas pode provocar alterações nas condições das bacias hidrográficas, levando à exposição e erosão das camadas mais superficiais do solo. Quando o planejamento urbano está associado a uma regulamentação legal que discipline a ocupação urbana, os problemas decorrentes da erosão e conseqüente assoreamento dos corpos de água tendem a diminuir. Entretanto, o panorama atual está distante do ideal e as alterações ocorrem em ritmo acelerado.

Neste contexto, a dinâmica de sedimentos se torna um problema ainda mais complexo. O entendimento do mecanismo de transporte e a correta avaliação da carga de sedimentos em suspensão presente em rios são fatores de grande importância para a caracterização de bacias hidrográficas e para o diagnóstico e a prevenção de

problemas associados à deposição de sedimentos ao longo do curso do rio.

Este trabalho traz os resultados referentes à análise de material sólido presente em uma bacia essencialmente urbana, a do rio Barigüi, localizada na região de Curitiba. Esta pesquisa se mostrou importante para a complementação dos estudos de caracterização da bacia hidrográfica contemplados pelo projeto “Avaliação do Benefício-Custo de Medidas de Controle de Cheias e Despoluição Urbana – Estudo de Caso da Bacia do Rio Barigüi”, ou simplesmente, Projeto Barigüi, desenvolvido pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento – DHS – da Universidade Federal do Paraná – UFPR, com apoio financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, órgão de fomento do Ministério da Ciência e Tecnologia, com recursos do Fundo Setorial CT-Hidro.

A principal contribuição desta nota técnica é trazer em discussão uma análise crítica sobre a dinâmica de uso e ocupação do solo na bacia em

estudo e seu impacto em termos de transporte de sedimentos, com base em dados de monitoramento sistemático, em especial sobre a Região Metropolitana de Curitiba.

ÁREA DO ESTUDO

A bacia do rio Barigüi se localiza no Primeiro Planalto Paranaense, na Região Metropolitana de Curitiba, entre as coordenadas 25°13'24" e 25°38'23" sul e 49°15'00" e 49°22'29" oeste, estendendo-se no sentido norte-sul através dos municípios de Almirante Tamandaré, Curitiba e Araucária, em uma extensão aproximada de 60 km entre suas nascentes e o desembocagem no rio Iguaçu. A localização da bacia do rio Barigüi é apresentada na Figura 1. O rio Barigüi é afluente da margem direita do rio Iguaçu, sendo que suas nascentes estão localizadas na serra da Betara, próximo à divisa dos municípios de Almirante Tamandaré e Rio Branco do Sul. A área de drenagem da bacia do rio Barigüi é de 279 km², distribuída pelos municípios da região metropolitana de Curitiba, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Área de drenagem da bacia do rio Barigüi

Município	Área do município (km ²)	Área da bacia (km ²)
Almirante Tamandaré	523,10	120
Curitiba	432,42	144
Araucária	460,85	15
Total	1416,37	279

A bacia do rio Barigüi apresenta cobertura vegetal pouco significativa. Ao norte da bacia, ainda são encontradas pequenas áreas com vegetação densa. No município de Curitiba, a bacia encontra-se quase totalmente urbanizada, com exceção da porção sul, onde aparecem importantes áreas de inundação.

ESTAÇÕES HIDROAMBIENTAIS

A bacia do rio Barigüi conta com cinco estações hidroambientais, instaladas a partir de 1998, inicialmente equipadas como uma estação fluviométrica, composta de seção de réguas e referência de nível. A partir do final de 2001, estas estações foram equipadas com sensores de medição automática de precipitação, nível de água e parâmetros de qualidade da água (temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido e pH) (Fill et al.,

2002). A localização das estações, ilustradas na Figura 2, é a seguinte: Almirante Tamandaré (P1) – próximo à ponte da rua Bertolino K. de Oliveira; Parque Tingüi (P2) – próximo à ponte na parte norte do parque; Parque Barigüi (P3) – junto ao vertedouro do lago; Piá Ambiental (P4) – junto à rua Vereador Elias Karam, no bairro Fazendinha; Ponte da Caximba (P5) – distante aproximadamente 3 km da foz.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As amostragens de sedimentos objetivam a determinação da descarga sólida, isto é, da quantidade de sedimentos que passam em uma seção transversal por unidade de tempo. A quantificação da vazão sólida presente em um rio é o passo inicial para prevenir e controlar os problemas causados pela deposição de sedimentos. Por questões técnicas, a descarga sólida total pode ser dividida em descarga sólida de leito, descarga sólida em suspensão e descarga sólida dissolvida (Santos et al., 2001). Devido à existência de formas distintas de transporte de sedimentos em um curso de água, em suspensão e no fundo, as formas e os equipamentos de amostragem para estes tipos de cargas devem ser distintas e independentes. A partir da análise das amostras e da medição da descarga líquida, o volume de material sólido transportado pode ser calculado. A vazão sólida é obtida através da multiplicação da concentração de sedimentos na amostra pela vazão líquida.

A carga de sedimentos em suspensão é a parcela do transporte de sedimentos mais conhecida, em função de sua importância, relativamente à carga dissolvida, e pela facilidade de sua medição em campo, se comparado aos outros métodos de medição da carga de leito.

Os chamados “sólidos totais” são determinados a partir da amostra como sendo a soma dos sedimentos em suspensão e dissolvidos. Para isso, evapora-se toda a água da amostra e pesa-se o resíduo sólido. A razão entre a massa do resíduo e a massa da amostra é a concentração de sólidos totais. A concentração apenas dos sedimentos em suspensão é obtida através da separação da água e dos sólidos, através de um processo de filtração, pois a carga dissolvida não é retida pelo filtro.

Os sólidos também podem ser classificados em totais ou suspensos fixos e voláteis. Os sólidos voláteis correspondem à fração dos sólidos que entram em combustão a 550-600°C e são, muitas vezes, considerados como sendo uma medida da fração orgânica dos sólidos. Os sólidos fixos corres-

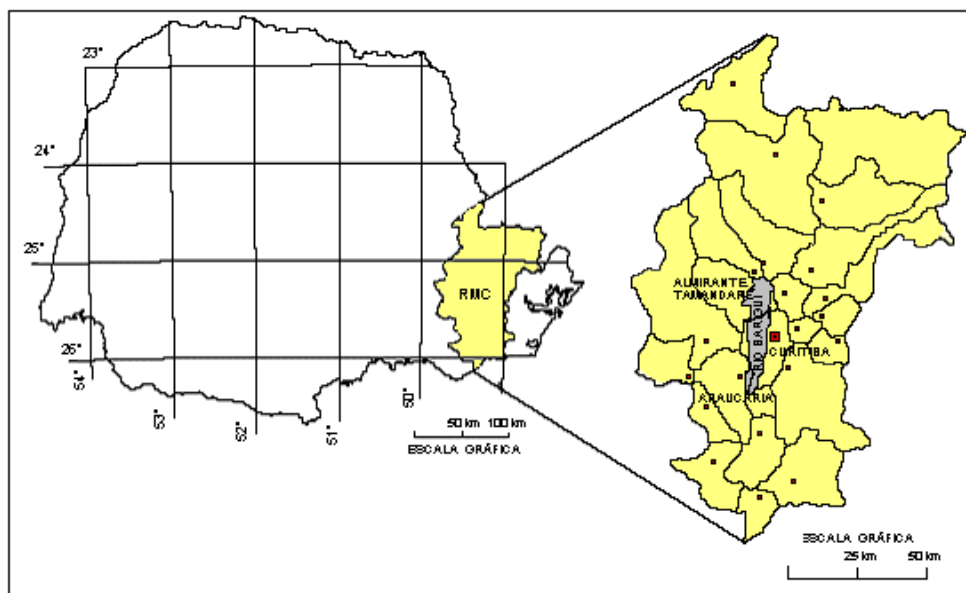


Figura 1 – Localização da bacia do rio Barigüi no Estado do Paraná
(Fonte: FILL et al., 2002)

pondem à fração dos sólidos que permanecem presentes após a combustão a 550-600°C. Os sólidos fixos são totalmente inorgânicos, mas talvez não caracterizem bem os sólidos inorgânicos totais presentes no curso de água. Para uma descrição detalhada dos procedimentos dos ensaios, recomenda-se consultar o Manual *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton et al., 1995).

Existem diversos métodos de amostragem do sedimento na seção do rio. Além do método denominado integração vertical, no qual o amostrador é deslocado ao longo da vertical de amostragem com uma velocidade constante, a amostragem pode ser feita pontualmente. Esse procedimento é aplicado quando se deseja conhecer a distribuição da concentração e da granulometria do sedimento na vertical. Esse método pode ser vantajoso na determinação do perfil de concentração ao longo da vertical, mas, em medições rotineiras, deve-se preferir os métodos de integração vertical.

Para uma melhor análise do transporte de sedimentos em rios, os dados referentes à descarga sólida devem ser apresentados na forma de uma série temporal longa e contínua, para que representem da forma mais realista possível as

condições presentes na natureza. Porém, no Brasil, as estações sedimentométricas são em menor número que as fluviométricas por questões de ordem prática e econômica. Dessa forma, têm-se poucas séries de dados sedimentométricos disponíveis, dificultando uma avaliação correta dos parâmetros envolvidos no estudo de transporte de sedimentos.

DADOS UTILIZADOS

A coleta dos dados utilizados no desenvolvimento deste trabalho foi realizada entre os meses de fevereiro a outubro de 2004. Foram utilizadas quatro estações de monitoramento hidroambientais: Almirante Tamandaré (AL), Parque Tingüi (TI), Parque Barigüi (BA) e Ponte da Caximba (CAX). Em cada campanha, foram realizadas a leitura das réguas e a coleta de sedimentos pontualmente, com a retirada de amostras para a análise de sedimentos em suspensão. As amostras foram analisadas no Laboratório de Engenharia Ambiental Francisco Borsari Neto, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná.

É conveniente ressaltar que as instalações do laboratório foram totalmente reformadas e

equipadas com recursos do Projeto Barigüi e que os testes de sólidos começaram a ser realizados em fevereiro de 2004.

Foram analisados diferentes parâmetros de qualidade da água (potencial de hidrogênio - pH, oxigênio dissolvido - OD, demanda bioquímica de oxigênio - DBO, demanda química de oxigênio - DQO, Nitrogênio, Fósforo, etc.), além das concentrações de sólidos totais (fixos e voláteis) e sólidos suspensos totais (fixos e voláteis), que são os dados de interesse deste trabalho.

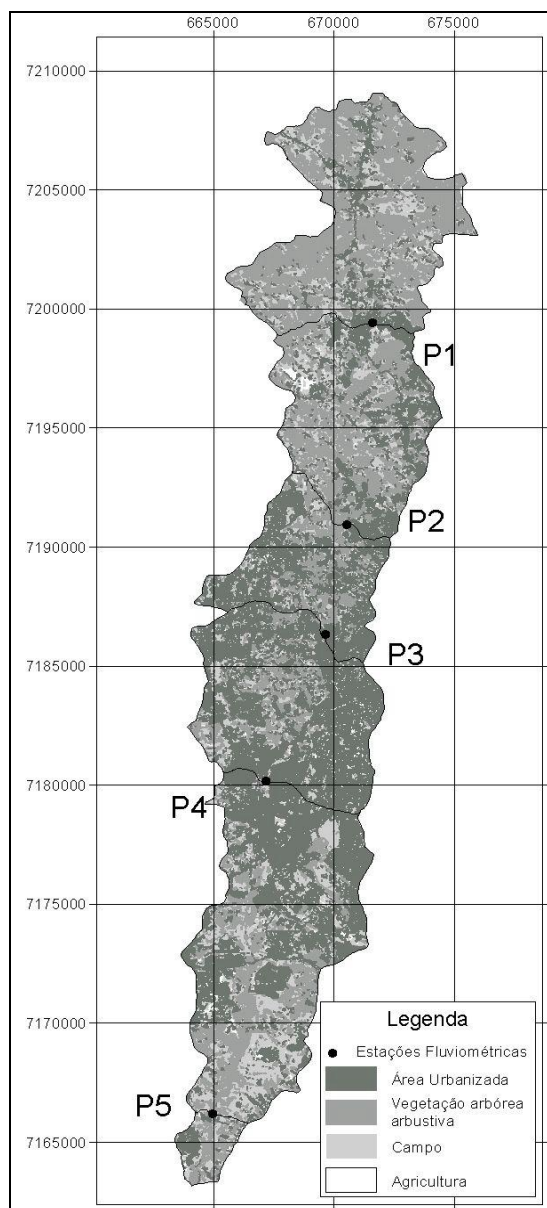


Figura 2 – Localização dos postos de monitoramento na bacia do rio Barigüi (Fonte: Fill et al., 2002)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada parcela de sólidos (totais, suspensos e dissolvidos) foram calculadas as porcentagens de matéria orgânica e inorgânica que a compõe. Percebeu-se que, na maioria das amostras, a parcela mineral prevalece sobre a orgânica.

Os gráficos que representam as concentrações de sólidos totais (CST) e de sólidos suspensos (CSS) versus vazão encontram-se ilustrados nas Figuras 3 e 4.

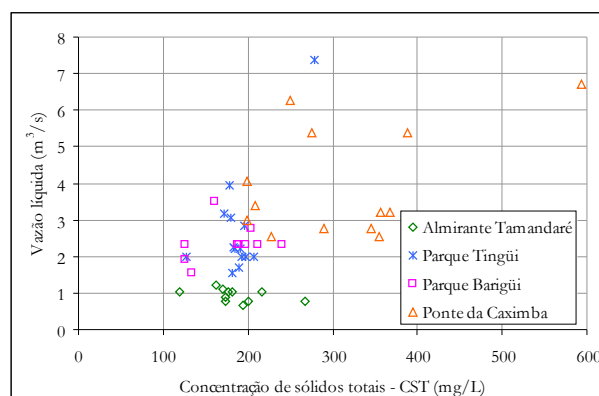


Figura 3 – Concentração de sólidos totais versus vazão no rio Barigüi

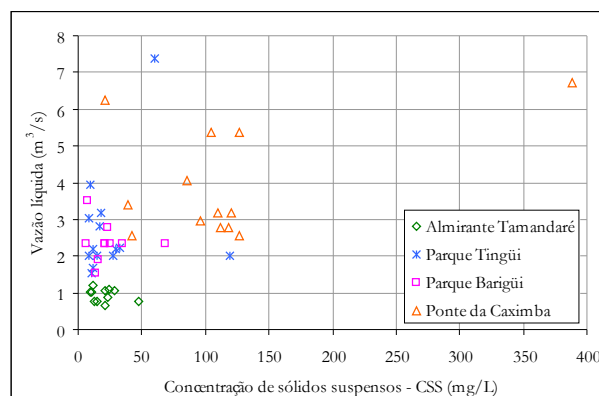


Figura 4 – Concentração de sólidos suspensos versus vazão no rio Barigüi

Através da análise da Figura 3, percebe-se que a CST se manteve basicamente na mesma faixa de grandeza para os locais amostrados, entre 100 e 300 mg/L para as estações Almirante Tamandaré, Parque Tingüi, Parque Barigüi, e entre 200 e 400 mg/L para a estação Ponte da Caximba, à exceção de uma amostragem que resultou superior a 600 mg/L.

Da mesma forma, como pode ser observado na Figura 4, a CSS também se manteve em faixas de grandeza específicas, variando de 0 a 50 mg/L para a estação Almirante Tamandaré e Parque Tingüi, excetuando-se dois pontos em que a concentração foi superior. Para a estação Parque Barigüi, a CSS variou entre 0 a 100 mg/L e para a estação Ponte da Caximba, variou entre 0 a 150 mg/L.

Possíveis discrepâncias nestes resultados, especialmente como as encontradas para a estação Parque Tingüi, em uma amostragem na qual a CSS resultou igual a 119 mg/L, podem ser atribuídas ao método empregado para a obtenção dos sólidos em suspensão. Uma hipótese provável é de que tenha ocorrido um erro sistemático na execução do ensaio em laboratório.

A curva de descarga sólida, que relaciona vazão líquida e a vazão sólida, embora não seja o método ideal para representar as condições de transporte de sedimentos em suspensão, foi traçada para as diferentes estações de monitoramento, é apresentada nas Figuras 5 a 8.

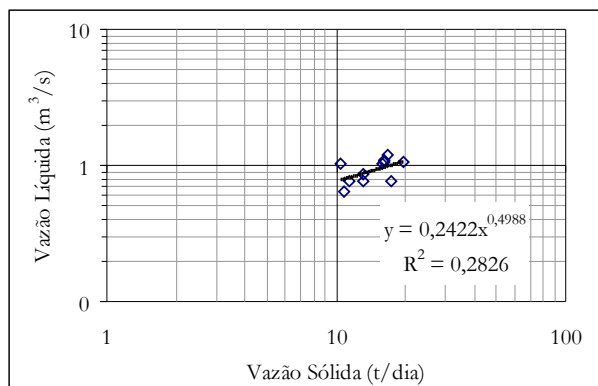


Figura 5 – Curva de descarga sólida – Estação Almirante Tamandaré

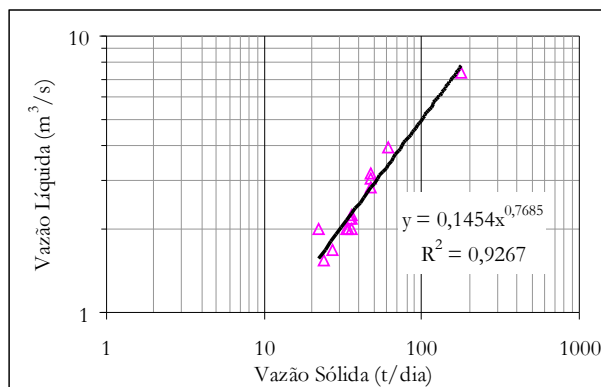


Figura 6 – Curva de descarga sólida – Estação Parque Tingüi

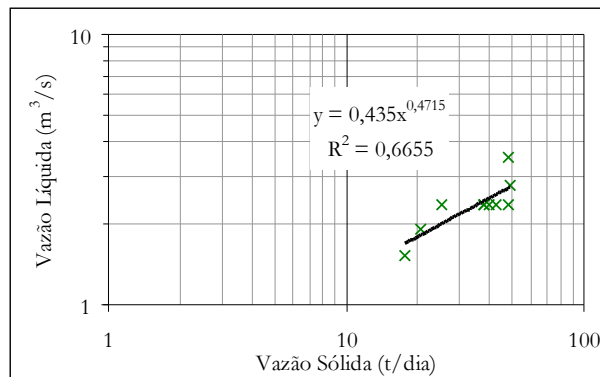


Figura 7 – Curva de descarga sólida – Estação Parque Barigüi

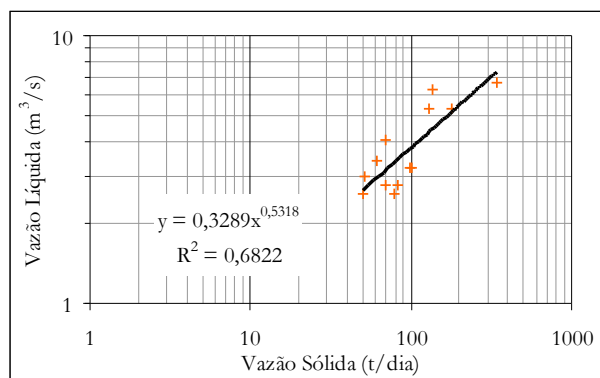


Figura 8 – Curva de descarga sólida – Estação Ponte da Caximba

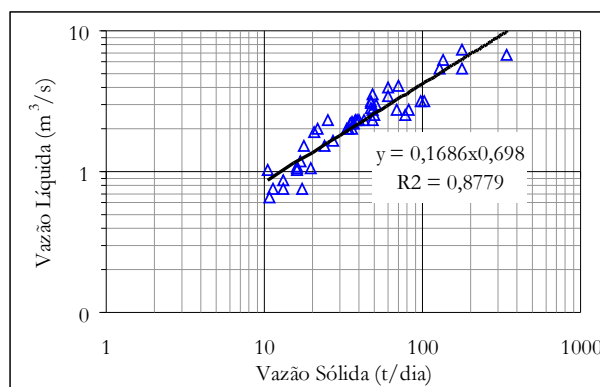


Figura 9 – Curva de descarga sólida – Todas as estações de monitoramento

A pior correlação entre os dados foi obtida para a estação Almirante Tamandaré, com coeficiente $R^2 = 0,28$. Pode-se verificar que a descarga sólida neste ponto da bacia está em torno de 10 a 20 t/dia de sedimentos. Apesar desta estação manter as condições ambientais mais preservadas, ainda por estar próximo a nascente e em uma área

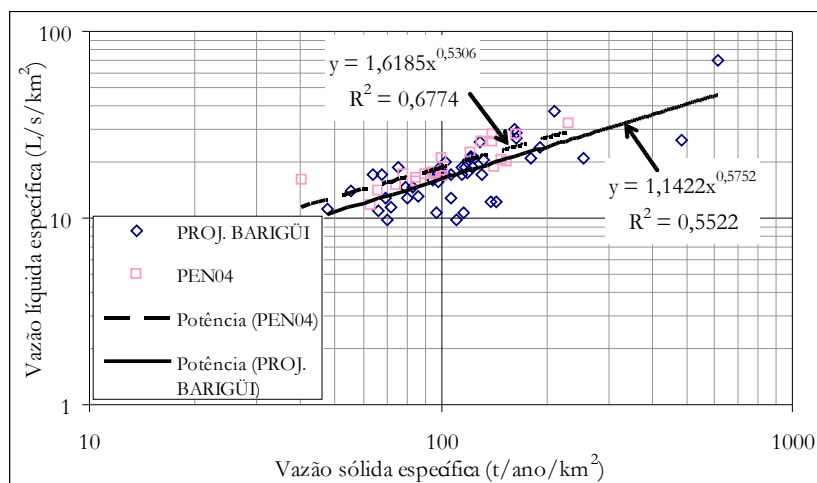


Figura 10 – Comparação entre os resultados obtidos para o rio Barigüi (PEN-04 – 2002 e Proj. Barigüi – 2004)

ainda não muito urbanizada, a descarga sólida encontrada pode ser considerada elevada.

A estação Parque Tingüi apresentou descargas sólidas variando entre 20 a 60 t/dia. Para esta estação, foi registrada uma vazão sólida peculiar no dia 04/08/2004, de 177,26 t/dia, valor muito alto quando comparada com as outras medições. Apesar disso, a distribuição de pontos apresentou uma boa correlação, com coeficiente $R^2 = 0,93$.

Mais a jusante, a estação Parque Barigüi apresentou descargas sólidas um pouco mais baixas que as registradas na estação Parque Tingüi, entre 10 a 50 t/dia. Neste ponto, as descargas sólidas são amenizadas pelo efeito da retenção do material sólido no lago existente no parque.

A estação Ponte da Caximba é a que apresentou os maiores valores de descarga sólida, variando entre 50 t/dia a 350 t/dia, aproximadamente. Convém ressaltar que, neste ponto, fica evidente a degradação do rio Barigüi que registra altos níveis de DBO, representativos de grande quantidade de matéria orgânica presente na água.

A curva de descarga sólida para o rio Barigüi, com dados de todas as estações, é apresentada na Figura 9.

Ressalta-se que, apesar da curva de descarga sólida não representar adequadamente as condições de transporte de sólidos, neste trabalho sua construção foi considerada importante pela representação quantitativa e comparação com dados do Projeto PEN-04, realizado anteriormente (Fill et

al., 2002). A dispersão, já esperada, encontrada nas distribuições pode estar associada a fatores como uso do solo, precipitação, controle de erosão, etc., que possuem grande variação no espaço e tempo.

A curva de descarga sólida, relacionando a vazão sólida (t/ano) com a vazão líquida (L/s), ambas por unidade de área, pode ser vista na Figura 10. Neste gráfico, os resultados do Projeto Barigüi foram comparados com os resultados obtidos por Fill et al. (2002) para a mesma bacia.

É importante ressaltar que no presente trabalho, foram utilizados os dados coletados na estação Ponte da Caximba, que sempre contribuiu com concentrações de sólidos muito relevantes. Em Fill et al. (2002), as estações analisadas foram Almirante Tamandaré, Parque Tingüi e Parque Barigüi, o que pode resultar, nas comparações, em algumas diferenças entre as correlações. Apesar disso, pode-se dizer que as tendências das correlações resultaram próximas, denotando que a dinâmica de sedimentos do rio Barigüi se manteve praticamente constante no período entre os dois estudos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou os resultados obtidos nas amostragens de material sólido na bacia do rio Barigüi, situada na região metropolitana de Curitiba. Apesar de possuir estações de monitoramento equipadas com sensores, os dados relativos ao transporte de sedimentos eram

praticamente inexistentes. Desta forma, considera-se como um ótimo resultado as campanhas de amostragem, realizadas de fevereiro a outubro de 2004, e a execução das análises, realizadas pelo Laboratório de Engenharia Ambiental Francisco Borsari Neto, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná.

Com relação à análise de sólidos, percebe-se pelos resultados apresentados que, entre 2002 e 2004, a dinâmica do rio Barigüi não sofreu alterações significativas, denotando que o parâmetro transporte sólido manteve-se praticamente constante no período. É importante ressaltar que os dados de FILL et al. (2002), utilizados na comparação dos resultados deste trabalho, não analisam dados referentes à estação Ponte da Caximba. Isto pode alterar algumas correlações, uma vez que a estação Ponte da Caximba apresenta normalmente altos índices de concentrações de sólidos.

A curva-chave de sedimentos, alimentada com novos dados, continuou a apresentar grande dispersão. Devido a isso, recomenda-se no caso do rio Barigüi, tentar correlacionar as concentrações de sólidos com as precipitações na bacia ou com medidas de transparência da água pelo disco de Secchi, conforme descrito por Fill et al. (2002).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, através do Fundo Setorial CT-Hidro, pela concessão do apoio financeiro que possibilitou a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- EATON, A. D.; CLESCERI, L.; GREENBERG, A. E. (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington DC, American Public Health Association.
- FILL, H. D.; SANTOS, I.; FERNANDES, C. V. S.; GOMES, J.; DZIEDZIC, M.; KISHI, R. T. (2002). *PEN-04 – Modelagem hidrológica e ambiental de bacias hidrográficas: relatório técnico*. Curitiba: CEHPAR.
- SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. (2001). *Hidrometria aplicada*. Curitiba: CEHPAR.

Preliminary Estimate of Sediment Transport in Barigüi River

ABSTRACT

The transport of solid materials as a consequence of soil erosion due to environmental degradation can cause serious problems in a river stream inducing soil deposition and provoking dynamic changes for the bulk flow. Better understanding the main mechanisms of transport and the evaluation of sediments load, greater is the chance of an efficient diagnosis to solving or minimizing the consequences associated to soil deposition. This paper brings the preliminary results referring to suspended solids monitoring for the Barigüi river in the metropolitan area of Curitiba. The results presented in this paper were compared with the obtained by FILL et al. (2002). The total and suspended solids concentration kept the same order of magnitude in both study, reflecting a stable soil and use occupation dynamic in the watershed. The sediment-discharge curve did not show a good errors estimate; this is an indication that better dependent variables must be attempted as turbidity, Secchi disk measurements and rainfall data.

Key-words: sediment transport; Barigüi River; sediment-discharge curve.