



VI-240 - INVESTIGAÇÃO DO REGIME DIÁRIO DE VARIAÇÃO NA VAZÃO E NA QUALIDADE DA ÁGUA EM RIO URBANO SUJEITO AO IMPACTO DE FORTES DESCARGAS SANITÁRIAS: O ribeirão dos Meninos em São Caetano do Sul, SP

André Luiz de Lima Reda⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Mestre em Hidráulica pela mesma Escola; Doutor (PhD) em Saneamento Ambiental pelo Imperial College of Science, Technology and Medicine, Universidade de Londres. Docente: Escola de Engenharia Mauá, CEUNIMT, São Caetano do Sul, SP; Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo; Engenharia UNILINS, Lins, SP. Consultor em hidrologia, recursos hídricos, hidráulica fluvial e saneamento.

Daniel Massashi Uehara⁽²⁾

Graduado em Tecnologia Ambiental na Universidade Metodista, São Bernardo do Campo. Técnico em Química na Escola de Engenharia Mauá, CEUNIMT, São Caetano do Sul, SP.

Maurício Ferreira de Macedo⁽³⁾

Graduado em Química pela Faculdade Auxilium de Filosofia Ciências e Letras de Lins, SP; Mestre em Gestão de Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela UNIARA, Araraquara, SP. Docente: Engenharia e Tecnologia em Química Industrial, UNILINS, Lins, SP. Gerente Técnico e da Qualidade do LACI-Laboratório de Análises Químicas e Controle Industrial, CETEC-FPTE, Lins, SP.

Paulo Henrique Ribeiro⁽⁴⁾

Técnico em Química do LACI-Laboratório de Análises Químicas e Controle Industrial, CETEC-FPTE, Lins, SP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Dr. Vila Nova, 35, São Paulo, SP, 01222-020. Telefone: (55-11) 2114 8270 e-mail: andrereda@maua.br, allreda@mackenzie.com.br

RESUMO

O trabalho investiga e discute padrões diários típicos de oscilação em vazão fluvial, transporte de sedimentos e certos metais em suspensão em rio urbano sujeito a forte sazonalidade diária por contribuições sanitárias e efluentes industriais. Isto se evidencia em séries quase contínuas de vazão e concentrações de sólidos sedimentáveis, cromo e zinco. Estuda-se o ribeirão dos Meninos, em São Caetano do Sul, no pólo automobilístico do “ABC”, Região Metropolitana de São Paulo. Levantou-se o hidrograma de vazões nas duas extremidades dum trecho (duas pontes separadas por 720m de percurso) onde também se mediu ao longo de um dia, a intervalos de duas a três horas, transporte sólido e alguns metais. A análise das oscilações dessas curvas, determinadas em tempo seco (isto é, isentas da influência de mudanças transitórias devidas a tormentas), evidencia padrões diários nítidos -- que refletem, primeiro, as oscilações intra-diárias na produção de efluentes urbanos. Porém, aqueles ocorrem defasados com relação a estas, devido ao tempo de percurso na rede coletora e nos afluentes receptores. Outro aspecto importante resulta comparando-se as oscilações nas séries de concentrações fluviais de sólidos sedimentáveis e metais às oscilações no hidrograma da vazão no ribeirão. Sugere-se forte relação entre hidrodinâmica fluvial e retenção sólida no trecho: com vazão decrescente (e, conseqüentemente, a velocidade), as concentrações de sólidos sedimentáveis, cromo e zinco são maiores na extremidade de montante que a jusante; por outro lado, quando a vazão está caindo, as concentrações são maiores a jusante. Conseqüentemente, em momentos menos dinâmicos, sólidos parecem depositar-se no fundo, armazenado-se no trecho. Para compensar isto, quando a turbulência crescer novamente, sugere-se que esses sólidos se suspendam, reintegrando-se à corrente. Tais conclusões combinam com o fato de que o trecho estudado tem baixa declividade (relativamente àquela do ribeirão na região, em geral), tendendo naturalmente a reter sólidos em momentos de correnteza fraca e atribuindo-lhe constante necessidade de dragagem. Outro aspecto de interesse do Saneamento Ambiental: as oscilações típicas identificadas mostram a importância de planejar o monitoramento da poluição considerando as periodicidades diárias de cada variável. Caso contrário, dados esparsos coletados em momentos aleatórios podem caracterizar esforço inócuo de monitoramento, gerando despesas com campanhas mal compensadas em termos da significância das amostras.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição de rios urbanos, Transporte fluvial de sedimentos, Transporte de metais em rios, Sedimentometria, Padrão de oscilação diária.



INTRODUÇÃO AO PROBLEMA

A medição de concentrações de poluentes e de vazões sólidas em cursos d'água sujeitos a fortes oscilações de alta frequência na vazão líquida, sejam estas fenômenos transitórios agudos (devidos a súbitas contribuições por episódios fortuitos ou acidentais) ou variações periódicas de amplitude marcante, é tarefa que demanda especial esforço de campo. Por tal motivo, os programas de amostragem de sedimentos corriqueiros não são capacitados a cobrir esse campo de interesse.

Por outro lado, aumentos ou reduções no mecanismo fluvial turbulento têm a capacidade de promover a sedimentação ou, alternativamente, a ressuspensão de partículas sólidas sedimentáveis (Fisher et al., 1979) – alternando, então, períodos de ocorrência de cada um desses dois fenômenos. Isto torna a medição quase-contínua da vazão fluvial e da respectiva concentração de sólidos não somente uma necessidade ainda maior, mas também uma atividade de interesse tecno-científico pela novidade que ainda representa.

Em campanha de medição quase-contínua, Reda e Jaquiê (2002) publicaram resultados para um curso d'água cuja bacia contribuinte é prioritariamente rural, sobre a formação Adamantina: o ribeirão Campestre, no município de Lins, SP. Com a medição da concentração de sedimentos totais na coluna líquida e uma estimativa (por correlação, então disponível para a mesma região) da concentração de sedimentos de fundo nas seções de entrada e de saída para um trecho de cerca de 1km naquele curso d'água, foi possível obter uma série temporal de vazão sólida de sedimentos nessas duas extremidades do canal. Por integração temporal da massa de sólidos no período da campanha – o qual foi escolhido para cobrir um evento de enchente de médio porte na bacia contribuinte – pôde-se estimar o alteamento médio do fundo do canal durante aquele fenômeno transitório. A campanha foi reputada, à época, como original, quando apresentada no V Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, e diferenciada das práticas usuais de medição de transporte de sedimentos em rios.

Seguindo aquela linha de amostragem e pesquisa, este trabalho constitui parte do programa de estágio acadêmico em tecnologia ambiental do segundo autor. Representa, ademais, fase ainda preliminar de um projeto interdisciplinar e interinstitucional maior, que visa um reconhecimento mais completo do regime de vazões e de transporte de sedimentos e poluentes naquele curso d'água – tanto em tempo seco quanto durante precipitações intensas. O estudo aqui desenvolvido sobre uma campanha na estação estiva enfoca uma bacia urbana, a do Ribeirão dos Meninos (Região Metropolitana de São Paulo), sob forte influência de contribuições sanitárias e industriais de vazão de águas servidas – o que lhe confere caráter inovador com relação à experiência anterior acima citada. De fato, as oscilações de vazão por ele apresentadas no tempo seco desta campanha são oriundas da variação na contribuição de efluentes ao longo do dia – a tal ponto que a vazão devida aos efluentes, no horário de pico, atinge o dobro do valor da vazão hidrológica de base. Como tais oscilações intra-diárias são tão marcantes, considera-se esta campanha de tempo seco um importante sinalizador das particularidades, exigências e dificuldades que serão enfrentadas quando se aproximar o período das chuvas na Região.

O trecho estudado do ribeirão dos Meninos está na divisa entre os municípios de São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul, ambos na Região Metropolitana de São Paulo. Logo em seguida, contribui para o rio Tamanduateí, que segue por dentro do município de São Paulo. Três localidades foram estudadas no ribeirão, a saber:

1. Ponte 1: por onde a Av. João Batista cruza o ribeirão, ligando os municípios de São Bernardo e São Caetano;
2. Ponte 2: em frente à Praça Mauá, 720m a jusante da Ponte 1, também ligando os mesmos dois municípios;
3. Ponte 3 (ou Ponte da Vila São José): por onde a Estrada das Lágrimas cruza o ribeirão, ligando os municípios de São Paulo e São Caetano do Sul. Dista cerca de 2200m para jusante da Ponte 1.

No local da Ponte 3, a bacia contribuinte do ribeirão dos Meninos abrange cerca de 104km², sendo ligeiramente menor nas localidades das outras duas pontes. Nele funciona o posto denominado Ribeirão dos Meninos (também Vila São José), da Rede Telemétrica do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo-DAEE, desde 1980 – mas com significativas interrupções devidas a longos períodos de obras no ribeirão, para seu alargamento e construção de piscinão a montante. Isto obviamente descontinuou o comportamento hidrológico da bacia. O posto funcionou a contento no período desta campanha: 27 e 28/07/2006.

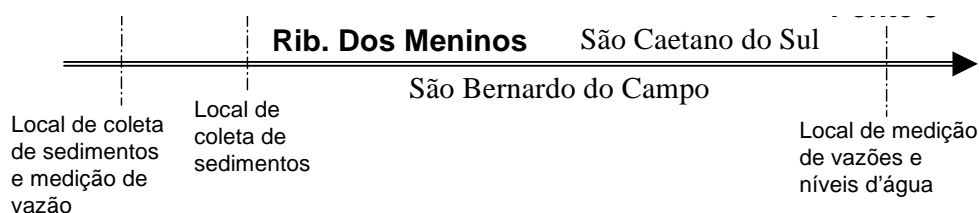
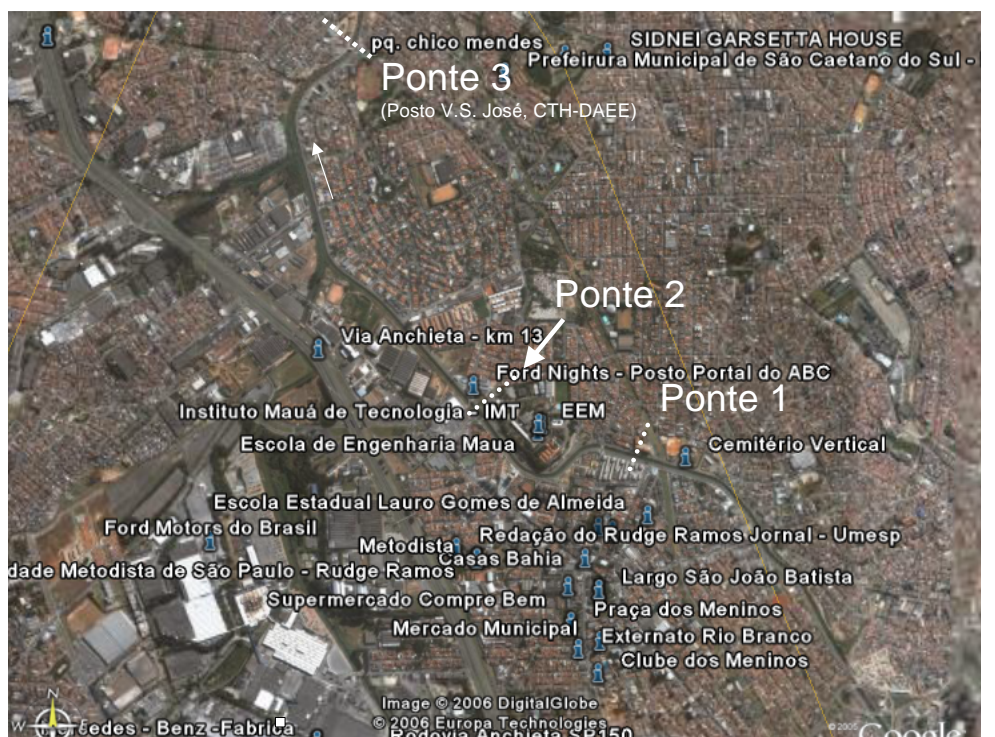


Figura 1: Localização aérea e diagrama unifilar do trecho e das três seções estudadas no ribeirão dos Meninos (Fontes: Google Earth, 2006 – mapa; Reda e Uehara, 2008 – diagrama)

A Figura 1 mostra, em planta (visão aérea) e esquema unifilar, o trecho estudado do Ribeirão dos Meninos e as seções transversais consideradas para amostragem ou medição de níveis e vazões. Este trecho do Ribeirão dos Meninos, estudado sob o ponto de vista de transporte sólido entre as pontes 1 e 2, apresenta um comprimento de 720m.

OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa e do artigo são múltiplos, a saber:

1. Investigar a variação nas concentrações fluviais de sólidos sedimentáveis e dois metais pesados ao longo do dia em função das oscilações na produção de esgoto;
2. Discutir a variação nas concentrações fluviais, ao longo do dia, de sólidos sedimentáveis e dois metais pesados (cromo e zinco) em função das oscilações na vazão fluvial nas pontes 1 (a montante do trecho estudado) e 2 (a jusante), à luz da variação no estado de turbulência da correnteza e fenômenos periódicos diários tais como sedimentação no fundo do trecho (em parte do dia) e ressuspensão (na parte restante);
3. Lançar no meio acadêmico uma discussão do caso em estudo no ribeirão dos Meninos, mostrando os resultados parciais de um projeto de pesquisa que pretende seguir adiante; delineando, para interesse geral, recomendações de cuidados no planejamento de campanhas de medição de qualidade nos rios com rápida variação nesta.



As seções a seguir mostram os dados e a metodologia de amostragem e de análise empregada no estudo, os resultados do levantamento e análise e as conclusões obtidas pelo estudo.

METODOLOGIA DE ANÁLISE E DADOS RESULTANTES

No dia da campanha de transporte de sedimentos e medições de metais, a profundidade média no trecho estudado variou aproximadamente de 0,5 a 0,6m (da madrugada para a hora de maior contribuição de efluentes). A largura do canal, de 6 a 8m. A velocidade média na seção típica do trecho variou, no dia, de 0,34 a 0,52m/s. Próximo a esta faixa de valores se encontra a velocidade de limite erosivo-depositivo em canais com fundo de argila e sólidos orgânicos (como é típico neste caso – Chow, 1959).

O local da Ponte 3 apresenta uma série contínua de níveis d'água no principal dia do estudo, 27 de julho de 2006, quando se deu a amostragem de sedimentos, bem como no dia seguinte, 28/07. Isto permitiu o levantamento de um limnigrama no local para este período de dois dias.

No local da Ponte 1 ocorreu a campanha intensiva de medição de vazão líquida, Q ; porém, somente a partir das 16h00 de 27/7, indo até as 14h00 de 28/07, simultaneamente à medição de níveis d'água (ou NA), H . A medição da vazão foi efetuada empregando molinete suspenso a partir daquela ponte. Um estudo da relação $NA \times$ vazão, considerando os vários pares de valores $\{Q, H\}$ obtidos, permitiu a construção de uma curva-chave, válida apenas para a faixa de valores dessas variáveis coberta na campanha. Também foi possível traçar um limnigrama para o local da Ponte 1.

Os limnigramas das pontes 1 e 3, no período de dados comuns às duas (aproximadamente das 16h00 do dia 27 às 14h00 do dia 28), foram analisados, permitindo inicialmente determinar uma defasagem entre as oscilações em ambos. Investigou-se, então, uma correlação entre os níveis d'água na Ponte 3 e na Ponte 1 (estes últimos, convenientemente defasados para entrar na correlação). Aplicando-se a correlação assim obtida entre ambas as séries temporais, pôde-se estimar os níveis d'água na Ponte 1 do início do dia 27 até as 16h00 (antes que se tivesse conseguido iniciar as observações), completando então a série horária de níveis d'água na Ponte 1. Com base na curva-chave obtida para o local da Ponte 1, o seu limnigrama, então já completo, pôde ser transformado num hidrograma. Mais detalhes destas investigações sobre níveis e vazões podem ser vistos na publicação anterior de REDA e UEHARA (2008).

Quanto às séries de vazões líquidas na Ponte 1 e na Ponte 2, foram consideradas aproximadamente iguais neste estudo – portanto, desconsiderando-se a diferença de fase entre seus hidrogramas, dada a pequena distância entre elas.

Com intervalos de 1h a 3h, foram coletadas amostras de água nas pontes 1 e 2. Estas foram analisadas, quase imediatamente, para determinar as várias frações gravimétricas de sedimentos, bem como a concentração volumétrica de sólidos sedimentáveis (SS). Só esta última característica de sólidos em água foi considerada neste artigo. Resultaram daí duas séries de concentração de sólidos sedimentáveis (SS, em mL/L), uma para a Ponte 1 e outra para a Ponte 2. As mesmas amostras de água fluvial foram também tratadas para a preservação de metais e analisadas em tempo para as concentrações dos dois metais considerados: cromo total (Cr) e zinco total (Zn) – resultando, pois, uma série de cada uma destas variáveis para cada uma das duas pontes.

A série de vazões comum às duas pontes foi, daí, multiplicada, ponto a ponto (no tempo), por cada par (um por ponte) de séries de concentrações: de SS, de Cr e de Zn. Resultaram assim seis séries de valores horários de vazões de sólidos (duas para cada uma destas três variáveis de qualidade da água).

As comparações a seguir entre as duas séries de cada variável de qualidade constitui o ponto fundamental para as conclusões deste artigo – mas apenas um ponto inicial para sugerir a continuidade e diversificação das atividades que darão prosseguimento aos projetos de pesquisa no ribeirão dos Meninos.

Vazão fluvial no trecho e concentrações de sólidos sedimentáveis

O hidrograma da Figura 1 (tracejado) mostra padrão diário típico, com patamar de vazões altas entre 15h00 e 18h00, provavelmente sob forte influência industrial – já que não ficam individualizados picos nos horários de almoço e jantar (típicos de origem doméstica predominante – Além e Tsutiya, 1999).

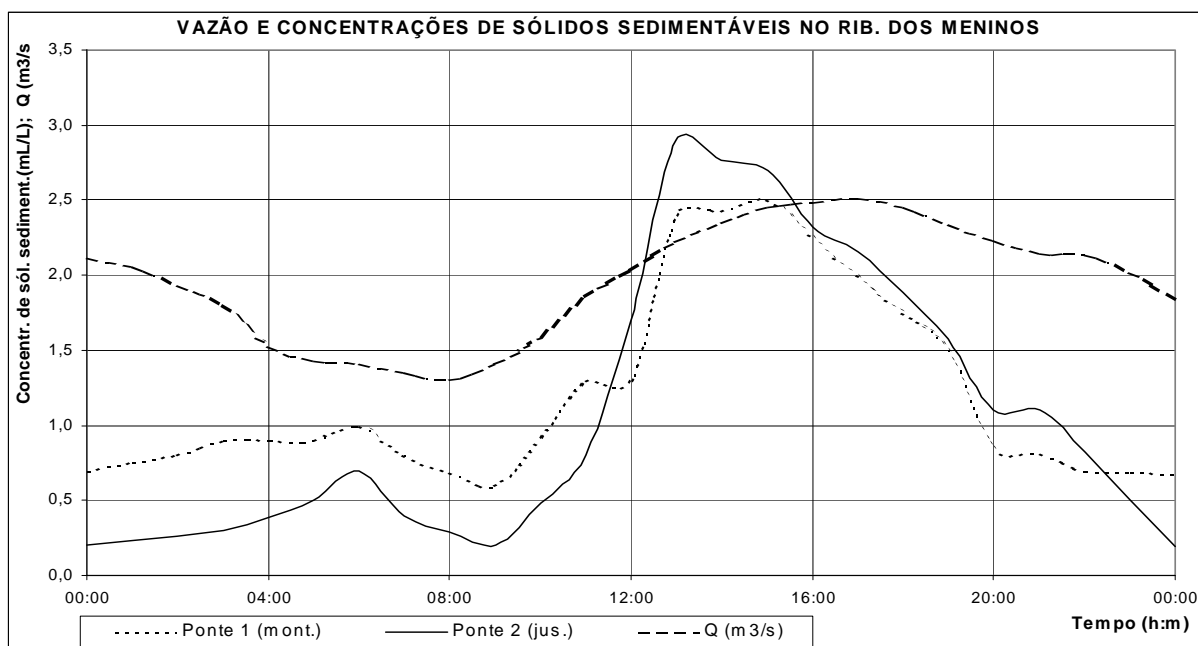


Figura 2: Variação de concentrações de sólidos sedimentáveis e vazão líquida – ribeirão dos Meninos, trecho entre pontes 1 e 2 (Reda e Uehara, 2008).

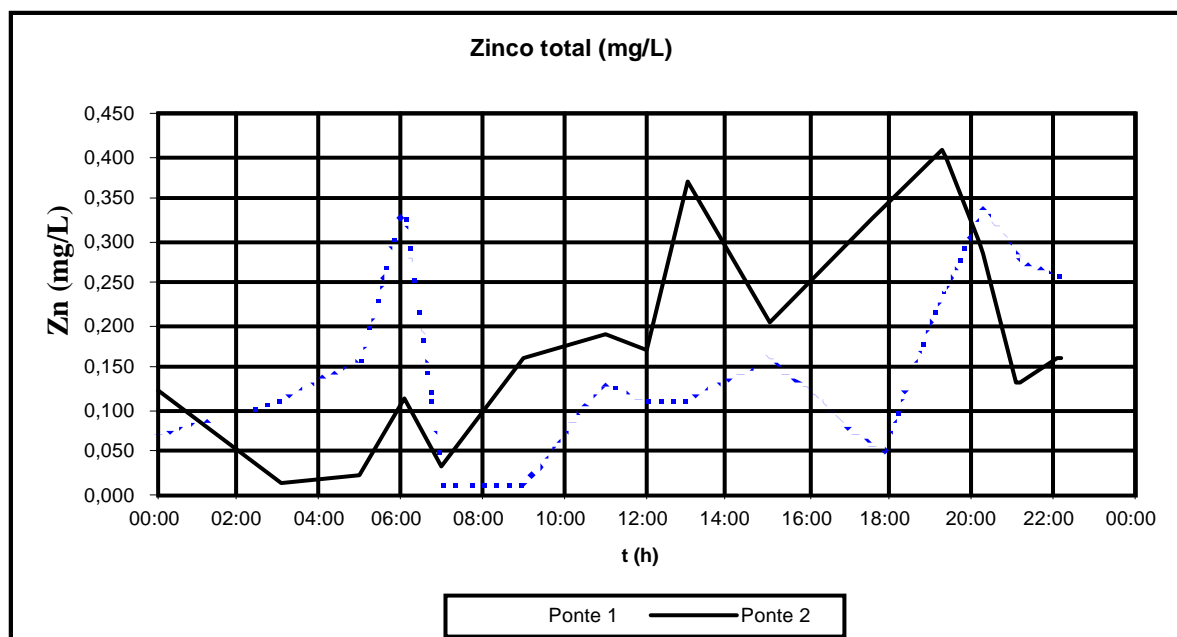
A campanha de amostragem de sólidos resultou nas concentrações de sólidos sedimentáveis (SS) também mostradas na Figura 2 para as pontes 1 e 2 (junto a hidrograma). Notar que o pico de concentração, em ambas as curvas, ocorre próximo às 13h00, cerca de 3h antes do pico da vazão. De fato, o pico de SS é diretamente provocado pelo aumento nas velocidades, que ocorre durante a ascensão do hidrograma. Esta ressuspensão de sedimentos, do fundo do canal e do fundo dos condutos da rede coletora de esgoto, é conhecida como a “primeira leva” de sedimentos (ver Reda, 1996; Reda e Jaquiê, 2002) devida ao relevante aumento de vazão.

A análise conjunta das concentrações com o hidrograma permite também concluir que, nas horas de vazões mais altas – portanto, de maiores velocidades e mais turbulência – as concentrações de sólidos sedimentáveis na Ponte 2 (mais a jusante) são mais elevadas que as na Ponte 1. Portanto, nesse período (entre 12h00 e 21h00) parece haver ressuspensão de sólidos acumulados no fundo do canal no trecho – um processo erosivo. Por outro lado, na parte do dia em que as vazões fluviais são mais baixas (22h00 a 11h00), parece haver retenção de sedimentos no trecho entre as pontes. Com efeito, a curva de concentração de SS na ponte de jusante (Ponte 2) fica bem abaixo da de montante (Ponte 1) – denotando sedimentação no trecho intermediário.

Zinco total

A Figura 3 mostra a variação das concentrações de zinco total (parcela dissolvida mais parcela em suspensão) na coluna líquida, ao longo do dia investigado, nas duas pontes. Na Ponte 2, saída do trecho estudado, este metal é mais concentrado no horário de maiores vazões – de 7h00 a 20h00 – provavelmente, pela maior produção industrial, sentida de forma defasada até pouco após o final do expediente, devido ao tempo de percurso na rede coletora e nos cursos d’água. Algumas horas após o maior pico da vazão sanitária (próximo às 18h00), a concentração na Ponte 2 cai – provavelmente também pela diluição devida à vazão sanitária, que reduz a concentração do metal.

Figura 3: Variação de concentrações de zinco total – ribeirão dos Meninos, pontes 1 e 2.



Por outro lado, na Ponte 1 se observa concentrações deste metal maiores do que na Ponte 2 até as 7h00. Isto provavelmente se deve à maior importância relativa da vazão industrial nas horas da madrugada (já que a atividade doméstica está, então, em recesso). Assim que a contribuição sanitária doméstica cresce e, por consequência, também a vazão e a turbulência (após 7h00), parece haver ressuspensão do metal do fundo, pois a concentração egressa do trecho (pela Ponte 2) fica ainda maior que a que nele entra (Ponte 1). Este mecanismo é similar ao que ocorre com os SS (vide Figura 2). Note-se que ele ocorre combinado a outro, já verificado: a tendência de maiores concentrações do metal durante as horas de maior produção industrial (relacionadas, também e portanto, às horas de maiores vazões neste ribeirão, alimentado principalmente pela vazão sanitária ordinária e a industrial, em época seca como essa) do que durante a madrugada (com menor aporte de esgoto industrial).

Cromo total

O comportamento das concentrações de cromo total nas pontes 1 e 2, mostrado na Figura 4, é similar ao observado para o zinco total: concentrações mais consideráveis no horário comercial (maior produção industrial) e menores nas horas da madrugada. Na Ponte 1, tais concentrações apresentam fortes aumentos às 7h00 e às 15h00. Mostrando uma defasagem de cerca de 3 horas com relação a isto (devido à diferença de 720m ao longo do percurso fluvial), subidas similares na concentração ocorrem às 10h00 e às 18h00 na Ponte 2.

Outro aspecto das variações de concentrações nas duas pontes, provavelmente por mecanismo de deposição (nas horas de tranquilização) e ressuspensão do metal (quando de aumento brusco na vazão e na turbulência) similar ao que ocorreu com os SS e o Zn total, a concentração de Cr na Ponte 2 se torna maior do que na Ponte 1 próximo às 12h00 (quando do aumento de vazão sanitária no horário do almoço) e próximo às 19h00 (por aumento da vazão sanitária próximo ao jantar). Mais uma vez, isto reforça a suspeita do mecanismo de deposição/ressuspensão ao longo de um dia seco devido às variações dinâmicas da corrente.

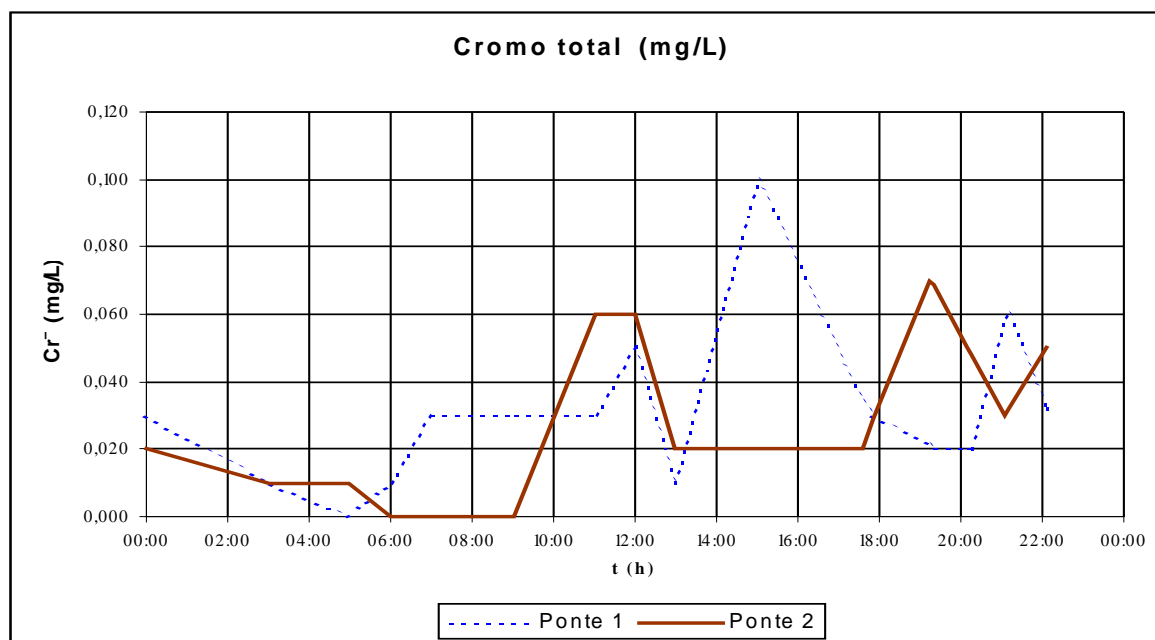


Figura 4: Variação de concentrações de cromo total – ribeirão dos Meninos, pontes 1 e 2.

CONCLUSÃO

A análise acima permite as seguintes conclusões:

- O ribeirão dos Meninos mostra forte padrão de variação de vazões com período diário.
- Observando-se um único local de medição de concentrações – seja ele na Ponte 1 ou na Ponte 2 – os três tipos de sólidos medidos na água, que consideram a parcela em suspensão (SS: sólidos sedimentáveis, Zn total e Cr total) apresentaram maiores concentrações nos horários de maior produção de esgoto do que na madrugada. Esta marcada variação ao longo do dia parece uma feição típica deste curso d'água, confirmando as expectativas oriundas das características do uso desta bacia hidrográfica – forte ocupação mista, de natureza doméstica, comercial e industrial. De fato, há horários do dia em que a vazão de esgoto é aparentemente maior que a vazão hidrológica.
- Os metais aqui investigados, identificados na forma total, assim como os sólidos sedimentáveis, tendem a mostrar um mecanismo de ressuspensão e sedimentação ao longo do dia vinculado ao aumento e à diminuição da turbulência do escoamento, respectivamente. As diferenças entre as suas concentrações que entram no trecho em questão (pela Ponte 1) e que dele saem (Ponte 2) denotam um processo de deposição no fundo do canal, nas horas de menor turbulência, e ressuspensão, nas horas de maior dinâmica fluvial.
- A continuidade deste projeto é altamente recomendada, pois há diversos aspectos a investigar que podem não só melhorar o estado de conhecimento do comportamento de metais em águas fluviais, mas também formar uma base de dados para futuro desenvolvimento de modelagem matemática de metais neste ribeirão.
- Estas conclusões recomendam maior cuidado do que é usual em campanhas para caracterização de cursos d'água de acordo com a qualidade de suas águas; por exemplo, nas rotinas de amostragem corriqueiras dos organismos governamentais de controle ambiental no Brasil e em outras partes do mundo. Ademais, demonstram a importância de medir também as vazões fluviais – não somente concentrações. Infelizmente, parece haver uma tendência em voga no País de desativar os postos de medição rotineira de vazões e os organismos que as mantêm, reduzir verbas para tais medições e coletar amostras de qualidade fluvial em momentos aleatórios, sem seguir um planejamento de acompanhamento dessa qualidade ao longo do dia. Espera-se que, com a aplicação das verbas oriundas da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas, seja possível reverter tal tendência.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEM, SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. Coleta e transporte de esgoto sanitário. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 568p.
2. CHOW, V. T. Open channel hydraulics. Londres: McGraw-Hill - Kogakusha, 1959, 708p.
3. FISCHER, H. B.; LIST, E. J.; KOH, R. C. Y.; IMBERGER, J.; BROOKS, N. H. Mixing in inland waters. New York: Academic Press, 1979. 500p.
4. GOOGLE EARTH. <http://googleearthonline.blogspot.com/>. Entrada em 20 de agosto de 2006.
5. REDA, A. L. L. Simulation and control of stormwater impacts on river water quality. Tese, PhD, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Universidade de Londres. Londres: Imperial College, 1996. 512p.
6. REDA, A. L. L.; JAQUIÊ, L. C. L. Transporte fluvial de sedimentos durante enchente rural: investigação de episódio na Região do Arenito Bauru. Anais: V ENCONTRO NACIONAL de ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, São Paulo, 29-29 nov. 2002. Porto Alegre: ABRH, 2002. pp.257-263.
7. REDA, A. L. L.; UEHARA, D. M. Qualidade da água no ribeirão dos Meninos: Regime de sedimentação e ressuspensão de sólidos sedimentáveis ao longo do dia no Bairro Mauá, São Caetano do Sul. Anais: XIII SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belém, PA, 10 a 14 de março, 2008. ABES, RJ. (CD) 9p.