



Elementos químicos potencialmente tóxicos em diferentes níveis de vazão no rio Turvo Sujo, MG, Brasil (doi:10.4136/ambi-agua.89)

**Flávia Mariani Barros¹; Mauro Aparecido Martinez²; Antonio Teixeira de Matos²;
Paulo Roberto Cecon²; Débora Astoni Moreira²; David Rafael Quintão Rosa²**

¹Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

E-mail: mariamariani@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Viçosa - UFV

E-mail: {mmauro, atmatos}@ufv.br; cecon@dpi.ufv.br; deboraastoni@yahoo.com.br;
davidquintao@gmail.com

RESUMO

Alguns elementos químicos são essenciais à vida em pequenas quantidades, no entanto, grandes quantidades podem comprometer a qualidade do curso hídrico e ocasionar danos à saúde. O objetivo deste trabalho foi quantificar a presença de alguns elementos químicos potencialmente tóxicos em um trecho do rio Turvo Sujo, localizado na cidade de Viçosa-MG em diferentes vazões. Nesse rio, foram escolhidos cinco pontos de coleta, as quais foram realizadas nas quatro diferentes estações do ano. Para cada ponto foram obtidas as concentrações de cobre, manganês, ferro, zinco, crômio, cádmio e chumbo. As concentrações de ferro e manganês foram maiores na época do verão, em razão do maior escoamento superficial nesse período, enquanto os elementos mais tóxicos, como o crômio, cádmio e chumbo, foram observados em maiores concentrações no período da primavera, época correspondente à menor vazão.

Palavras-chave: Sazonalidade; elementos potencialmente tóxicos; qualidade de água.

Chemical elements potentially toxic at different flow rates in the Turvo Sujo river, MG, Brazil

ABSTRACT

Some chemical elements in small amounts are essential to life; however, in high concentrations can commit the quality of the water courses and cause damages to human health. The objective of this work was to quantify the presence of potentially toxic elements, in a section of the Turvo Sujo river in the Viçosa city during different flow rates. In this river five collection points were chosen and monitored in four different seasons. For each point, the concentrations of copper, manganese, iron, zinc, chromium, cadmium and lead were obtained. The iron and manganese concentrations were larger in summer time, due to the largest superficial drainage in this period, while the most toxic elements, such as chromium, cadmium and lead were observed in higher concentrations in the spring period corresponding to the lowest rate flow.

Keywords: seasonality; potentially toxic elements; quality water.

1. INTRODUÇÃO

A introdução de elementos químicos potencialmente tóxicos nos sistemas aquáticos ocorre naturalmente por processos geoquímicos e por intemperismo. Os ciclos biológicos e geológicos são responsáveis pela redistribuição desses metais no ambiente (Yabe e Oliveira, 1998). Essas substâncias podem provocar danos irreparáveis nos organismos aquáticos com o declínio ou, até mesmo, a extinção de populações (Exley et al., 1991).

Atualmente são reconhecidos treze metais como potencialmente perigosos à saúde humana e à biota aquática: o antimônio, arsênio, berílio, cádmio, crômio, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, selênio, prata, tálio e zinco. Entre os elementos mais frequentemente encontrados em descargas e escoamentos superficiais de áreas urbanas e industriais estão o cobre, zinco, crômio, chumbo e níquel, presentes no escoamento superficial de áreas urbanas e industriais (Novotny, 1995).

Os elementos potencialmente tóxicos podem ser mais problemáticos em épocas cujo curso de água apresenta menores vazões, já que estes podem estar mais concentrados em contrapartida às maiores vazões onde poderão estar mais diluídos. Nesse sentido, em diversos trabalhos (Felipe-Sotelo et al., 2006; Jonathan et al., 2008) são encontradas correlações significativas entre a concentração dos elementos potencialmente tóxicos e vazão.

Jordão et al. (2007), objetivando quantificar as concentrações de alguns elementos químicos no rio Turvo Sujo, no período de estiagem, constataram concentrações de $1 \mu\text{g L}^{-1}$ para o cobre, $1240 \mu\text{g L}^{-1}$ para o ferro, $300 \mu\text{g L}^{-1}$ para o zinco, $3,5 \mu\text{g L}^{-1}$ para o crômio, $6,0 \mu\text{g L}^{-1}$ para o cádmio e $3,8 \mu\text{g L}^{-1}$ para o chumbo.

No Brasil, existem vários relatos de contaminação da água e organismos aquáticos por metais. Em alguns deles foi evidenciada a ocorrência de bioacumulação em moluscos, como a contaminação da Baía de Todos os Santos-BA por cádmio, mercúrio, chumbo e zinco, provocada pelo despejo de esgoto urbano e rejeitos da indústria petroquímica e metalúrgica; da Baía de Guanabara-RJ, por crômio, cobre, manganês e zinco, também devido ao despejo de esgoto urbano e rejeitos da indústria petroquímica e metalúrgica; da Baía de Sepetiba-RJ, por cádmio, crômio e zinco, provocada pelo despejo de rejeitos da indústria metalúrgica e a contaminação do Complexo Estuarino-lagunar de Iguape-Cananéia por chumbo, oriunda da atividade mineradora no leito do Rio Ribeira de Iguape (Pfeiffer et al., 1985).

Os altos índices de toxicidade de alguns metais para os organismos, mesmo em baixas concentrações, associados a sua relativa facilidade de entrar e permanecer nas cadeias tróficas por longos períodos, reforça a importância de estudos que determinem suas concentrações em ambientes aquáticos.

Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho foi quantificar a presença dos metais: cobre, manganês, ferro, zinco, crômio, cádmio e chumbo, em um trecho do rio Turvo Sujo, localizado na cidade de Viçosa-MG, em diferentes vazões, relacionadas às diferentes estações do ano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área do presente estudo abrange um trecho localizado no rio Turvo Sujo, sendo este pertencente à bacia hidrográfica do rio Doce. Essa bacia está compreendida entre as coordenadas geográficas $42^{\circ} 40'$ e $43^{\circ} 00'$ de longitude Oeste e $20^{\circ} 39'$ e $20^{\circ} 55'$ de latitude Sul, abrangendo parte dos municípios de Viçosa, Cajuri, Coimbra, Teixeiras, Guaraciaba, São Miguel do Anta e Ervália, no Estado de Minas Gerais (Santos, 2001). A bacia apresenta altitude média de 775 metros, com cotas extremas de 600 e 945 metros (Santos, 2001).

A área da bacia apresenta rochas referentes ao período Pré-Cambriano inferior ou Indiviso, compreendendo gnaisses e magmatitos diversos. Sedimentos quaternários ocorrem ao longo dos vales, constituindo depósitos aluvionares de caráter argiloso, argilo-arenoso, representados por terraços e leitos maiores de deposição mais recente (Radambrasil, 1983).

O clima da região enquadra-se no tipo Cwa (clima inverno seco e verão chuvoso), de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e, do mês mais quente superior a 22°C (Baruqui, 1982).

O trecho em estudo foi escolhido com base nas fontes de poluição, sendo localizado após uma fonte pontual de poluição, o ribeirão São Bartolomeu e, posteriormente, sem contribuições de fontes de poluição significativas durante seu percurso. O trecho, no qual foram escolhidos os pontos de amostragem, situa-se entre o encontro do ribeirão São Bartolomeu com o rio Turvo Sujo e o deságue deste no rio Turvo Limpo. O ribeirão São Bartolomeu foi considerado como fonte pontual inicial de poluição, pois, recebe grande parte do esgoto da cidade de Viçosa-MG.

2.2. Plano de amostragem da água

Para avaliação das variáveis de qualidade de água em diferentes vazões do curso de água, as coletas das amostras de água foram realizadas em quatro épocas distintas, coincidentes com as estações do ano: outono (coleta realizada em 14/05/2007), inverno (coleta realizada em 13/08/2007), primavera (coleta realizada em 07/11/2007) e verão (coleta realizada em 13/02/2008).

2.2.1. Pontos de coleta de água

No trecho escolhido para o estudo, foram definidos cinco pontos de coleta de amostras de água. A localização dos pontos e a distância destes em relação ao primeiro ponto (ponto 1) são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Localização dos pontos de coleta de água e distância destes em relação ao primeiro ponto (ponto 1).

Pontos de coleta de água	Localização	Distância em relação ao primeiro ponto (m)
1	20°43'57.4''S 42°53'32.2''W	0,00
2	20°43'56.9''S 42°53'50.5''W	748,90
3	20°43'58.5''S 42°54'10.6''W	2000,61
4	20°43'45.5''S 42°54'39.3''W	3859,35
5	20°43'31.2''S 42°55'2.6''W	4909,65

Os pontos de coleta foram geoposicionados, utilizando-se GPS de navegação (modelo 12 XL da Garmin) e cartas topográficas na escala 1:50000 do IBGE, vetorizados no software ARCVIEW.

2.2.2. Procedimentos de coleta de água e armazenamento das amostras

As amostragens nos pontos de coleta de água foram realizadas em intervalos de tempo suficientes para que a coluna de água, amostrada no primeiro ponto, se deslocasse deste aos pontos a jusante, de forma a se coletar amostras na mesma coluna de água (considerando-se o

regime de fluxo em pistão). Os intervalos de tempo foram calculados a partir da velocidade média do escoamento das águas do rio e das distâncias entre pontos adjacentes.

As amostras de água coletadas em cada ponto do rio foram do tipo simples, com três repetições, coletadas na calha central deste, na profundidade de 15-20 cm (CETESB, 1988), sendo esse procedimento sempre realizado no período da manhã.

Imediatamente antes da coleta, foi realizado o procedimento de “ambientação” do frasco, ou seja, o enxágue deste de duas a três vezes nas águas onde eram realizadas as amostragens. Posteriormente, o frasco foi mergulhado no rio e virado lentamente no sentido contra a corrente até ser, completamente, preenchido com o líquido.

As amostras de água foram acondicionadas em caixas de isopor contendo gelo, sendo preservadas segundo metodologias descritas em APHA (1995) e transportadas, imediatamente, ao Laboratório de Qualidade da Água, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, onde foram efetuadas as análises de variáveis físicas, químicas e biológicas da água.

2.2.3. Determinação dos elementos químicos potencialmente tóxicos

Em cada amostra de água coletada, foram quantificadas as concentrações de cobre, manganês, ferro, zinco, crômio, níquel, cádmio e chumbo por meio do espectrômetro de emissão atômica de plasma, Perkin Elmer Modelo Optima 3300 TV, após a digestão nitro-perclórica das amostras (APHA, 1995).

2.3. Determinação da velocidade e da vazão do rio Turvo Sujo

As medições das velocidades e o cálculo das vazões foram realizados em cada um dos cinco pontos de coleta nas diferentes épocas do ano. A medição da velocidade da água foi realizada pelo método do molinete.

A vazão do curso de água foi obtida multiplicando-se a velocidade do escoamento da água pela área da seção transversal. A velocidade do curso de água, em cada local de amostragem, foi determinada com o auxílio de um molinete hidrométrico marca M. N. L. 7, enquanto a área da seção transversal foi determinada por meio de levantamento batimétrico local, segundo metodologia descrita por Pruski et al. (2006).

As posições horizontais e verticais do molinete, para a determinação da velocidade média, foram definidas de acordo com a largura e profundidade do curso de água, conforme metodologias descritas em Almeida (2006) e Pruski et al. (2006), respectivamente.

As correlações entre as variáveis vazão e elementos químicos potencialmente tóxicos foram efetuadas pelo método de Pearson, utilizando-se o software SAEG (SAEG, 2007).

2.4. Características climatológicas da área em estudo

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas, respectivamente, os totais de precipitação e as temperaturas médias mensais para a cidade de Viçosa-MG, correspondentes ao período de estudo, esses dados foram coletados na Estação Meteorológica pertencente ao INMET, localizada na Universidade Federal de Viçosa (UFV) - MG a 20°25'S e 42°52'W e altitude de 657 m.

Todas as coletas foram realizadas em dias nos quais não ocorreram precipitações; e anteriormente ao dia da coleta, não houvera precipitações nos últimos cinco dias, no mínimo.

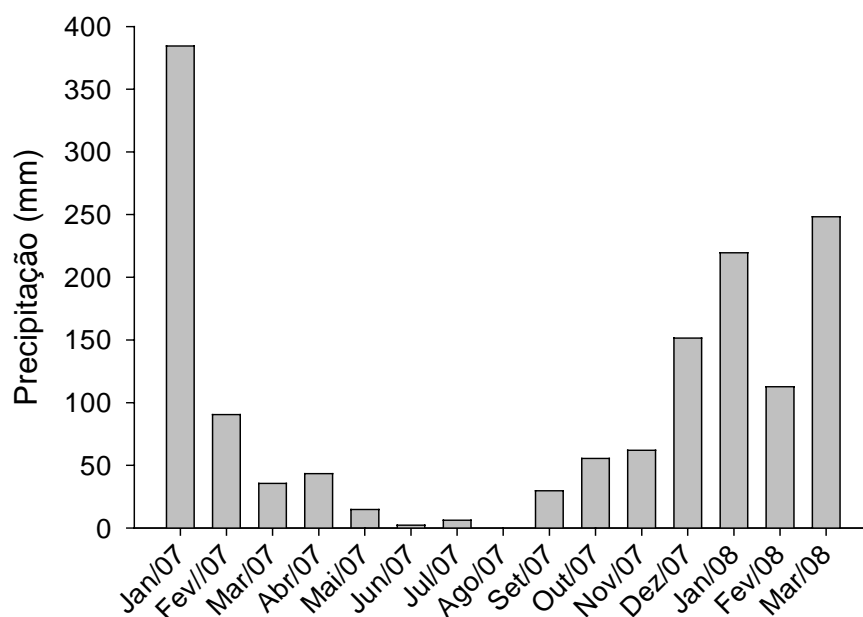


Figura 1. Precipitações totais mensais, na cidade de Viçosa-MG.

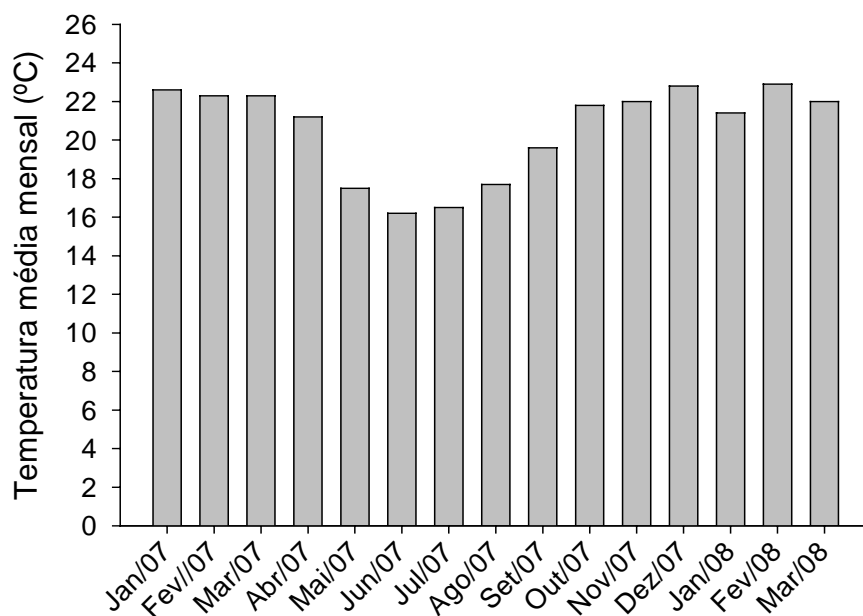


Figura 2. Temperaturas médias mensais na cidade de Viçosa- MG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de Cu, Mn, Fe, Zn, Cr, Ni, Cd e Pb, nas amostras de águas coletadas no rio Turvo Sujo, são apresentadas na Tabela 2.

Não foram detectadas concentrações de níquel em nenhum dos pontos e épocas avaliadas (Tabela 2).

3.1. Cobre

As concentrações de cobre no rio Turvo Sujo (Tabela 2) apenas foram detectadas no outono, época em que o rio estava com maior vazão ($3,55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), nesse caso, havendo correlação positiva entre esse elemento e a vazão ($r = 0,65$; $p < 0,01$). Resultados semelhantes, em relação à maior concentração de cobre nas maiores vazões, foram relatados por Bambic et al. (2006).

Por ser um micronutriente indispensável às lavouras, o cobre pode ter sido carregado para as águas do rio Turvo Sujo pelo escoamento superficial, ocasionado pelas precipitações.

Segundo Bambic et al. (2006), altos valores de pH, em baixas vazões do curso de água, podem resultar em fixação do cobre no sedimento de fundo do rio, limitando a mobilidade deste. Segundo os autores, a proporção de cobre encontrada no sedimento de fundo em rios pertencentes à Bacia de Hickley Run, situada em Sierra Nevada, Califórnia, foi de 10 a 1000 vezes maior que na água da superfície, quando o pH era igual a 6.

Jordão et al. (2007) encontraram concentrações de cobre de $4,8$ e $4,2 \mu\text{g L}^{-1}$ em dois pontos de amostragem, no ribeirão São Bartolomeu e valor menor que o limite de detecção antes do encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão e de $1 \mu\text{g L}^{-1}$, após o encontro dos dois.

Os valores das concentrações de cobre, encontrados nas águas coletadas nos pontos avaliados, foram menores que os valores estabelecidos na Resolução CONAMA n.º 357 para águas de classe 1, 2 e 3, que são, respectivamente, 9, 9 e $13 \mu\text{g L}^{-1}$ (Brasil, 2005).

3.2. Manganês

As concentrações de manganês no rio Turvo Sujo (Tabela 2) foram detectadas em todas as épocas, em cada um dos pontos avaliados. Houve correlação negativa entre esse elemento e a vazão ($r = -0,53$; $p < 0,01$).

As maiores concentrações de manganês foram encontradas durante o verão, época em que ocorreram várias precipitações; esse elemento pode ter sido carregado das lavouras por meio do escoamento superficial até as águas do rio Turvo Sujo, pois, assim como o cobre, o manganês é um micronutriente indispensável às plantas e, ou pode ter ocorrido devido ao maior escoamento-base (águas subterrâneas, consideradas mais ricas em Mn^{2+}) nessa época. Samecka-Cymerman e Kempers (2007) relataram que o manganês é um elemento típico em esgotos urbanos e na agricultura (como um micronutriente em fertilizantes e como agente desinfetante).

No outono (vazão = $3,55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), os valores das concentrações de manganês foram menores que em todas as outras épocas, devido à menor influência da contribuição do escoamento superficial carregando esse elemento.

Variabilidade de precipitação e aumento em sua intensidade conduzem ao aumento da frequência de inundação (Booij, 2005; Middelkoop et al., 2001). Essas variações podem levar a mudanças no transporte e deposição de sedimentos e contaminantes associados, tais como elementos químicos potencialmente tóxicos (Thonon et al., 2006).

Houve correlação positiva ($r = 0,30$; $p < 0,01$) entre o manganês e o pH, o que também foi observado por Felipe-Sotelo et al. (2006), em trabalho nos rios Mero e Mendo, em Coruña. Segundo o autor, a correlação positiva entre o pH e o manganês é de difícil explicação, pois, embora o manganês decresça com o aumento no pH (Koshikawa et al., 2005), depleções de manganês solúvel com o pH baixo têm sido relatadas em condições extremas (Hart et al., 1992) ou durante a precipitação na presença de altas concentrações de Al^{3+} ou SO_4^{2-} (Rothenhöfer et al., 1999).

Tabela 2. Valores de vazão, médias e desvios-padrão das concentrações de elementos potencialmente tóxicos em amostras de água coletadas no rio Turvo Sujo, nas diferentes épocas e pontos avaliados.

Vazão (m ³ s ⁻¹)	Ponto	Elementos potencialmente tóxicos ^a (µg L ⁻¹)							
		Cobre	Manganês	Ferro	Zinco	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
3,55 Outono	1	1,89 ± 0,14	5,58 ± 0,31	3454,17 ± 17,29	19,17 ± 1,42	ND	ND	ND	ND
	2	2,67 ± 0,63	4,76 ± 0,26	3000,92 ± 70,93	36,17 ± 5,13	ND	ND	ND	ND
	3	0,58 ± 0,52	3,56 ± 0,46	2361,83 ± 217,18	1,75 ± 0,25	ND	ND	ND	ND
	4	ND	4,45 ± 0,68	3297,08 ± 124,84	5,75 ± 1,52	ND	ND	ND	ND
	5	0,92 ± 0,38	4,20 ± 0,60	2597,08 ± 240,52	3,17 ± 0,76	ND	ND	ND	ND
	Média	1,20 ± 1,03	4,51 ± 0,80	2942,21 ± 446,74	13,19 ± 13,66	-	-	-	-
2,18 Inverno	1	ND	108,70 ± 4,59	1511,50 ± 86,03	ND	18,50 ± 3,12	ND	0,67 ± 0,29	12,27 ± 2,25
	2	ND	106,50 ± 6,54	2222,33 ± 138,67	ND	8,00 ± 1,00	ND	0,17 ± 0,29	4,17 ± 1,26
	3	ND	85,67 ± 11,81	1788,83 ± 56,19	ND	8,17 ± 1,04	ND	ND	0,67 ± 0,29
	4	ND	176,67 ± 4,04	3173,17 ± 123,36	ND	4,17 ± 1,44	ND	0,17 ± 0,29	ND
	5	ND	88,67 ± 2,36	1852,00 ± 119,48	ND	1,83 ± 1,26	ND	0,50 ± 0,00	ND
	Média	-	113,65 ± 30,59	2109,56 ± 605,39	-	8,13 ± 6,09	-	0,30 ± 0,31	3,42 ± 4,94
1,32 Primavera	1	ND ^b	53,13 ± 9,35	2005,67 ± 27,21	ND	29,24 ± 4,22	ND	13,01 ± 2,36	24,33 ± 1,49
	2	ND	0,04 ± 0,07	864,42 ± 90,15	ND	ND	ND	0,01 ± 0,01	0,19 ± 0,33
	3	ND	104,18 ± 10,73	1558,17 ± 184,64	ND	4,30 ± 0,19	ND	3,75 ± 0,78	10,72 ± 2,02
	4	ND	114,69 ± 14,95	1533,30 ± 104,81	ND	4,51 ± 0,35	ND	1,31 ± 0,53	4,47 ± 0,32
	5	ND	94,79 ± 14,78	2055,22 ± 46,00	ND	4,36 ± 0,16	ND	0,17 ± 0,13	3,72 ± 0,41
	Média	-	73,37 ± 44,7	1603,36 ± 453,96	-	8,48 ± 11,00	-	3,65 ± 5,12	8,68 ± 8,87
2,31 Verão	1	ND	122,17 ± 11,41	5293,10 ± 138,37	1,57 ± 0,12	ND	ND	0,08 ± 0,14	ND
	2	ND	149,57 ± 6,07	6465,67 ± 207,84	1,83 ± 1,26	ND	ND	0,08 ± 0,14	ND
	3	ND	113,80 ± 7,81	5123,20 ± 335,77	3,33 ± 2,08	ND	ND	ND	ND
	4	ND	92,17 ± 11,27	5430,40 ± 160,44	6,00 ± 0,00	ND	ND	ND	ND
	5	ND	100,33 ± 6,33	6400,17 ± 126,33	6,17 ± 0,29	ND	ND	ND	ND
	Média	-	115,61 ± 21,93	5742,51 ± 618,10	3,78 ± 2,24	-	-	0,03 ± 0,08	-

^a Média das três repetições ± desvio-padrão; ^b ND = não detectado (valores inferiores ao limite analítico).

Samecka-Cymerman e Kempers (2007) constataram nos rios Olobok e Pilawa, no sul da Polônia, valores de manganês de $88 \mu\text{g L}^{-1}$ e $30 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente, para esses rios. Os valores encontrados para o rio Olobok estão próximos à média da concentração desse elemento, obtida no presente trabalho na época de primavera ($73,37 \mu\text{g L}^{-1}$). Elbaz-Poulichet et al. (2005) com o objetivo de avaliar frações de elementos químicos nos rios Marne e Seine, em Paris, encontraram valores de manganês de 3,92 e $6,26 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Esses valores são inferiores aos encontrados no presente trabalho nas épocas de primavera, inverno e verão, aproximando-se mais dos valores encontrados para esse elemento no outono.

Considerando as concentrações médias de manganês, em cada vazão, observa-se que, nas épocas cujas vazões foram de $1,32$ e $3,55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, as concentrações desse elemento não ultrapassaram os valores estabelecidos na Resolução CONAMA n.º 357 (Brasil, 2005) para águas de classe 1 ($100 \mu\text{g L}^{-1}$). Nas épocas cujas vazões foram de $2,18$ e $2,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, os valores das médias das concentrações de manganês, em cada vazão, foram superiores ao valor estabelecido na resolução CONAMA n.º 357 para águas de classe 1 e inferiores ao valores estabelecidos na mesma resolução para águas de classe 3 ($500 \mu\text{g L}^{-1}$).

3.3. Ferro

As concentrações de ferro no rio Turvo Sujo foram detectadas em todas as épocas (Tabela 2), em cada um dos pontos avaliados. Houve correlação positiva entre o ferro e a vazão ($r = 0,27$; $p < 0,01$).

As maiores concentrações de ferro ocorreram no verão, o qual é caracterizado pelas maiores quantidades de precipitações, esse elemento pode ter alcançado o curso de água por carreamento de solo associado ao escoamento superficial, pois, é um importante elemento constituinte do solo.

Na primavera, época em que ocorreu menor velocidade média das águas do rio Turvo Sujo ($0,33 \text{ m s}^{-1}$), foram encontradas menores concentrações de ferro. Provavelmente, isto é devido ao menor carreamento de partículas de solo, ocasionado pelo escoamento superficial.

Samecka-Cymerman e Kempers (2007), estudando os rios Olobok e Pilawa, no sul da Polônia, encontraram valores de ferro de $209 \mu\text{g L}^{-1}$ e $418,6 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Furch (1984) encontrou valores de ferro respectivamente de 178 e $109 \mu\text{g L}^{-1}$ nos rios Negro e Solimões, no Amazonas. As concentrações de ferro encontradas por esses autores são bem menores que as encontradas no presente trabalho.

Jordão et al. (2007) encontraram concentrações de ferro de 1800 e $2550 \mu\text{g L}^{-1}$ em dois pontos de amostragem do ribeirão São Bartolomeu e valores de 551 e $1240 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente, antes e após o encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão São Bartolomeu, resultados estes inferiores aos encontrados no presente trabalho.

Os valores das concentrações de ferro encontrados nos pontos avaliados, em todas as épocas, superaram os valores estabelecidos na Resolução CONAMA n.º 357 (Brasil, 2005) para águas de classe 1 e 2 ($300 \mu\text{g L}^{-1}$) e, no verão, superaram os valores estabelecidos para águas de classe 3 ($5000 \mu\text{g L}^{-1}$).

3.4. Zinco

As concentrações de zinco no rio Turvo Sujo (Tabela 2) foram detectadas, somente nas épocas cujas vazões foram maiores ($2,31$ e $3,55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), ou seja, verão e outono. Houve correlação positiva entre as concentrações de zinco e a vazão ($r = 0,58$; $p < 0,01$).

Samecka-Cymerman e Kempers (2007) encontraram nos rios Olobok e Pilawa, no sul da Polônia, valores de zinco de $69 \mu\text{g L}^{-1}$ e $57 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Os autores relatam que, embora seja elemento típico presente em esgotos de indústria têxteis, o zinco também é utilizado na composição de praguicidas e fertilizantes, podendo ser, portanto, parte da sua concentração na água devido ao efeito do escoamento superficial em terras agrícolas.

Águas contaminadas por esgotos industriais, conforme relatado por Pereira (2000) no rio Muriaé-MG, apresentaram concentrações de zinco em torno de $380 \mu\text{g L}^{-1}$.

Jordão et al. (2007) constataram concentrações de zinco de $34,1$ e $27,5 \mu\text{g L}^{-1}$ em dois pontos de amostragem no ribeirão São Bartolomeu e valores menores que o limite de detecção e de $300 \mu\text{g L}^{-1}$ antes e após o encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão São Bartolomeu, respectivamente, sendo este último valor maior que o encontrado no presente trabalho.

Merian (1991) ressalta que águas de rios são, frequentemente, contaminadas por esgotos e águas residuárias e contêm concentrações de zinco consideravelmente altas. O autor relata que concentrações de zinco entre 2 e $1183 \mu\text{g L}^{-1}$ foram mensuradas em 130 corpos de água, nos Estados Unidos da América.

Os valores das concentrações de zinco, encontrados nos pontos de avaliação, foram menores que os valores estabelecidos na Resolução CONAMA n.º 357 (Brasil, 2005) para águas de classes 1, 2 e 3.

3.5. Crômio

As concentrações de crômio no rio Turvo Sujo (Tabela 2) apenas foram detectadas nas épocas caracterizadas pelas menores vazões ($1,32$ e $2,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), isto é, primavera e inverno. O ponto 1, localizado após o encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão São Bartolomeu, apresentou as maiores concentrações desse elemento para as duas épocas consideradas (primavera e inverno), enquanto nos pontos subsequentes houve diminuição desse valor, o que pode ser devido à formação de precipitados com outros pares iônicos ou à quelação/complexação pela matéria orgânica. Houve correlação negativa entre o crômio e a vazão ($r = -0,43$; $p < 0,01$).

Jordão et al. (2007) encontraram concentrações de crômio de $38,6$ e $7,61 \mu\text{g L}^{-1}$ em dois pontos de amostragem do ribeirão São Bartolomeu, bem como valor menor que o limite de detecção antes do encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão e de $3,5 \mu\text{g L}^{-1}$ após o encontro dos dois, corroborando com a hipótese de que o ribeirão São Bartolomeu está causando aumento nas concentrações de crômio no rio Turvo Sujo.

Segundo Jordão et al. (2007), dois exemplos de cursos de água poluídos com crômio são o rio Amazonas e o rio Skeleto, sendo o último localizado nos Estados Unidos da América. Enquanto o primeiro apresentou concentração média de crômio de $2 \mu\text{g L}^{-1}$ (Förstner e Wittmann, 1981), o segundo apresentou valores entre $0,3$ e $3,5 \mu\text{g L}^{-1}$ (Namminga e Wilhm, 1977).

As concentrações médias de crômio, nos cinco pontos avaliados nas épocas cujas vazões foram de $1,32$ e $2,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, foram menores que o valor estabelecidos na Resolução CONAMA n.º 357 (Brasil, 2005), que é de $50 \mu\text{g L}^{-1}$ para águas de classes 1, 2 e 3.

3.6. Cádmio

As concentrações de cádmio no rio Turvo Sujo (Tabela 2) foram detectadas apenas nas épocas de primavera e inverno, caracterizadas pelas menores vazões ($1,32$ e $2,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), bem como nos dois primeiros pontos na época de verão (vazão = $2,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). O ponto 1, localizado após o encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão São Bartolomeu, apresentou as maiores concentrações desse elemento ($13,01$ e $0,67 \mu\text{g L}^{-1}$), nas épocas de primavera e inverno, respectivamente. Isso pode ser devido à ocorrência das duas menores vazões consideradas ($1,32$ e $2,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), nessas épocas. Nos pontos subsequentes, houve diminuição das concentrações desse elemento, o que pode ser devido à formação de precipitados com outros pares iônicos, absorção a material sedimentável ou à quelação/complexação pela matéria orgânica. Houve correlação negativa entre o cádmio e a vazão ($r = -0,41$; $p < 0,01$).

Os maiores valores de cádmio, nas épocas cujas vazões foram menores, deve-se à concentração desse elemento no rio, fato esse devido à diminuição do volume de água nesse período, pois o aumento desse volume tem efeito diluidor. A presença desse elemento

também pode estar associada ao lançamento de águas residuárias e ao carreamento de fungicidas e herbicidas ao rio Turvo Sujo.

Cidu e Biddau (2007), objetivando quantificar alguns elementos químicos em alguns rios em Sardina, na área mediterrânea da Itália, constataram concentrações mais altas desse elemento (0,19 a 16 $\mu\text{g L}^{-1}$), sob vazões mais altas, ao contrário das constatações feitas no presente trabalho. Segundo os autores, a diminuição na concentração desse elemento em baixas vazões pode ser devido à sua adsorção por uma variedade de óxidos e hidróxidos (especialmente de alumínio, ferro e manganês).

Jonathan et al. (2008), estudando rios do sul da Índia, observaram que as maiores concentrações de cádmio dissolvido, que variaram entre 0,64 e 0,81 $\mu\text{g L}^{-1}$, foram detectadas em regiões altamente industrializadas.

Jordão et al. (2007) encontraram concentrações de cádmio de 13,0 e 7,1 $\mu\text{g L}^{-1}$ em dois pontos de amostragem do ribeirão São Bartolomeu, bem como valor menor que o limite de detecção, antes do encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão São Bartolomeu e 6,0 $\mu\text{g L}^{-1}$ após o encontro destes, sendo este valor maior que os valores encontrados no presente trabalho.

Investigações demonstram que, com exceção de regiões poluídas, a concentração de cádmio em rios e lagos encontram-se frequentemente, abaixo de 0,1 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Merian, 1991).

Sendo o valor máximo de cádmio estabelecido na Resolução CONAMA n.º 357 (Brasil, 2005) de 1 $\mu\text{g L}^{-1}$ para águas de classes 1, 2 e 3, as concentrações referentes aos pontos 1, 3 e 4, na época cuja vazão foi de 1,32 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, estão acima desse valor.

3.7. Chumbo

As concentrações de chumbo no rio Turvo Sujo (Tabela 2) foram detectadas, apenas, nas épocas de primavera e inverno, correspondentes às menores vazões (1,32 e 2,18 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$). O ponto 1, localizado após o encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão São Bartolomeu, apresentou as maiores concentrações desse elemento (24,33 e 12,27 $\mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente), nas duas menores vazões consideradas, enquanto nos pontos subsequentes houve diminuição desse valor. Esse fato pode ser devido à formação de precipitados com outros pares iônicos, absorção a material sedimentável ou à quelação/complexação pela matéria orgânica. Houve correlação negativa entre o chumbo e a vazão ($r = -0,49$; $p < 0,01$).

Os maiores valores de chumbo, nas épocas com menores vazões, é devido à maior concentração desse elemento na água, em razão da diminuição da vazão durante esse período. Outro fator, que pode influenciar o aumento das concentrações de chumbo nas águas, refere-se aos lançamentos de efluentes industriais contaminados com esse elemento.

Jonathan et al. (2008), estudando rios do sul da Índia, observaram que as maiores concentrações de chumbo foram detectadas em regiões altamente industrializadas. Os autores relataram que as concentrações de chumbo decresceram com o aumento da salinidade na água, fato esse não observado no presente trabalho, pois, houve correlação positiva entre o chumbo e a condutividade elétrica ($r = 0,41$; $p < 0,01$).

Cidu e Biddau (2007) constataram concentrações médias de chumbo mais altas sob vazões mais altas e observaram pequenas variações entre a concentração de chumbo total e dissolvido, em alguns rios em Sardina, na área mediterrânea da Itália. Segundo esses autores, a diminuição na concentração desse elemento em baixas vazões pode ser devido à sua adsorção por uma variedade de óxidos e hidróxidos, especialmente de alumínio, ferro e manganês.

Jordão et al. (2007) encontraram concentrações de chumbo de 14,2 e 7,0 $\mu\text{g L}^{-1}$, em dois pontos de amostragem do ribeirão São Bartolomeu, bem como valor menor que o limite de detecção antes do encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão São Bartolomeu e de 3,8 $\mu\text{g L}^{-1}$ após esse encontro, sendo esse valor próximo aos encontrados no presente trabalho, durante o inverno.

Considerando a média das concentrações de chumbo, verifica-se que apenas no ponto 1, nas épocas de primavera e inverno e no ponto 3, na época de primavera, as concentrações desse elemento foram maiores que o valor estabelecido na Resolução CONAMA n.º 357 (Brasil, 2005) para águas de classe 1, que é de $10 \mu\text{g L}^{-1}$, porém não superaram o limite estabelecido nessa legislação para águas de classe 3 ($33 \mu\text{g L}^{-1}$).

As variações nas concentrações dos elementos químicos entre os pontos, para cada época, podem também ser influenciadas pela diferença na contribuição do material autóctone, encontrado em cada ponto avaliado.

4. CONCLUSÃO

Tendo por base os resultados obtidos e considerando-se as condições em que o estudo foi realizado, conclui-se que:

- As concentrações de cobre, manganês zinco e chumbo, em todos os pontos e épocas estudadas, ficaram abaixo dos valores estabelecidos pela Resolução Conama n.º 357 para águas de classe 3, enquanto que no verão e na primavera, respectivamente, os valores das concentrações de ferro e cádmio (nos pontos 1, 2 e 3) ficaram acima do estabelecido por essa resolução, indicando, dessa forma, uma maior poluição desses elementos no rio Turvo Sujo nessas épocas;

- Houve correlação positiva entre a vazão e os elementos: cobre, ferro e zinco; e negativa com os elementos: manganês, crômio, cádmio e chumbo;

- Há grande contribuição de elementos potencialmente tóxicos nas águas do rio Turvo Sujo devido à descarga de esgotos domésticos, lixos próximos ao rio e a prática de atividades agropecuárias no seu entorno;

- Não foram constatadas concentrações de níquel em nenhuma das vazões avaliadas.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPEMIG e ao CNPq pelos apoios concedidos para o trabalho de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. V. D. **Índice de qualidade da água e coeficientes de autodepuração de trechos do rio Pomba**. 2006. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. New York: APHA, WWA, WPCR, 1995. 1268 p.

BAMBIC, D. G.; ALPERS, C. N.; FANELLI, E.; GREEN, P. G; SILK, W. K. Seasonal and spatial patterns of metals at a restored copper mine site .I. Stream copper and zinc. **Environmental Pollution**, v. 144, n. 3, p. 774 - 782, 2006.

BARUQUI, F. M. **Inter-relações solo-pastagem nas regiões da Mata e Rio Doce do Estado de Minas Gerais**. 1982. 119f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.

BOOIJ, M. J. Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. **Journal of Hydrology**, v. 303, p. 176 - 198, 2005.

BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; MOREIRA, D. A.; ROSA, D. R. Q. Elementos químicos potencialmente tóxicos em diferentes níveis de vazão no rio Turvo Sujo, MG, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 93-105, 2009. (doi:10.4136/ambi-agua.89)

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA. Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília: MMA, 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo: CETESB, 1988. 160 p.

CIDU, R.; BIDDAU, R. Transport of trace elements under different seasonal conditions: Effects on the quality of river water in a Mediterranean area. **Applied Geochemistry**, v. 22, p. 2777 - 2794, 2007.

EXLEY, D.; CHAPPELL, J. S.; BIRCHALL, J. D. A. Mechanism for acute aluminium toxicity in fish. **Journal of Theoretical Biology**, v. 151, p. 417- 429, 1991.

ELBAZ-POULICHET F.; SEIDEL, J.; CASIOT C.; TUSSEAU-VUILLEMIN, M.-H. Short-term variability of dissolved trace element concentrations in the Marne and Seine Rivers near Paris. **Science of the Total Environment**, v. 367, p. 278 - 287, 2005.

FELIPE-SOTELO, M.; ANDRADE, J. M.; CARLOSENA, A.; TAULER R. Temporal characterisation of river waters in urban and semi-urban áreas using physico-chemical parameters and chemometric methods. **Analytica Chimica Acta**, v. 583, p. 128 - 137, 2006.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. **Metal pollution in the aquatic environmental**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1981. 486 p.

FURCH, K. Water chemistry of the Amazon: the distribution of chemical among freshwaters. In: SIOLI, H. **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers, 1984. p. 167 -199.

HART, B. T.; NOLLER, B. N.; LEGRAS C; CURREY, N. Manganese speciation in Magela Creek, northern Australia. **Australian Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 43, p. 421 - 441, 1992.

JONATHAN M. P.; SRINIVASALU, S.; THANGADURAI, N.; AYYAMPERUMAL, T.; ARMSTRONG-ALTRIN, J. S.; RAM-MOHAN, V. Contamination of Uppanar River and coastal waters off Cuddalore, Southeast coast of Índia. **Environmental Geology**, v. 53, p. 1391 - 1404, 2008.

JORDÃO, C. P.; RIBEIRO, P. R. da S.; MATOS, A. T. de; FERNANDES, R. B. A. Aquatic contamination of the Turvo Limpo river basin at the Minas Gerais state, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 1, p.116 - 125, 2007.

KOSHIKAWA, M. K.; FUJITA, N.; SUGIYAMA, M.; HORI T. Distributions of pH and chemical components in Mizorogaike, a pond with a floating-mat bog. **Limnology**, v. 6, p. 27 - 37, 2005.

MERIAN, E. **Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance**. New York : VCH Publishers, 1991.

MIDDELKOOP, H.; DAAMEN, K.; GELLENS, D.; GRABS, W., KWADIJK, J. C. J.; LANG, H., PARMET, B. W. A. H.; SCHÄNDLER, B.; SCHULLA, J.; WILKE, K. Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. **Climatic Change**, v. 49, p. 105 - 128, 2001.

BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; MOREIRA, D. A.; ROSA, D. R. Q. Elementos químicos potencialmente tóxicos em diferentes níveis de vazão no rio Turvo Sujo, MG, Brasil. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 93-105, 2009. (doi:10.4136/ambi-agua.89)

NAMMINGA, H.; WILHM, J. Heavy metals in water, sediment, and chironomids. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v. 49, p. 1725 - 1731, 1977.

NOVOTNY, V. Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In: SALOMONS, W.; FORSTNER, W.; MADER, P. (Eds.) **Heavy metals: problems and solutions**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. p. 33-52.

PEREIRA, M. G. **Contaminação ambiental pelas indústrias de beneficiamento de caulim e avaliação do emprego de vermicomposto no tratamento de efluentes contendo metais**. 2000. 147f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D.; FISZMAN, M.. LIMA, N. R. W. Metais pesados nos pescados da Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro, RJ. *Ciência e Cultura*, v. 37, n. 2, p. 297 – 301, 1985.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; KOETZ, M. **Estudo de vazão em cursos d'água**. Viçosa: AEAGRI, 2006. 151 p.

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: Projeto Radambrasil, v. 32, 1983. 767 p.

ROTHENHÖFER P.; SAHIN H.; PEIFFER S. Attenuation of heavy metals and sulfate by aluminium precipitates in acid mine drainage? *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, v. 28, p. 136 - 144, 1999.

SAEG (Sistema para Análises Estatísticas), Versão 9.1. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2007.

SAMECKA-CYMERMAN, A; KEMPERS, A. J. Heavy Metals in Aquatic Macrophytes from Two Small Rivers Polluted by Urban, Agricultural and Textile Industry Sewages SW Poland. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 53, p. 198 - 206, 2007.

SANTOS, A. R. DOS. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, microrregião de Viçosa, MG**. 2001. 125f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

THONON, I.; MIDDELKOOP, H.; VAN DER PERK, M. The impact of river rehabilitation, climate and land-use change on the deposition of sediment and heavy metals on floodplains. *Nederlandse Geografische Studies*, v. 337, p. 129 – 149, 2006.

YABE, M. J.; OLIVEIRA, E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. *Química Nova*, v. 21, n. 5, p. 551-556, 1998.