



Caracterização de sedimento superficial do Rio Jordão na Região Centro-Sul do Estado do Paraná, Brasil (doi:10.4136/ambi-agua.125)

Andressa Beló¹; Sueli Pércio Quináia²; Adelmo Lowe Pletsch³

¹Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR

E-mail: andressab@sanepar.com.br

²Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO

E-mail: spquinaia@unicentro.br

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR/MD

E-mail: adelmo@utfpr.edu.br

RESUMO

Neste trabalho foi estudado a distribuição de íons metálicos (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) em sedimento superficial (estrato de 2 cm) do Rio Jordão no município de Guarapuava-PR. Também foram avaliados parâmetros como pH, fosfato total (P_T), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N_T) e granulometria. Os resultados encontrados indicam antropização dos pontos por atividades de origem agrícolas e domésticas desenvolvidas no local. Verificou-se uma variação espacial dos metais com as concentrações em $mg.Kg^{-1}$ variando entre: Al: 8.300 e 19.000; Cd: < LD; Cr: 6,1 e 45,2; Cu: 31,8 e 64,7; Fe: 17.200 e 69.100; Mn: 264 e 467; Ni: 2,3 e 7,3; Pb: 6,5 e 12,5; Zn: 46,1 e 139. O nível de contaminação também foi avaliado a partir do Fator de Contaminação. Cu e Zn atingiram valores de moderada contaminação, nível que pode interferir no equilíbrio do ecossistema.

Palavras-chave: metais; sedimento; contaminação; FAAS.

Characterization of the superficial sediment of Jordão River in Center-South Region of the Parana state, Brazil

ABSTRACT

The present paper aimed to quantify the metals ions (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) of sediments from the two centimeter surface layer of Jordão river in Guarapuava City, PR. Other parameters, such as pH, total phosphate (P_T), total organic carbon (COT), total Nitrogen (N_T) and granulometry were also evaluated. The results were suggestive that local anthropization, mainly originated from agricultural and domestic activities, occurred in that locality. A spatial variation among samples was detected. With concentrations expressed in $mg.Kg^{-1}$ we found: from 8,300 to 19,000 for Al; Cd: < LD; Cr, from 6.1 to 45.2; Cu, from 31.8 to 64.7; Fe, from 17,200 to 69,100; Mn, from 264 to 467; Ni, from 2.3 to 7.3; Pb, from 6.5 to 12.5; Zn, from 46.1 to 139.0. The level of contamination was also assessed by applying a contamination factor. Cu and Zn reached values above the considered moderate contamination. This concentration level may interfere with the equilibrium of the studied ecosystem.

Keywords: metals; sediment; contamination; FAAS.

1. INTRODUÇÃO

A sociedade científica tem procurado obter respostas a problemas ambientais, médicos e agrícolas, dentre outros que são reportados quotidianamente, muitos dos quais evidenciados

em decorrência da contaminação por metais tóxicos no ambiente e sistemas biológicos (Merian, 1991). Como exemplos podem ser citados os compostos inorgânicos, que podem desempenhar dupla função na fisiologia dos organismos: alguns são indispensáveis para a vida, enquanto que outros são tóxicos, podendo afetar a atividade dos organismos levando à perda de funções vitais, a deformidade de órgãos e, em alguns casos irreversíveis, levando à morte (Seiler e Sigel, 1988; Vandecasteele e Block, 1997).

O aumento da concentração de metais nos ambientes aquáticos está relacionado ao processo de industrialização, e conseqüentemente ao aumento da densidade populacional ao redor desses ambientes. Atividades industriais e agrícolas geram vários efluentes líquidos, sólidos e gasosos, que contaminam os solos, rios e lagos (Gatti et al., 1999; Jardim et al., 2008).

Os depósitos sedimentares são compartimentos-chave para desvendar o histórico ambiental. Os sedimentos não representam somente um registro de nossa era, mas são também parte ativa nos ciclos biogeoquímicos dos elementos por sua formação e diagênese.

Os fenômenos de acúmulo e de rearranjo de espécies nos sedimentos os qualificam como de extrema importância em estudos de impacto ambiental, pois registram em caráter mais permanente os efeitos de contaminação. Assim sendo, a determinação de metais-traço em sedimentos permite quantificar o estoque mobilizável de um determinado contaminante em um local específico e, assim, detectar o grau de contaminação a que a água e os organismos bentônicos estão sujeitos ao longo do tempo (Cotta et al., 2006).

Os metais podem ser introduzidos nos ambientes aquáticos nas formas: solúveis e particulados, estando sua distribuição sujeita a processos físico-químicos, hidrológicos e biológicos (Silva et al., 2000). A presença dos metais pesados nos sedimentos está associada às formações litogênicas, aos produtos de precipitação, às formações biogênicas, às fontes atmosféricas, às partículas extraterrestres e às fontes antropogênicas (Forstner e Wittman, 1981). Nos sedimentos aquáticos, os metais normalmente são encontrados em baixas concentrações e, geralmente, estão associados a outros elementos químicos. A liberação de metais de origem natural e antrópica podem contaminar sedimentos, especialmente os de granulometria predominantemente fina e com altos teores de material orgânico (Mariani, 2006; Beló et al., 2010). Os metais de origem natural ocorrem principalmente como componentes traços de minerais detríticos. Os de origem antrópica, uma vez lançados nas águas superficiais são rapidamente associados ao material em suspensão, podendo ser transportados nas formas dissolvidas e, eventualmente, coloidais.

As descargas de metais pesados em corpos aquáticos podem resultar em alterações no comportamento físico, químico e biológico tanto do corpo receptor como do metal. Essas alterações podem ser separadas em duas categorias: efeito do ambiente sobre o metal, e efeito do metal sobre o ambiente. A primeira enfatiza as condições sob as quais os receptores podem influenciar a especiação e a toxicidade dos metais. A segunda enfatiza o efeito do metal na resposta biológica. Dependendo das condições ambientais, a densidade, diversidade, estrutura da comunidade e a composição das espécies animais e vegetais podem ser afetadas pelo metal contaminante. O nível de contaminação dos metais no sedimento pode ser avaliado a partir de um índice denominado de fator de contaminação (FC) (Silva et al., 2008). Esse índice é obtido pela razão entre a concentração do elemento em estudo no sedimento e a sua concentração de nível de base natural (NBN) ou *background* (Hakanson, 1980). Essa metodologia permite verificar em que ordem de grandeza o nível natural dos metais foi excedido, indicando o enriquecimento ou, caso contrário, o empobrecimento do elemento no sedimento (Pletsch, 2006). Este artigo teve como objetivos estudar a distribuição de elementos traços em sedimentos de superfície do Rio Jordão, avaliar a fração ambientalmente disponível desses elementos de acordo com o procedimento de extração realizado e ainda estimar o nível de contaminação do ambiente através do FC.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de coleta e preparo das amostras

As amostras de sedimento superficial (2 cm), foram coletadas em cinco pontos distribuídos ao longo de 6 km do Rio Jordão no município de Guarapuava-PR (Figura 1). Os pontos P1 (meio do rio) e P2 (margem do rio) foram coletados no mesmo local, mas diferenciam a dinâmica da margem com o meio do rio e estão localizados próximos a uma indústria de papel celulose. Os pontos P3 e P4 estão a jusante dos pontos P1 e P2, aproximadamente, a 2000 m e 4000 m. A estação P5 está 2000 m a montante de P1, localizado em uma pequena barragem no rio Jordão da qual é coletada a água que abastece a indústria de papel celulose que descarrega resíduos líquidos e sólidos em P1 e P2.

Para a determinação dos compostos inorgânicos utilizaram-se coletores, colheres e embalagens plásticas para a coleta e armazenagem das amostras de sedimentos. Para a determinação dos compostos orgânicos foram utilizados coletores de metal e a armazenagem foi realizada em recipientes de alumínio de 500 mL. O preparo das amostras de sedimentos para as análises químicas seguiu as etapas de secagem em temperatura ambiente, desagregação homogênea das partículas, maceração em almofariz, separação das partículas em malha de Teflon de 70 μm e posterior armazenagem em frascos de vidro e embalagens plásticas sob refrigeração. Todo o material utilizado nas coletas e ensaios laboratoriais foram previamente descontaminados em banho de ácido nítrico 10% (v/v) por 24 horas. A água deionizada utilizada foi proveniente de um aparelho HUMAN UP 900[®].

O Rio Jordão está localizado na Bacia do Rio Jordão, a qual possui 4.791 km² e 105 km de extensão. Localizado na região Centro-Sul do Estado do Paraná, possui uma área de 731 km², vazão média de 12,62 m³.s⁻¹, duas usinas hidrelétricas e cinco Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).



Figura 1. Imagem dos pontos de coleta no Rio Jordão - Guarapuava, PR.

Fonte: Google Maps Brasil (2009).

2.2. Análises laboratoriais

O fósforo total (P_T) foi determinado utilizando-se 10 mL de solução extratora de Mehlich 1 (H_2SO_4 0,025 mol.L⁻¹; HCl 0,05 mol.L⁻¹) em, aproximadamente 1,0 g de sedimento, permanecendo em repouso por 12 horas. Após, foram adicionados 5 mL de solução de molibdato de amônio 4,85 mmol.L⁻¹, uma pitada de ácido ascórbico em pó e repouso da solução por 1 hora. A quantificação do fósforo foi realizada em Espectrofotômetro UV-Vis, Varian, Cary 50 ($\lambda = 660$ nm), usando-se o método da curva de calibração com soluções-padrão de fósforo. A determinação de carbono orgânico total (COT) foi realizada pelo método de combustão a seco (Analisador Elementar da CE Instruments, modelo EA 1110). As medidas foram feitas em duplicata, usando-se cerca de 2 a 5 mg de sedimento seco (homogeneizado) após acidificação com HCl 10% (v/v). O ácido foi adicionado até o pH

estabilizar-se, caracterizando o fim da reação. O excesso de ácido foi removido por lavagens sucessivas com água destilada, separando-se a solução por centrifugação (3000 rpm por 5 min). O nitrogênio total (N_T) foi analisado diretamente em analisador elementar a partir da amostra sólida. O pH foi determinado pela estimativa da atividade dos íons H^+ na suspensão do sedimento, utilizando-se $CaCl_2$ 10^{-2} mol.L⁻¹ para manter o equilíbrio iônico da solução. A leitura foi efetuada utilizando-se um pH-metro, calibrado com as soluções tampão pH 7,0 e 4,0, Consort C3535, precisão $\pm 0,01$. A análise granulométrica foi realizada pelo Método do Densímetro, conhecido também como Método do Hidrômetro, baseado no princípio de que a matéria em suspensão confere determinada densidade ao líquido. Com a ajuda de um densímetro, foi possível relacionar as densidades com o tempo de leitura e com a temperatura, calculando-se com esses dados a porcentagem das partículas nas frações: argila, silte e areia. A determinação dos metais Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn foi realizada a partir da extração parcial com HNO_3 da fração dos elementos ambientalmente disponíveis. Foi pesado, aproximadamente, $1 \pm 0,0001$ g de sedimento seco em béqueres de 250 mL e adicionados 10 mL de HNO_3 concentrado. A solução permaneceu em repouso durante 12 horas. Após, as soluções foram aquecidas até 60°C por 2 horas, resfriadas a temperatura ambiente, adicionados 5 mL de peróxido de hidrogênio 30% (v/v) e aquecidas a 60°C por 30 min. O produto da extração foi centrifugado e sofreu lavagens sucessivas com água deionizada. O centrifugado foi avolumado a 50 mL e armazenado a 4°C para a determinação da concentração dos metais. Todas as medidas dos metais foram efetuadas por espectrômetro de absorção atômica em chama (FAAS). As medidas de absorvância foram realizadas no modo integração de área pelo método da curva de calibração com os padrões dos metais avaliados. Os parâmetros experimentais utilizados para medida dos metais se encontram na Tabela 1. A metodologia foi monitorada com Material de Referência Certificado (MRC) PACs-2 para sedimento da National Research Council do Canadá (Ottawa On Canadá) onde foi verificada a porcentagem de metais extraída. O LD da técnica utilizada para os metais foi considerado igual a três vezes o desvio estimado da curva analítica de calibração.

Tabela 1. Parâmetros experimentais para medida dos metais por FAAS.

Metais	λ (nm)	i lâmpada (mA)	Fenda (nm)	Chama	r	LD (mg.L ⁻¹)
Al	309,3	10	0,5	N ₂ O/C ₂ H ₂	1,0000	0,173
Cd	228,8	4	0,5	Ar/C ₂ H ₂	0,9992	0,030
Cr	357,9	7	0,2	Ar/C ₂ H ₂	0,9994	0,052
Cu	324,7	4	0,5	Ar/C ₂ H ₂	1,0000	0,145
Fe	248,3	5	0,2	Ar/C ₂ H ₂	1,0000	0,064
Mn	279,5	5	0,2	Ar/C ₂ H ₂	0,9999	0,093
Ni	232,0	4	0,2	Ar/C ₂ H ₂	0,9986	0,035
Pb	217,0	5	1,0	Ar/C ₂ H ₂	0,9999	0,287
Zn	213,9	5	1,0	Ar/C ₂ H ₂	0,9994	0,180

Nota: LD = Limite de detecção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados dos parâmetros físico-químicos medidos nas amostras coletadas nos cinco pontos de amostragem.

Tabela 2. Caracterização físico-química das amostras de sedimento superficial do Rio Jordão.

Pontos de Coleta	pH	P _T (mg.Kg ⁻¹)	COT (%)	N _T (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
1	5,33	55,0	3,03	0,20	26	28	46
2	5,01	50,0	nd	nd	36	18	46
3	5,84	74,0	1,76	0,12	18	34	48
4	5,45	55,0	2,02	0,13	42	13	45
5	6,10	98,0	1,16	0,07	82	6	12

Nota: nd: não detectado.

Os valores de pH, nos cinco pontos estudados, são relativamente homogêneos, a maior diferença ocorreu entre os pontos 2 e 5 (1,09 unidades de pH). As concentrações de P_T estão em um nível trófico considerado baixo se comparado a resultados de outros rios brasileiros (Pletsch, 2006). Os pontos com as maiores concentrações de P_T foram os pontos 3 e 5. Os teores de COT foram maiores no ponto 1 (3,03%), resultado esperado pelo fato do local ser usado para despejo de restos de madeira da indústria de papel celulose. A composição elementar (razões COT/N) é uma ferramenta que pode ser usada para distinguir entre origens naturais e terrestres da matéria orgânica (Wensen et al., 1997; Meyers e Ishiwatari, 1993). Pelos resultados obtidos, verificam-se que todos os pontos apresentaram material terrestre como fontes de matéria orgânica (razão de 15 ou maior), destacando-se a colaboração de indústria de papel celulose que descarta grande quantidade de rejeitos de madeira que é composta pelo elemento carbono. Para a relação COT/N, típica de mistura de material terrestre e autóctone, os valores são intermediários entre 7 e 15. As amostras foram classificadas texturalmente com relação à porcentagem de cada fração encontrada com a análise granulométrica. De forma geral, os sedimentos do Rio Jordão foram classificados como argilosos, exceto os do ponto 5, classificados como arenosos.

Foi utilizado o Material de Referência Certificado (MRC - PACs 2) com o intuito de se conhecer a concentração recuperada de cada metal estudado no processo de extração da fração ambientalmente disponível (Tabela 3). Os elementos Cd, Pb e Cu estão ligados fracamente aos compostos que compõem os sedimentos (fração trocável, redutível e oxidável), pois foram completamente extraídos do sedimento no processo de extração ácida, os demais elementos foram extraídos em menores proporções representando que estão ligados mais fortemente à fração residual dos sedimentos. Na Tabela 4, apresentam-se os teores dos metais medidos nas amostras de sedimentos após a extração com HNO₃ concentrado. Na Figura 2, apresenta-se a distribuição espacial dos metais determinados nos cinco sítios de amostragem. Pode-se verificar que há incremento nos teores de Fe, Mn e Zn nos pontos 3 e 5.

Tabela 3. Concentração do MRC - PACs 2 e concentração extraída dos metais Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn (em mg.Kg⁻¹), Al e Fe (em porcentagem).

Metal	Concentração do MRC	Concentração recuperada	% fração extraída
Al	6,62 ± 0,32	1,45 ± 0,02	21,9
Cd	2,11 ± 0,15	2,05 ± 0,15	97,2
Cr	90,70 ± 4,60	33,30 ± 0,60	36,7
Cu	310,00 ± 12,00	290,00 ± 3,00	93,5
Fe	4,09 ± 0,06	2,93 ± 0,04	71,6
Mn	440,00 ± 19,00	214,00 ± 4,00	48,6
Ni	39,50 ± 2,30	6,10 ± 0,40	15,4
Pb	183,00 ± 12,00	205,00 ± 2,00	112
Zn	364,00 ± 23,00	194,00 ± 7,00	53,3

Tabela 4. Resultados das concentrações (em mg.Kg⁻¹, exceto Al e Fe em %) dos metais nos sedimentos do Rio Jordão.

Ponto	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
1	1,46 ±0,28	< LD	13,50 ±2,10	47,70 ±3,20	1,89 ±0,03	298,00 ±13,00	2,92 ±0,17	12,50 ±1,50	63,10 ±4,50
2	0,83 ±0,09	< LD	6,10 ±0,70	31,80 ±4,00	1,72 ±0,01	264,00 ±18,00	2,31 ±0,15	11,00 ±1,50	46,10 ±3,70
3	1,90 ±0,01	< LD	22,10 ±1,10	62,40 ±0,90	4,65 ±0,02	429,00 ±20,00	5,83 ±0,25	9,70 ±0,30	71,00 ±1,10
4	1,61 ±0,01	< LD	20,00 ±2,40	55,80 ±3,50	4,30 ±0,02	301,00 ±12,00	4,86 ±1,30	12,00 ±1,00	74,10 ±2,00
5	1,78 ±0,05	< LD	45,20 ±3,70	64,70 ±0,80	6,91 ±0,04	467,00 ±12,00	7,26 ±0,19	6,50 ±1,00	139,00 ±6,00

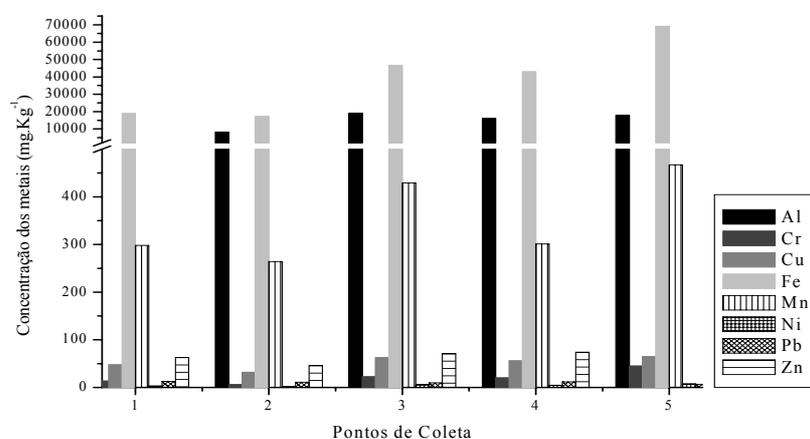


Figura 2. Distribuição espacial dos metais nos sedimentos.

Para avaliar a qualidade dos sedimentos coletados no Rio Jordão, utilizaram-se os critérios de agências ambientais internacionais, National Oceanic and Atmospheric Administration (United States, 2010) (Tabela 5).

Tabela 5. Valores-Guias de Qualidade de Sedimento de metais-traço em sedimentos de água doce adotados pela NOAA* (mg.Kg⁻¹, base seca).

Indicador	Al	Cd	Cr	Cu	Fe (%)	Mn	Ni	Pb	Zn
TEL	--	0,59	37,3	35,7	--	--	18	35	123
PEL	--	3,5	90	197	--	--	36	91,3	315
SEL	--	10	110	110	4,0	1100	75	250	820

*Diretrizes de qualidade para priorização de áreas a serem estudadas detalhadamente e priorização de contaminantes químicos.

TEL - Valor abaixo dos quais efeitos adversos são raramente esperados;

PEL - Nível de efeitos prováveis;

SEL - Nível de efeitos severos.

Na região em estudo, o Cd apresentou concentrações abaixo do LD do método analítico empregado. Os íons metálicos Mn, Ni e Pb apresentaram concentrações inferiores ao valor abaixo dos quais efeitos adversos são raramente esperados (TEL). O Zn e o Cr, no ponto 5,

apresentaram teores acima de TEL. Os teores de Fe nos pontos 3, 4, e 5 estão acima dos níveis de efeitos severos (SEL), enquanto que os níveis de Cu, nos pontos 1, 3, 4 e 5 apresentaram-se maiores que TEL. As maiores concentrações de íons metálicos obtidas no ponto 5 de coleta eram esperadas, pois a barragem formada nesse ponto provoca a retenção de partículas, possivelmente introduzidas por atividades antrópicas, como a agropecuária, predominante na região.

Também foi determinado o Fator de Contaminação (FC) para alguns metais medidos no intuito de identificar as estações de coleta que se afastam das condições naturais em função das atividades antropogênicas realizadas ao longo do Rio Jordão. Para essa determinação, optou-se por utilizar como NBN os valores médios globais da Agência de Proteção Ambiental - EPA apud Rodrigues (1997) e de Turekian e Wedephol (1961), (Tabela 6).

Tabela 6. Nível de Base Natural de alguns elementos estudados (em mg.Kg⁻¹).

NBN	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
EPA apud Rodrigues (1997)	90	39	68	23	120
Turekian e Wedephol (1961)	90	33	52	19	95

O FC dos sedimentos foi calculado pela razão entre a concentração do elemento no sedimento superficial e a concentração do seu NBN ou *background* (Hakanson, 1980). Essa metodologia permite verificar em que ordem de grandeza o nível natural dos metais foi excedido, indicando o enriquecimento ou, caso contrário, o empobrecimento do elemento no sedimento. Segundo a classificação de Hakanson, valores de FC menores que 1 são indicativos de baixa contaminação, valores entre 1 e 3 são indicativos de contaminação moderada, valores entre 3 e 6 de contaminação considerável, e valores maiores que 6 são indicativos de alta contaminação. Na Tabela 7, apresentam-se os valores calculados de FC para os sedimentos avaliados. Os cálculos foram feitos a partir dos dados da Tabela 1 e os NBN estabelecidos na Tabela 6. Na Figura 3, representa-se o histograma de distribuição dos FC que foi usada como ferramenta na visualização dos valores obtidos.

Tabela 7. Fator de Contaminação para os metais, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, nos sedimentos do Rio Jordão utilizando como NBN os valores médios da EPA (apud Rodrigues, 1997) e Turekian e Wedephol - TW (1961).

Pontos	Cr		Cu		Ni		Pb		Zn	
	EPA	TW								
1	0,15	0,15	1,22	1,45	0,04	0,06	0,54	0,66	0,53	0,66
2	0,07	0,07	0,82	0,96	0,03	0,04	0,48	0,58	0,38	0,49
3	0,25	0,25	1,60	1,89	0,09	0,11	0,42	0,51	0,59	0,75
4	0,22	0,22	1,43	1,69	0,07	0,09	0,52	0,63	0,62	0,78
5	0,50	0,50	1,66	1,96	0,11	0,14	0,28	0,34	1,16	1,46

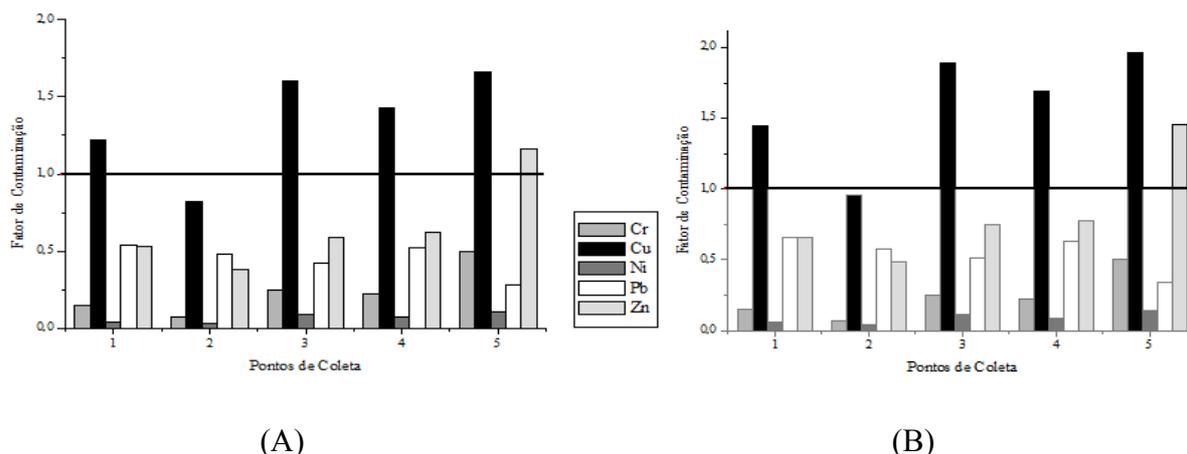


Figura 3. Histogramas de distribuição dos Fatores de Contaminação calculados para os pontos de coleta do Rio Jordão (Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) segundo (A) NBN adaptado de EPA apud Rodrigues, (1997) e (B) Turekian e Wedephol (1961).

Analisando-se os dados da Tabela 7 e da Figura 3, observa-se que o metal Cu apresentou contaminação moderada nos pontos 1, 3, 4 e 5. O Zn apresentou no ponto 5 a faixa de contaminação moderada. Os demais metais determinados se encontram na faixa de valores de baixa contaminação. Utilizando-se como NBN os valores TW - Turekian e Wedephol (1961), observam-se resultados mais rigorosos para a maioria dos metais, mas não afetando a discussão dos resultados, pois para os cinco pontos estudados na área de interesse, os dois elementos que apresentaram maior afastamento da condição “natural”, em termos de incremento foram o Cu e o Zn. Os metais Cu e Zn, sob condições oxidantes e em meio ácido, são solúveis e possuem uma boa mobilidade nos sistemas aquáticos. Com o aumento do pH, suas concentrações na coluna d’água tendem a diminuir, devido à adsorção pelos óxidos e hidróxidos de manganês (principalmente o Cu) e à baixa solubilidade dos seus carbonatos, óxidos e hidróxidos formados. Essa concentração acentuada desse metal nos sedimentos em estudo pode ser explicada baseada nessa característica, já que o elemento Mn é encontrado em teor bem significativo, principalmente no ponto 5. O maior incremento em Cu, Pb e Zn foi observado, principalmente, onde há evidências de lançamento de cargas orgânicas e efluentes domésticos. Esses elementos estão se acumulando na fração fina dos sedimentos de fundo e são indícios de poluição antropogênica (Carmen e Murray, 1998).

Objetivando revelar associações que forneçam informações sobre processos geoquímicos que controlaram ou influenciaram na distribuição dos elementos nos sedimentos, foi calculado o coeficiente de correlação entre os parâmetros físico-químicos analisados. Na Tabela 8 apresenta-se a matriz de correlação (r) para os parâmetros analisados referentes ao Rio Jordão.

Tabela 8. Matriz de correlação entre as variáveis dos sedimentos para o Rio Jordão.

	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	pH	P _T	N _T	COT
Al	1''''	0,705 '	0,978 ''	0,756 '	0,787 ''	0,837 ''	-0,417	0,603 '	0,877 ''	0,663 '	-0,762 '	-0,808 '
Cr		1''''	0,826 ''	0,953 '''	0,875 '	0,932 ''	-0,859 ''	0,987 '''	0,928 ''	0,951 '''	-0,895 ''	-0,872 '
Cu			1''''	0,873 ''	0,850 ''	0,927 ''	-0,561	0,738 '	0,940 ''	0,770 ''	-0,952 '''	-0,971 '''
Fe				1''''	0,881 '''	0,987 '''	-0,829 ''	0,904 ''	0,933 ''	0,902 ''	-0,996 '''	-0,989 '''
Mn					1''''	0,923 ''	-0,868 ''	0,806 ''	0,971 '''	0,956 '''	-0,818 '''	-0,839 '''
Ni						1''''	-0,801 '	0,864 ''	0,969 '''	0,903 ''	-0,989 '''	-0,994 '''
Pb							1''''	-0,851 ''	-0,800 '	-0,945 ''	0,882 ''	0,879 '
Zn								1''''	0,861 ''	0,925 '	-0,821 '	-0,788 '
pH									1''''	0,939 ''	-0,900 ''	-0,911 ''
P _T										1''''	-0,845 '	-0,842 '
N _T											1''''	0,997 '''
COT												1''''

'''' P < 0,0001 ''' P < 0,01 '' P < 0,10 ' P < 0,25 P < 0,50

Essas matrizes revelam a similaridade das associações dos metais com os parâmetros estudados no fragmento do Rio Jordão. Destacam-se as correlações positivas entre os metais Al-Cu, Cr-Fe, Cr-Zn, Fe-Ni, entre metais e parâmetros físico-químicos Mn-pH, Ni-pH, Cr-P_T, Mn-P_T, e entre N_T-COT. Observam-se correlações inversas entre Cu-N_T, Fe-N_T, Ni-N_T, Cu-COT, Fe-COT, Ni-COT. Nota-se que os metais Cu, Fe, Mn e Ni obtiveram alto grau de correlação.

4. CONCLUSÕES

O Fator de Contaminação calculado, visando avaliar a intensidade de contaminação para os elementos, revelou que os sedimentos apresentaram incremento em Cu e Zn, indicando moderada contaminação segundo a classificação de Hakanson. A metodologia utilizada na extração dos metais foi monitorada com MRC no intuito de conhecer a recuperação de cada metal e, com isso, a disponibilidade destes ao ecossistema aquático. A concentração recuperada para os metais variou entre 15,4 a 112%. Quanto aos parâmetros físico-químicos, observou-se pH neutro a levemente ácido. Concentrações de P_T e N_T indicaram um baixo nível trófico. Teores de COT revelaram sedimentos de natureza mineral. Quanto à granulometria dos sedimentos, foi possível notar o predomínio da fração fina, argila.

5. REFERÊNCIAS

- BELÓ, A.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L. Avaliação da contaminação de metais em sedimentos superficiais das praias do Lago de Itaipu. *Química Nova*, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 613-617, 2010.
- CARMEN, E. M.; MURRAY B. M. Dissolved and labile concentrations of Cd, Cu, Pb, and Zn in aged ferrihydrite-organic matter systems. *Environmental Science Technology*, Washington, v. 33, n. 5, p. 745-750, 1998.

BELÓ, A.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L. Caracterização de sedimento superficial do Rio Jordão na Região Centro-Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 134-144, 2010. ([doi:10.4136/ambi-agua.125](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.125))

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

FORSTNER, U.; WITTMAN, G. **Metal pollution in the aquatic environment**. Berlin: Springer, 1981. 486p.

GATTI, L. V.; MOZETO, A. A.; ARTAXO, P. Trace elements in lake sediments measured by the Pixe technique. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B.**, North-Holland, v. 150, n. 1, p. 298-305, 1999.

HAKANSON, L. An ecological risk index aquatic pollution control: a sedimentological approach. **Water Research**, v. 14, p. 975-1001, 1980.

JARDIM, G. M.; ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. R. Avaliação ecotoxicológica da água e do sedimento do Rio Corumbataí, SP. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n.1, p. 51-59, 2008.

MARIANI, C. F. **Reservatório Rio Grande**: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento. 2006. 124f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MERIAN, E. **Metals and their compounds in the environment**. Weinheim: VCH Verlag, 1991, 1438 p.

MEYERS, P. A.; ISHIWATARI R. Lacustrine organic geochemistry – an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 20, n. 7, p.867-900, 1993.

PLETSCH, A. L. **Distribuição espacial de compostos orgânicos de estanho em sedimentos costeiros e em *Phallusia Nigra* da Baía de Todos os Santos e litoral norte da Bahia – Brasil**. 2006. 216f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

RODRIGUES, M. L. K. **Diagnóstico da poluição por elementos-traço no sedimento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí (RS)**. 1997, 124f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SEILER, H. G.; SIGEL, H. **Handbook on toxicity of inorganic compounds**. New York: Marcel Dekker, 1988. p.247.

SILVA, E. M.; NAVARO, M. F. T.; BARROS, A. F.; MOTA, M. F. V.; CHASTINET, C. B. Metals in the sediments of Jauá Lake (Camaçari, Bahia, Brazil) following an episode of industrial contamination. **Aquatic Ecosystem Health & Management**. Grã-Bretanha, v. 3, n. 4, p. 509-514, 2000.

SILVA, W. L.; MACHADO, W.; MATOS, R. H. R. Multi-elemental contamination and historic record in sediments from the Santos-Cubatao Estuarine System. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 19, n. 8, p. 1490 – 1500, 2008.

TUREKIAN, K. K.; WEDEPOHL, K. H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. **Geological Society of America Bulletin**. Boulder, v. 72, p.175–192, 1961.

BELÓ, A.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L. Caracterização de sedimento superficial do Rio Jordão na Região Centro-Sul do Estado do Paraná, Brasil. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 134-144, 2010. ([doi:10.4136/ambi-agua.125](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.125))

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE. National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA. **Screening Quick Reference Tables**. 2010. Available in: <http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/122_NEW-SQuiRTs>. Access: Apr. 2010.

VANDECASTEELE, C.; BLOCK, C. B. **Modern methods for trace element determination**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 330 p.

WENSEN, J. V. Carbon and nitrogen fluxes in decomposing leaf litter with microbial-detrivore interactions: model simulations compared to microcosm ecotoxicity tests. *Ecological Modelling*, Dartmouth, v. 96, n. 1, p. 175-189, 1997.