



## Teores totais e distribuição dos metais pesados Cu, Cd, Cr, Ni, Pb e Zn nos sedimentos de corrente e fundo do rio do Formoso – MG.

Hernando Baggio  
(Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES –  
Doutor em Geologia)

Adolf Heinrich Horn  
(Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Doutor em  
Geologia)

### Resumo

O Rio do Formoso é um importante tributário do Rio São Francisco no noroeste do estado de Minas Gerais. Sua bacia encontra-se inserida no Bioma Cerrado, suas águas drenam imensos latifúndios com forte tendência agropecuária, influenciando diretamente nas características físico-químicas e químicas da água superficial e do sedimento de corrente e fundo. Foram coletadas 11 amostras de sedimentos, nos quais foram determinadas as concentrações de Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn por ICP-OES, com, extração parcial ácida. Os resultados foram comparados à resolução CONAMA 344/2004. A caracterização mineral foi obtida por difratometria de Raios-X - DXR e, a composição geoquímica dos litotipos foi determinada por ICP-OES. Os teores totais dos metais Cd e Cr nos sedimentos ultrapassaram os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/2004. A disponibilidade desses metais nos sedimentos é resultado direto dos resíduos metalorgânicos gerados pela agricultura comercial. A assinatura geoquímica para o elemento cromo presente no sedimento confirma a contribuição natural geológica. O mineral predominante é o quartzo, a presença de minerais de argila, sugere uma maior ou menor troca de cátion metálicos do sedimento para a coluna de água.

**Palavras-chave:** metais pesados, sedimentos, natural, antrópico, valores orientadores.

### Abstract:

*The Formoso River is an important tributary of the São Francisco River in the northwest of Minas Gerais State. Its basin is inserted in the Cerrado Biome, where its waters drain large agropecuary landed estates, what directly influences the physicochemical characteristics of superficial waters and stream sediments. The Cu, Cd, Cr, Ni, Pb and Zn parameters were analyzed in 11 sediment samples by using the chemical partial acid extraction technique and ICP-OES reading, and the results were compared to the CONAMA resolution 344/2004. Mineral characterization was accomplished by X-Ray diffractometry and geochemical lithotypes analysis was made by ICP-OES. It revealed that the levels of Cd and Cr are above the levels recommended by the resolution CONAMA 344/2004. The presence of these metals in sediments results directly of the metal-organic residues generated by commercial agriculture. The geochemistry signature for the Cr element present in the sediment confirms the geological natural contribution. Quartz is the predominant mineral; the presence of clay minerals suggests a greater or minor interchange of metallic cations from the sediment to the water column.*

**Key-words:** Heavy metals, stream sediments, natural, anthropogenic, orienting values.

Recebido 09/2009  
Aprovado 11/2009.

Agradecemos o apoio logístico e financeiro das seguintes instituições: UFMG/IGC/CPMTC, UNIMONTES, CDTN/CNEN e da FAPEMIG e, a todos que de certa forma contribuíram para a execução deste trabalho.

hernandobaggio@yahoo.com.br  
(hahorn@ufmg.br)





## Introdução

A dinâmica da evolução dos sistemas produtivos e o domínio sobre a tecnologia têm como conseqüência uma ampla problemática ambiental onde o meio ambiente físico e biológico se instala no cenário principal desses processos. A região investigada vem sendo utilizada para fins agrícolas, desde a década de 60, por imensos latifúndios que introduziram a monocultura de pinheiros e eucaliptos. Contudo, com a chegada dos grandes grupos capitalistas agrícolas, trazendo consigo novas agrotecnologias, a produção diversificou-se e ganhou caráter comercial, os grãos, em especial a soja, milho, feijão, café e, atualmente, a monocultura de algodão, desenharam uma nova paisagem agrícola na região.

Segundo Alloway & Ayres (1997) a agricultura é uma das maiores fontes não pontuais de poluição por metais pesados, sendo as fontes principais as impurezas em fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn); os pesticidas (Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn); os preservativos de madeiras (As, Cu, Cr) e os dejetos de produção de aves e porcos (Cu, Zn).

A área, objeto desta pesquisa é incipiente no que diz respeito a trabalhos científicos sistemáticos, trabalhos de ordem pontual, vêm sendo desenvolvidos na região. Uma das primeiras investigações objetivando a obtenção de dados químicos da água e sedimentos do Rio São Francisco, foi elaborado pelo o Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) e o Conselho de Meio Ambiente de Minas Gerais – COPAM (CETEC, 1980; COPAM, 1986); entre os anos de 1990 a 1992, alunos de mestrado da Fachhochschule München - Alemanha, sob a orientação do Prof. Dr. A. H. Horn e do Prof. Dr. W. Jantsch investigaram os teores de metais pesados nos sedimento de corrente e fundo no RSF, entre a represa Três Marias e o Córrego Consciência, Mozeto (2003) elaborou um diagnóstico sobre a contaminação ambiental por metais pesados na água e sedimentos na Represa de Três Marias – MG; Oliveira (2007) pesquisou a presença de metais pesados nos sedimentos no entorno da barragem de Três Marias e no Rio São Francisco; Viana (2006) apresentou uma pesquisa que buscou avaliar a condição geoquímica ambiental das veredas na Bacia Hidrográfica do Rio do Formoso; Ribeiro (2007) avaliou os níveis de contaminação por metais pesados nas águas superficiais do Rio São Francisco em Pirapora e sua relação com as atividades industriais; Braga (2007) em sua dissertação de Mestrado investigou a contaminação do solo por metais pesados em pilhas de rejeitos antigas e atuais das indústrias de Fe-Si na região de Várzea da Palma – MG; Baggio (2008) pesquisou a presença de metais pesados nas águas superficiais e nos sedimentos de corrente do Rio do Formoso-MG. Os trabalhos acima mencionados contribuíram de maneira significativa para as primeiras avaliações geoquímicas, além, de estabelecer o primeiro banco de dados sobre a qualidade ambiental da água e dos sedimentos nesse importante segmento do Rio São Francisco.

O objetivo principal deste estudo foi avaliar a concentração total e a distribuição dos seguintes cátions metálicos divalentes (Zn, Cd, Cu, Cr, Ni e Pb) nos sedimentos de corrente e fundo do rio do Formoso, verificando sua origem e comparado os teores encontrados, com os valores orientadores adotados pela Resolução CONAMA n° 344/2004.





### Localização e aspectos fisiográficos

A área da pesquisa encontra-se regionalmente inserida na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, mais especificamente no segmento Alto/médio curso, sendo a sub-bacia do Rio do Formoso a área efetiva da pesquisa (Figura 1).

Figura 1 Localização geral da área da pesquisa no contexto geográfico municipal.



Fonte:



## Características geológicas

A bacia do Rio do Formoso encontra-se localizada na porção meridional da Bacia Sanfranciscana, dentro dos limites do Cráton do São Francisco, mais especificamente sobre rochas cretáceas do oeste mineiro. Segundo Sgarbi (1989) a Bacia Sanfranciscana representa um dos mais expressivos exemplos da sedimentação continental fanerozóica do país. Seu preenchimento é relacionado com o último megaciclo geodinâmico que afetou a bacia intracratônica neoproterozóica do São Francisco após a sedimentação dos grupos Macaúbas, Paranoá e Bambuí. A coluna litoestratigráfica esquemática da área (Figura 2) visualiza o contexto geológico, litológico, sedimentológico e paleoambiental das Unidades Geológicas representativas, constituídas pelos principais Grupos e suas respectivas Formações.

Figura 2 Coluna litoestratigráfica esquemática, proposta para a área da pesquisa. (Modificado de Seer et al., 1989).

COLUNA ESTRATIGRÁFICA E AMBIENTES DEPOSICIONAIS PROPOSTO PARA A BACIA DO FORMOSO-MG							
Idade	Época	Estágio	Coluna litológica	Sistema Depositionais Principais	Formação	Grupo	Espessura mínima (m)
CENOZÓICO				fluvial/eólico	Chapadão		?
	terciário						
MESOZÓICO	Cretáceo Superior	Cenomaniano		Eólico/lacustre Wadi		Urucuia	380
				Leque Aluvial e Fluvial entrelaçado	Capacete	Mata da Corda	150
		Derrames e intrusivas	Patos	70			
	Cretáceo Inferior	Berriassiano/Albiano		Eólico	Três Barras	Areado	140
				Fluvial meandrante			90
			Lacustrino	Quiricó			
			Fluvial entrelaçado Leque aluvial Wadi	Abaeté		40	
Neoproterozóico				Delta/Pró-delta Fluvial	Três Marias	BambuÍ	?

Fonte:



### Características geomorfológicas

A área da pesquisa encontra-se diretamente influenciada pelo contexto geológico-geomorfológico regional, marcada de forma geral por uma superfície ligeiramente ondulada, correspondendo à Superfície Sul-Americana I e II (Valadão, 1998). Apresenta-se a seguir a descrição dos principais compartimentos geomorfológicos encontrados na área da pesquisa: 1) A Superfície Tabular – Unidades de Chapadas constitui-se num conjunto de áreas aplainadas do Terciário, de expressiva espacialização geográfica, localizado no denominado Chapadão dos Gerais; 2) Unidades de Colinas - são originadas a partir do escoamento superficial concentrado, esculpidas sobre os litotipos do Neocretáceo, Eocretáceo e do Neoproterozóico e ocupam uma expressiva área geográfica dentro da bacia; 3) Planície aluvial Unidades de Vales e Terrços Quaternários. Estas duas unidades geomórficas localizam-se na porção terminal da bacia – baixo curso do Rio do Formoso. As condições morfodinâmicas encontradas na bacia hidrográfica indicam certa relação entre a espacialização geográfica dos metais e os compartimentos geomórficos, estando estes últimos, influenciados pelos processos de erosão, transporte e deposição (Baggio, 2008).

### Características hidrográficas

Geograficamente, a sub-bacia do Rio do Formoso posiciona-se na porção sudoeste do município de Buritizeiro, drenando uma área de 826 km<sup>2</sup> e, se integrando à bacia hidrográfica do Rio São Francisco pela margem direita. O Rio do Formoso pode ser classificado como um canal aberto e, seu fluxo principal é do tipo turbulento de corrente e encachoeirado. A tipologia do canal fluvial do rio pode ser definida como um curso de canais únicos, podendo ser subdividido principalmente em canais retos e sinuosos, sendo os canais sinuosos mais expressivos. O canal principal e os canais secundários apresentam-se como leitos com segmentos rochosos e leitos com segmentos aluviais, estes favorecendo a mobilidade dos sedimentos. A dinâmica da bacia é responsável pela sedimentação fluvial, que inclui os processos de remoção, transporte e sedimentação das partículas. Alguns aspectos da sedimentação fluvial, que ocorrem principalmente nos segmentos alto e baixo curso, encontram-se relacionados à remoção intensa de detritos das vertentes, cuja causa principal é a utilização das terras agrícolas. Outro fator que promove o aumento das taxas de sedimentação é a abertura de estradas vicinais. A distribuição e dispersão dos metais pesados ao longo do perfil longitudinal podem estar correlacionadas às características litoestruturais, geomorfológicas e à morfodinâmica atuantes na bacia de drenagem (Baggio, 2008).

### Características pedológicas

Dentro de um quadro litogeomórfico definido para a bacia do Rio Formoso, desenvolveu-se uma cobertura pedológica diferenciada, devido às influências do material de origem e do relevo. Apresenta-se a seguir as principais classes de solos definidas para a bacia: Latossolos Vermelho-Amarelos, profundos, distróficos álicos e de textura argilosa em associação com Latossolo Vermelho-Escuro álico de textura argilosa; Neossolos Quartzarênicos; Gleissolo pouco húmico álico, geralmente associado aos subsistemas de veredas; Neossolos distróficos álicos e os Neossolos Flúvicos eutróficos. As interferências antropogênicas, como a retirada da cobertura vegetal, construção de estradas e plantio de monoculturas, expõem os solos aos processos erosivos, sendo eles carregados pelas águas e/ou vento em direção aos cursos de água; os resíduos metalorgânicos gerados nas áreas agricultáveis e incorporados aos solos estão comprometendo os recursos hídricos (Baggio, 2008).



## Uso e ocupação do solo

O estímulo à ocupação recente dos cerrados brasileiros é resultante das políticas governamentais destinadas à modernização do setor agropecuário nacional, adquirindo novos incentivos para seu crescimento a partir da segunda metade da década de 60. Nessa década, grande parte das terras drenadas pelo Rio do Formoso foi também destinada à implantação de monoculturas de eucalipto e pinheiros. As atividades agrícolas são ampliadas a partir da década de 90, com a introdução das culturas comerciais de soja, milho, feijão e, posteriormente, o café – momento em que as áreas mais próximas às drenagens são ocupadas, ampliando o impacto sobre a vegetação nativa e veredas, seja pelo impacto indireto, devido à acentuação dos processos erosivos e assoreamento, como também pela construção de barramentos destinados à irrigação (Baggio, 2008).

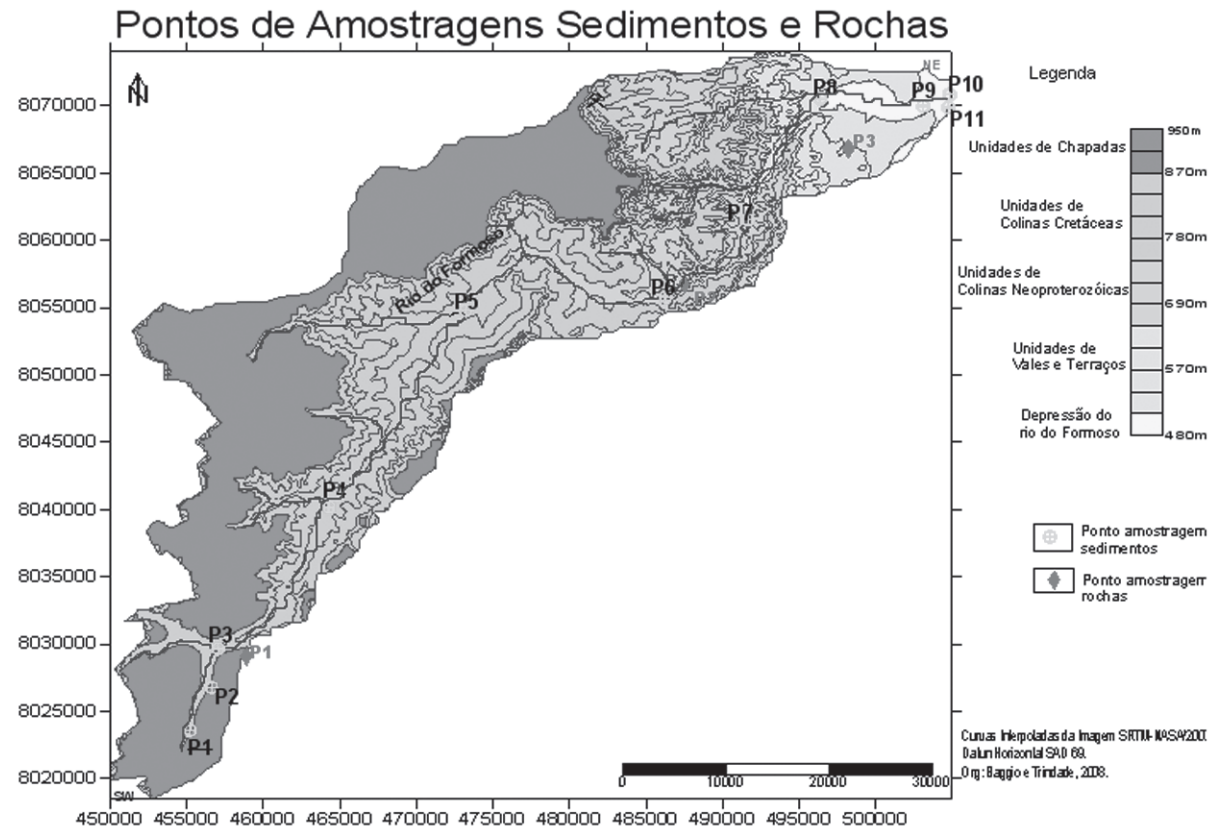
## Metodologia

A seleção dos pontos de amostragem ao longo do canal fluvial foi estabelecida através de uma malha de densidade média, considerando também, as variações na paisagem que refletissem os diferentes tipos de unidades litológicas, compartimentos geomórficos e suas áreas de transição, como mostra a (Figura 3). Para o tratamento dos dados obtidos, foi utilizado o programa GTM-PRO 4.2. A base cartográfica dos mapas foi elaborada através da interpolação de curvas de imagens Geotiff obtidas pela The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) na escala 1/250000 – Datum WGS 84 e distribuídas pela National Aeronautics and Space Administration (NASA). O *software* SPRING 3.4 foi utilizado para obtenção dos cenários naturais e o editor gráfico Surfer 8, da Golden, foi utilizado para a edição final dos mapas. As coletas foram realizadas em duas campanhas de campo, sendo a primeira realizada na estação úmida (março/2007) e a segunda na estação seca (julho/2007), com a finalidade de avaliar a influência climática. Coletou-se um total de 22 amostras de sedimentos, com cerca de 1,5 kg cada, a uma profundidade até 35 cm da lâmina de água, foram coletadas amostras nas duas margens do rio, afastada 30 cm das margens do leito menor e também, sobre rochas no leito. Em laboratório, as amostras foram secas à temperatura ambiente, preparadas, pesadas e fracionadas em peneira de aço até a fração <0,063mm, a mais adequada para a determinação dos cátions metálicos divalentes, considerando que os mesmo encontram-se associados às frações mais finas, devido a adsorção de íons metálicos pelos minerais de argila. A abertura das amostras foi feita através de digestão ácida (água-régia). A leitura dos metais foi feita por Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado – ICP-OES. As amostras de rochas foram coletadas nos afloramentos de rochas frescas ou pouco alteradas. Coletou-se 5 amostras/2 kg de rochas de forma a representar os vários litotipos existentes na área. Em laboratório, as amostras foram secadas a uma temperatura de 90°C, britadas a 2 mm, quarteadas e homogeneizadas; a pulverização foi feita em moinho de aço a 95% - 150 mesh. A abertura química foi realizada através de digestão ácida e a determinação dos elementos ocorreu através do ICP-OES. A análise mineralógica dos sedimentos foi realizada no laboratório do CDTN/CNEN, o método utilizado foi difração de Raios-X - DRX (método do pó). A leitura das amostras foi feita através do difratômetro Rigaku, modelo D/Max-2B. As cores nos sedimentos foram descritas em campo, para a determinação das cores foi utilizada a Munsell Soil Color Charts (2000).





Figura 3 Mapa com os pontos de amostragem para sedimentos de corrente e rochas, apresentado também, os compartimentos geomórficos definidos para a área.



Fonte:

## Resultados das análises

### Características dos sedimentos

#### Cor dos sedimentos

As cores dos sedimentos, nos pontos amostrados, mantiveram uma tendência entre 2.5 YR Vermelho e 5 YR 5/8 Vermelho Amarelo – tons que vão do amarelo/avermelhado ao amarelo. As cores encontram-se relacionadas aos hidróxidos de ferro  $\text{Fe}(\text{OH})$ , principalmente à goethita  $\text{FeO}(\text{OH})$ , hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e à magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ; encontradas nos principais litotipos presentes na área e nas principais classes de solos.





### Composição mineralógica

A composição mineralógica dos sedimentos é constituída pelo grupo dos seguintes minerais terrígenos: (Quartzo >60%), minerais de argila (caolinita entre 3% a 20%), mica-grossa (moscovita <3%), feldspatos (microclina 3% a 5%), minerais acessórios pesados (anatásio, goethita, hematita e magnetita entre 3% a 5%) e minerais químicos e autigênicos representados pelos sulfatos (gipsita 3% a 20%). O quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) foi o mineral com maior predominância em todas as mostras, sua ocorrência pode estar associada ao retrabalhamento dos arenitos do Grupo Areado e Mata da Corda, que compõem a parte superior da coluna estratigráfica e, dos arenitos arcoseanos do Grupo Bambuí – Fm: Três Marias, parte inferior da coluna estratigráfica (Figura 2). A caolinita  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  e a moscovita  $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ , podem ser provenientes dos arenitos da Fm. Chapadão, Fm. Três Barras e Fm. Três Marias, de grande expressão geográfica na área. O Fe, encontra-se sob a forma de goethita  $\text{FeO}(\text{OH})$ , hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , sua origem encontra-se associada aos litotipos do Grupo Areado e Mata da Corda e aos litotipos da Fm. Três Marias, que compõem o substrato rochoso da bacia. O anatásio  $\text{TiO}_2$  está associado à presença de brechas lapilíticas limitadas por tufos maciços do Grupo Mata da Corda, e por fim, os elementos menores presentes nos litotipos. De maneira geral, os principais minerais que formam o sedimento da bacia estudada são: o quartzo, a gipsita e a caolinita, refletindo ambientes de elevado intemperismo, tendo em vista que o quartzo é mineral residual resistente ao intemperismo, seguido de filossilicados neoformados, como a gipsita e caolinita, resultante do intemperismo de minerais primários como os feldspatos e micas.

### Análise geoquímica dos litotipos

A análise dos dados apresentados na (Tabela 1) mostra que, o teor do elemento Cd presente nos litotipos Arenitos e Argilitos encontra-se abaixo dos valores de referência, portanto, não há enriquecimento desse metal para os sedimentos. Para o elemento Cr, os teores não ultrapassaram os valores de referência estabelecidos por Bowen (1979) e Krauskopf (1976), para os arenitos, no entanto, para os litotipos argilitos, os valores encontram-se muito próximos do limite estabelecido.

**TABELA 1** Valores de referência e concentração média de cádmio e cromo contidos nos litotipos.

Valores referência – Cd e Cr- Litotipos arenitos e folhelhos			
Elemento Cd	Referência – Bowen, (1979) e Krauskopf, (1976).	Concentração observada	Padrão – litotipos Rio do Formoso
Arenitos	0,05 ppm	<0,01 ppm	*NE
Folhelhos. Grupo Bambuí	0,22 ppm	<0,01 ppm	*NE
Elemento Cr	Referência: Bowen, (1979) e Krauskopf, (1976).	Concentração observada	Padrão – litotipos Rio do Formoso
Arenitos	35 ppm	8,288 ppm	*NE
Folhelhos. Grupo Bambuí	90 ppm	<b>89 ppm</b>	*NE

\*NE: não enriquecimento





### Análise química – metais pesados

Estudou-se o comportamento geoquímico dos seguintes elementos: Cu, Cr, Cd, Ni, Pb e Zn, foram obtidas informações sobre o nível de concentração total, a variação dos teores ao longo do perfil longitudinal, a correlação entre a fração granulométrica e com a composição mineralógica obtidas nos sedimentos e, a correlação entre a concentração dos metais e os fatores de ordem antrópica e natural. Finalmente procedeu-se a comparação dos dados com os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/2004. A (Tabela 2) apresenta os valores totais máximos e mínimos, obtidos para os seis metais, em dois períodos climáticos - chuvoso e seco.

São discutidos neste trabalho os aspectos geoquímicos dos metais Cd e Cr, metais que violaram a Resolução CONAMA 344/2004. Os valores obtidos para Cd foram: o mínimo de 0,01 mg/kg e o máximo de 1,221 mg/kg, na estação chuvosa, e o mínimo 0,001 mg/kg e máximo 1,126 mg/kg, na estação seca. Os pontos P1 e P3 superarão em mais de 100% os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/2004, que é de 0,6 mg/kg. Em relação aos outros pontos, nenhum ultrapassou os valores orientadores proposto pela resolução CONAMA 344/04. Os valores obtidos foram o mínimo de 0,01 mg/kg e o máximo de 1,221 mg/kg, na estação chuvosa, e o mínimo 0,001 mg/kg e máximo 1,126 mg/kg, na estação seca. O aumento apresentado nos teores totais de Cd para os sedimentos, principalmente nos pontos P1 e P3, está diretamente associado ao incremento de agroquímicos utilizados no plantio de grãos.

TABELA 2 – Valores totais dos metais analisados

Pontos	Cobre (Cu) CONAMA 344/04 35,7mg/kg		Cádmio (Cd) CONAMA 344/04 0,6 mg/kg m		Cromo (Cr) CONAMA 344/04 37,3 mg/kg		Níquel (Ni) CONA- MA 344/04 18mg/kg		Chumbo (Pb) CO- NAMA 344/04 35 mg/kg		Zinco (Zn) CONAMA 344/04 123mg/kg	
	Est. Chuvosa	Est. Seca	Est. Chuvosa	Est. Seca	Est. Chuvosa	Est. Seca	Est. Chuvosa	Est. Seca	Est. Chuvosa	Est. Seca	Est. Chuvosa	Est. Seca
	P1	0,068	0,051	<b>1,221</b>	<b>1,126</b>	0,1539	0,1858	0,055	0,051	0,083	0,081	0,2368
P2	10,08	10	0,41	0,38	<b>64</b>	<b>63,25</b>	12,02	12	20,38	20,25	9,87	9,5
P3	6,21	6,13	<b>1,01</b>	<b>1</b>	<b>49,01</b>	<b>38,75</b>	6,35	6	11,16	11,13	6,77	6,68
P4	6,73	6,63	0,002	0	28,69	28,63	11,98	11,88	25,99	25,75	9,88	9,38
P5	4,79	4,63	0,001	0	16,58	16,38	2,55	2,38	9,58	9,38	4,81	4,75
P6	11,28	11	0,001	0	17,99	17,38	8,98	8,75	12,18	12,13	9,49	9,38
P7	9,18	9,13	0,29	0,25	15,77	15,63	6,77	6,63	12,19	12,13	9,48	9,38
P8	11,81	11,25	0	0	18,89	18,75	9,68	9,38	16,98	16,88	13,08	13
P9	11,01	10,5	0	0	20,77	20,5	9,66	9,63	14,01	14	12,7	12,63
P10	10,99	10,63	0,01	0	14,18	14	5,78	5,63	12,39	12,38	10,5	10,38
P11	12,87	12,75	0,012	0,012	21,21	21	10,18	10,13	15,59	15,5	11,79	11,75

Em negrito, os teores e os metais que violaram os valores de referência – 344/04. CONAMA.



Os teores de Cr foram: mínimo de 0,1539 mg/kg e máximo de 64,00 mg/kg, na estação chuvosa, e mínimo de 0,1858 mg/kg e máximo de 63,25 mg/kg, na estação seca. Nota-se um discreto aumento nos valores de Cr na estação chuvosa, devido ao carreamento, através das águas pluviais, de material pedológico contendo resíduos metalorgânicos, disponíveis nas áreas agricultáveis. Os pontos P2 e P3 alcançaram valores acima do recomendado pela Resolução CONAMA 344/04, que é de 37 mg/kg, diante dos dados obtidos, pode-se afirmar que houve contaminação nos sedimentos de corrente para cromo. Esses pontos localizam-se no compartimento geomorfológico Unidades de Chapadas (cujo uso do solo é destinado à agricultura comercial). Ressalta-se que o ponto P2: 64,00 mg/kg apresentou um aumento significativo de cromo de mais de 69% em relação ao valor de referência - CONAMA 344/04, que é de 37,3 mg/kg. Em relação aos pontos P4 a P11, os teores de Cr se encontram abaixo do valor de referência, não havendo até o presente momento, descumprimento da legislação. O aumento apresentado nos teores totais de Cr nos sedimentos de corrente pode estar associado a sua utilização como agente ativo das tintas, que são utilizadas na preservação do madeirame, empregado na construção de cercas, galpões e nas casas. Além disso, a intensa utilização de agroquímicos contendo anidrito crômico, ácido crômico, óxido crômico e trióxido de cromo, utilizados no plantio de grãos, principalmente no compartimento geomorfológico Unidades de Chapadas, área com intensa atividade agrícola. Os resíduos metalorgânicos secos e/ou pulverizados são transportados pelo ar e pela água de irrigação e depositados nos solos, quando são disponibilizados para a água superficial e para os sedimentos de corrente. Os pontos que apresentaram alterações em relação os teores totais de Cr e Cd deverão ser monitorados com atenção, pois, se encontram localizados em áreas, ambientalmente vulneráveis.

### Considerações finais

A partir dos dados acima expostos, pode-se concluir que os metais pesados Cd e Cr, ultrapassaram os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/2004. Para os outros elementos, as concentrações encontram-se dentro do limite preconizado por essa resolução, entretanto, demandam atenção especial, pois para esses metais os níveis de concentração em alguns pontos encontram-se próximos aos limites recomendados. A presença de Cd e Cr no compartimento sedimento é resultado direto dos resíduos metalorgânicos gerados pela agricultura comercial. Os valores de Cr presentes nos litotipos argilitos, contribuem no enriquecimento desse metal para os sedimentos. A fração fina dos sedimentos foi a mais propícia, no que se refere aos carreadores geoquímicos ativos, principalmente os de origem antrópica e natural. Constatou-se a predominância do mineral quartzo nos sedimentos, a presença de minerais de argila, como a caolinita, sugere que em alguns pontos amostrados pode ocorrer maior ou menor troca de cátions metálicos presentes nos sedimento para a coluna de água. As características morfológicas do canal fluvial e a hidrodinâmica da bacia funcionaram como um importante mecanismo para a distribuição e transporte dos metais junto aos sedimentos. Diante dos resultados físicos e químicos apresentados para os sedimentos de corrente e fundo, sugere-se a implantação de um programa de monitoramento para todos os metais pesados analisados.



## Referências bibliográficas

- ALLOWAY, B. J. & AYRES, D. C. *Chemical Principles of Environmental Pollution*. New York. Ed. Chapman & Hall, 2ª Ed. New York. 1997.
- BAGGIO, H. F. *Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em sedimento de corrente na bacia do Rio do Formoso, município de Buritizeiro – MG*. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte. 2008.
- BOWEN, J. M. H. *Environmental Chemistry of the Elements*. London Academies Press, 1979, 273 p. 1979.
- BRAGA, L. L. *Avaliação do Impacto Ambiental de um Beneficiamento de Fe e Si, Várzea da Palma, MG, Brasil – Distribuição e Transporte dos Contaminantes*. 81 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte. 2007.
- CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Estudo de Metais Pesados no Estado de Minas Gerais*. Relatório Final. Belo Horizonte. 151 p. 1980.
- CONAMA, 2004. Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004. Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama>.
- LUNDHAMER, S. *Erfassung der Kontamination an Metallen im Flusswasser des São Francisco bei Três Marias, Brasilien..* Tese de Diploma, Fachhochschule München, inédito: 74 p. 1991.
- MOZETO, A. A. *Diagnóstico Preliminar de Contaminação Ambiental por Metais na Área de Influência da VM na Bacia do Rio São Francisco, Região de Três Marias (MG)*. Laboratório de Biogeoquímica Ambiental – DQ – UFSCar/ São Carlos, SP. 2003.
- OLIVEIRA, R. M. *Investigação da Contaminação por Metais Pesados da Água e do Sedimento de Corrente nas Margens do Rio São Francisco e Tributários, a Jusante da CEMIG, no Município de Três Marias-MG*. 149 p. Dissertação (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte. 2007.
- RIBEIRO, E. V. *Níveis de contaminação por metais pesados em águas superficiais do Rio São Francisco em Pirapora e sua relação com as atividades industriais*. 101 p. (Monografia) - Departamento de Geografia. Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES. Minas Gerais. 2007.
- KRAUSKOPF, K. B. *Introduction to geochemistry*. New York, McGraw-Hill. 721 p. 1976.
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. Little Britain Road, New Windsor, NY. Washable Edition New York. 2000.
- SEER, H. J.; MORAES, L. C. DE; FOGAÇA, A. C. *Roteiro Geológico para a Região de Lagoa Formosa-Chumbo-Carmo do Paratiba-MG*. 58 p. (Boletim SBG-MG, nº. 9). 1989.
- SGARBI, G. N. C. *Geologia da Formação Areado, Cretáceo Médio a Inferior da Bacia do São Francisco, oeste do Estado de Minas Gerais*. 324 p. Dissertação (Mestrado) - Inst. de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro. 1989.
- VIANA, V. M. F. C. *Estudo Geológico Ambiental das Veredas do Rio do Formoso no Município de Buritizeiro-MG*. 71 p. Dissertação (Mestrado em Geologia)- Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte. 2006.