



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS DE FUNDO DE CORPO HÍDRICO
LOCALIZADO NO PARQUE NATURAL MUNICIPAL REGO DOS CARRAPATOS NO
MUNICÍPIO DE
NOVA LIMA - MG

FERNANDA BICALHO LUZ

BELO HORIZONTE

2018

FERNANDA BICALHO LUZ

CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS DE FUNDO DE CORPO HÍDRICO
LOCALIZADO NO PARQUE NATURAL MUNICIPAL REGO DOS CARRAPATOS NO
MUNICÍPIO DE NOVA LIMA - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Carrusca de Oliveira
Coorientadora: Profa. Dra. Patrícia Sueli de Rezende

BELO HORIZONTE

2018

Luz, Fernanda Bicalho.

Caracterização de sedimentos de fundo de corpo hídrico localizado no Parque Natural Municipal Rego dos Carrapatos no município de Nova Lima – MG / Fernanda Bicalho Luz. Registro : 2018.

59f : il. ; 21x29cm.

Orientador: Evandro Carrusca de Oliveira.

Coorientadora: Patrícia Sueli de Rezende.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018.

1. Adsorção. 2. Metais. 3. Qualidade Ambiental. I. Luz, Fernanda Bicalho. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

CDD 628.5

FERNANDA BICALHO LUZ

CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS DE FUNDO DE CORPO HÍDRICO
LOCALIZADO NO PARQUE NATURAL MUNICIPAL REGO DOS CARRAPATOS
NO MUNICÍPIO DE NOVA LIMA - MG

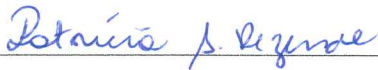
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 03/12/2018

Banca Examinadora:



Evandro Carrusca de Oliveira – Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dr. CEFET/MG – Orientador



Patrícia Sueli de Rezende
Profa. Dra. CEFET/MG – Coorientadora



Fernanda Carla Wasner Vasconcelos
Prof. Dra. Centro Universitário UNA



Leonel da Silva Teixeira
Prof. Dr. CEFET/MG

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me guiar e ter proporcionado esse caminho que trilhei para lutar e conquistar meus sonhos, me deu forças para superar as dificuldades e determinação para chegar até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Evandro Carrusca de Oliveira, e minha coorientadora, Profa. Dra. Patrícia Sueli de Rezende, por terem sido excelentes professores, atenciosos e empenhados, pelo profissionalismo, pelos ensinamentos que me passaram e por toda dedicação e acompanhamento durante toda a elaboração do meu trabalho.

Aos membros convidados da banca examinadora, Profa. Dra. Fernanda Wasner Vasconcelos e Prof. Dr. Leonel da Silva Teixeira por aceitarem meu convite se dispondo a avaliar e contribuir com o trabalho.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) pela oportunidade do desenvolvimento dos meus experimentos nos laboratórios de Química e pela contribuição nos meus estudos e na minha formação.

Aos demais professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária pelos conhecimentos surpreendentes compartilhados que contribuíram para meu aprendizado e crescimento.

Aos meus pais, Denise e Marcelo por todo amor e apoio por todo esse tempo em cada conquista, pelos incentivos e ensinamentos. Ao meu irmão, André, que esteve sempre torcendo para o meu sucesso, e pela motivação e confiança.

Aos meus familiares e amigos pela compreensão, amizade e por sempre me fazerem acreditar que sou capaz e entenderem que minhas ausências seriam de grande importância para a conclusão de mais esta etapa da minha vida. Aos meus amigos do CEFET, em especial Juh e Taty que me deram forças e não me deixaram desistir e ao “Grupo de Tudo” (Jéssica, Bruna, Yara e Camila) que esteve comigo durante esse tempo proporcionando momentos maravilhosos que serão levados eternamente.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram na realização e desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso. É com imensa satisfação e gratidão que encerro mais uma etapa da minha vida! Essa conquista é de todos nós! Muito Obrigada!

“De tudo ficarão três coisas: a certeza de que estamos começando, a certeza de que é preciso continuar e a certeza de que podemos ser interrompidos antes de terminar. Fazer da interrupção um caminho novo. Fazer da queda um passo de dança. Do medo, uma escada. Do sonho, uma ponte. Da procura, um encontro”.

Fernando Sabino.

RESUMO

LUZ, Fernanda Bicalho, *Caracterização de sedimentos de fundo de corpo hídrico localizado no Parque Natural Municipal Rego dos Carrapatos no município de Nova Lima – MG*. 2018. 59f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Metais são bioacumulativos e têm importância especial, pois podem ser responsáveis por graves alterações ambientais, dependendo da sua concentração e disponibilidade no ambiente aquático e das características da água, podendo estar presentes no sedimento devido à ação antrópica ou natural. É fundamental avaliar a presença de metais em sedimentos de fundo de corpo hídrico bem como tentar entender as interações que estes têm com o substrato mineralógico, o que influirá no grau de mobilidade e possíveis trocas na interface sedimento-água. Este trabalho teve por objetivo quantificar os metais Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em amostras de sedimentos do Córrego dos Carrapatos, avaliar a disponibilidade dos mesmos para a coluna d'água, comparando com as legislações vigentes referentes a metais em sedimentos e os valores de background regional. A área de estudo se localiza no Parque Natural Municipal Rego dos Carrapatos em Nova Lima – MG, situado no Quadrilátero Ferrífero que é uma região rica em recursos minerais. Em laboratório, as amostras foram secas em estufa e destorroadas para posterior submissão à digestão pseudo-total para obtenção da concentração total, e, extração parcial para avaliação da disponibilidade. Também foram determinados os valores de pH, teor de matéria orgânica e estimativa de CTC para caracterização físico-química das amostras de sedimento. Verificou-se que os elementos Cd, Cr, Cu, Ni e Pb apresentaram valores de concentração total superiores ao nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012, dos valores VGQS e dos valores de *background* regional nos quatro pontos amostrados, Zn esteve acima desses limites em um dos pontos e Cr e Ni estiveram acima do nível SEL (CCME). A extração parcial apresentou como ordem decrescente de disponibilidade: Mn > Zn e Pb > Cu > Cr > Ni > Fe > Cd nas amostras estudadas. Assim, conclui-se que as atividades mineradoras e indústrias próximas, os despejos de resíduos urbanos e os lançamentos de esgotos domésticos diretamente no córrego provavelmente são as principais fontes contribuintes de metais para o sedimento deste corpo d'água.

Palavras-Chave: Adsorção. Metais. Disponibilidade. Qualidade Ambiental.

ABSTRACT

LUZ, Fernanda Bicalho, *Characterization of sediments of the water body located in the Rego dos Carrapatos Municipal Natural Park in the city of Nova Lima - MG.* 2018. 59f. Monography (Undergraduate in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Metals are bioaccumulative and have special importance as they may be responsible for severe environmental changes, depending on their concentration and availability in the aquatic environment and the characteristics of the water, and may be present in the sediment due to anthropogenic or natural action. It is fundamental to evaluate the presence of metals in sediments of the water body as well as to try to understand the interactions that these have with the mineralogical substrate, which will influence the degree of mobility and possible changes in the sediment-water interface. The objective of this work was to quantify the Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn metals in samples of Carrapatos Stream sediments, to evaluate their availability to the water column, comparing them with current legislation concerning metals in sediments and regional background values. The study area is located in the Rego dos Carrapatos Municipal Nature Park in Nova Lima - MG, located in the Iron Quadrangle that is a region rich in mineral resources. In the laboratory, the samples were dried in an oven and dried for subsequent submission to the pseudo-total digestion to obtain the total concentration, and partial extraction to evaluate the availability. The values of pH, organic matter content and CEC estimation were also determined for physicochemical characterization of the sediment samples. It was verified that the elements Cd, Cr, Cu, Ni and Pb presented values of total concentration higher than level 1 of CONAMA Resolution 454/2012, VGQS values and regional background values in the four points sampled, Zn was above these limits in one of the points and Cr and Ni were above the SEL level (CCME). The partial extraction presented the following order of decreasing availability: Mn > Zn and Pb > Cu > Cr > Ni > Fe > Cd in the studied samples. Thus, it is concluded that mining activities and nearby industries, urban waste dumping and domestic sewage launches directly in the stream are probably the main contributing sources of metals to the sediment of this body of water.

Keywords: Adsorption. Metals. Availability. Environmental Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de adsorção e dessorção.....	24
Figura 2 - Córrego dos Carrapatos em Nova Lima - MG.....	31
Figura 3 - Mapa da região de Nova Lima - MG onde se localiza a área de estudo.....	32
Figura 4 - (a) Coleta de sedimento (b) Medição de largura e profundidade com trena (c) Estufa para secagem (d) Maceração da amostra seca.....	35
Figura 5 - (a) Agitador magnético (b) Leitura do pH.....	36
Figura 6 - (a) Mufla (b) Cadinhos no dessecador.....	37
Figura 7 - (a) Água régia (b) Aquecimento das amostras no bloco digestor (c) Amostras pós aquecimento (d) Tubos de centrífuga de polietileno (<i>Corning</i>).....	38
Figura 8- (a) Amostras no agitador (b) Amostras nos tubos de centrífuga de polietileno (<i>Corning</i>).....	39
Figura 9 - (a) Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama (b) Análise da amostra com a técnica FAAS.....	39
Figura 10 - Reação ácido-base na superfície dos óxidos de ferro.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores limites para análise da concentração de elementos traço em sedimentos.....	28
Tabela 2 - Valores médios de pH em Água e em KCl 1,0 mol L ⁻¹ das amostras de sedimento.....	42
Tabela 3 - Valores médios do teor de matéria orgânica nas amostras de sedimento.	43
Tabela 4 - Concentração total de metais nas amostras de sedimento e valores das legislações.....	44
Tabela 5 - Resultados da concentração dos metais disponíveis e valores das legislações.	50
Tabela 6 - Porcentagem da disponibilidade dos metais nas amostras de sedimento.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características do local e as medidas de profundidade e largura dos trechos.....	34
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Sedimento	17
3.2 Metais.....	19
3.3 Interações dos metais, sedimento e água	23
3.4 Relação de metais com toxicidade e saúde	25
4 METODOLOGIA.....	31
4.1 Caracterização da área de estudo	31
4.2 Procedimentos de coleta e análises do sedimento:	34
4.3 Determinação de pH em água e em KCl 1,0 mol L⁻¹	35
4.4 Determinação do Teor de Matéria Orgânica	36
4.5 Digestão pseudo – total.....	37
4.6 Extração parcial com HCl 1,0 mol L⁻¹	38
4.7 Quantificação dos metais nas amostras de sedimento.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1 Observações do local	41
5.2 Determinação de pH em água e em KCl 1,0 mol L⁻¹	41
5.3 Teor de Matéria Orgânica	42
5.4 Digestão pseudo-total e quantificação dos metais.....	43
5.5 Extração Parcial	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
7. PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	59

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas como mineração, agricultura, despejos de efluentes industriais e domésticos, disposição inadequada de resíduos sólidos e a emissão de poluentes atmosféricos são responsáveis por um significativo incremento da concentração de metais nos ecossistemas aquáticos. O desenvolvimento das indústrias, por exemplo, melhoram a economia de uma região gerando emprego e renda para a população, além do incremento na geração de impostos arrecadados pelo município. Porém, os resíduos gerados nessas atividades contribuem para o aumento da poluição quando lançados ao meio ambiente, visto que, com o crescimento industrial há maior geração de efluentes formados por compostos indesejáveis que geram consequências ao ecossistema e aos seres vivos.

Os efluentes industriais que são gerados frequentemente e em grande quantidade, constituem uma problemática que vem sendo muito discutida e estudada atualmente, pois qualquer descuido em relação ao seu despejo e tratamento pode causar grandes danos à saúde, ao meio ambiente e à economia, afetando principalmente a população que mora próximo às áreas de contaminação e à biota. Para prevenir e reduzir esses impactos, é necessário que haja um planejamento correto do descarte de efluentes, monitoramento e controle das atividades levando a um funcionamento adequado da indústria.¹

O município de Nova Lima – MG por estar inserido no Quadrilátero Ferrífero, uma região rica em recursos minerais que possui elevada extração de minério de ferro, ouro e manganês, teve um aumento das atividades industriais e, com isso, um elevado crescimento urbano desordenado. Devido às atividades mineradoras da região, alguns elementos como As e Pb podem ser encontrados em altas concentrações, evidenciando influências antrópicas. A avaliação da poluição por metais em sedimentos pode contribuir para entender o processo de retenção e mobilidade de metais e metaloides no ambiente aquático agregando dados para a relação entre impactos ambientais e atividades econômicas.²

¹ FERNANDES, E. A., SANTOS, H. I. **Análise da Operação da Barragem de Rejeitos da Mineração Serra Grande S.A., Município de Crixás, Goiás.** Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia, Engenharia Ambiental, Goiânia, Goiás, GO, 2008.

² COTTA, J. A. O. *et al.* Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no parque estadual turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, 29 (1), 40-45. 2006.

Segundo a CETESB³, o sedimento vem se tornando importante nas avaliações da qualidade ambiental e através dele é possível retratar quais foram os tipos de atividades humanas que provocaram alterações sobre o meio ambiente, o que na maioria das vezes, não é possível ser detectado pelas variáveis na água. Assim, os sedimentos têm a possibilidade de fornecer informações mais seguras sobre a qualidade de um ecossistema.⁴ A determinação da caracterização química do sedimento com relação à concentração desses elementos presentes na amostra deve ser feita, sendo que a interpretação ambiental desses valores com os efeitos adversos é realizada por meio da comparação com valores orientadores de qualidade de sedimentos adotados nacional e internacionalmente. Neste trabalho será realizada a caracterização do sedimento de fundo de corpo hídrico no Parque Natural Municipal Rego dos Carrapatos, em Nova Lima – MG, que é uma área com influência de atividade de mineração, por meio de técnicas de digestão pseudo-total das amostras, extração parcial com HCl 1,0 mol L⁻¹ e espectrometria de absorção atômica com chama, visando estudar a capacidade de mobilidade de elementos como cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn), de forma a inferir sobre o potencial desses elementos causarem efeitos adversos ao ecossistema e à população.

Para isso foram usados como referências os Valores Guia de Qualidade do Sedimento (VGQS) desenvolvidos por *Canadian Council of Minister of the Environmental* (CCME), os quais são seguidos pela EPA⁵ (*Environmental Protection Agency* – Agência de Proteção Ambiental dos EUA)^{6,7}, a Resolução 454/2012 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio

³ COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Água. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo.** 2006.

⁴ COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo.** Relatório, 342 p, 2011.

⁵ EPA – **A Guidance Manual to Support the Assessment of Contaminated Sediments in Freshwater Ecosystems.** United States: 2002.

⁶ BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Superintendência Regional de Belo Horizonte. **Projeto (APA SUL RMBH), Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Estudos do Meio Físico** Volume 7 : Geoquímica ambiental, mapas geoquímicos escala 1:225.000. Fernanda G. da Cunha, Gilberto J. Machado. Belo Horizonte: SEMAD/CRPM, 2005. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/10218/rel_apa_sulrmbhv7.pdf?sequence=29>, acesso em: 26/10/2018.

⁷ CANADÁ. CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Environmental. **Quality Guidelines. Summary tables.** Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/e1_06.pdf>. Atualizado em dezembro de 2003. Acesso em: 26/10/2018.

Ambiente)⁸, legislação brasileira que se baseou nos níveis do CCME; e, os valores de *background* para a região do Quadrilátero Ferrífero que foram adotados em estudos da APA SUL RMBH (Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte) em 2005.

Tendo em vista que o Brasil se destaca no setor industrial e que ainda são precários os investimentos na recuperação da ecossistemas aquáticos degradados, há riscos diretos de danos à saúde ambiental. Ressalta-se também a relevância de estudos que visam buscar soluções para minimizar as fontes de dispersão de metais tóxicos no ambiente e/ou, no mínimo, contribuir para um melhor conhecimento sobre as interações que ocorrem no meio.⁹

Por isso, é fundamental caracterizar qualitativa e quantitativamente a presença desses metais em sedimentos de fundo de corpo hídrico, pois de acordo com Trindade¹⁰ esses sedimentos apresentam alta capacidade de adsorver metais tóxicos. Sendo assim, esse trabalho é importante tanto para a área ambiental quanto para a saúde da comunidade próxima à área de estudo, por possibilitar a compreensão dos possíveis riscos que podem ser causados pela concentração de elementos como cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, níquel e zinco, por meio da comparação dos valores obtidos com os valores legislados, uma vez que, se a concentração de metais estiver acima dos limites estabelecidos pela legislação, a probabilidade de causar problemas à saúde como doenças devido à exposição e toxicidade é grande.

⁸ BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA, resolução nº 454. **Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.** Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>, acesso em 30/04/2018.

⁹ FRANCO, M. **Avaliação da qualidade ambiental no entorno de áreas de mineração e análise da exposição da cianobactéria *Synechococcus nidulans* a oxianions de arsênio.** 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2014.

¹⁰ TRINDADE, W.M. *et al.* Concentrações de metais pesados em sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: Geoquímica e classificação de risco ambiental. **Geonomos**, vol. 20, no. 1, pp. 64-75. 2012.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Quantificar no sedimento de fundo de corpo hídrico localizado no interior de um parque ecológico em Nova Lima - MG, a presença dos metais: Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, suas concentrações e comparar com os valores de referência de *background* regional e da legislação.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn em amostras de sedimento de quatro pontos do Córrego dos Carrapatos, Nova-Lima/MG por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS) após digestão pseudo-total das amostras.
- Realizar a avaliação da fração disponível dos metais de interesse nas amostras de sedimentos coletadas empregando uma extração parcial com HCl 1,0 mol L⁻¹.
- Determinar a suscetibilidade de possíveis riscos da contaminação sob os receptores potenciais, através de comparações da concentração de metais com os valores das legislações que regem a qualidade ambiental para sedimentos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sedimento

O sedimento de fundo é constituído por materiais insolúveis, diferentes substratos mineralógicos e material orgânico, que variam conforme a dinâmica do local de estudo e se depositam no fundo dos corpos d'água.¹¹ São formados como resultado dos processos de intemperismo e erosão sobre as rochas e minerais, de processos químicos e biológicos naturais do ecossistema aquático e da deposição da matéria orgânica nesses ambientes.^{12,13}

Os sedimentos têm um papel relevante na manutenção das espécies e no funcionamento dos sistemas hídricos, mas podem atuar também como contaminantes, já que trocam espécies químicas com a coluna de água influenciando em sua qualidade.^{14,15} De acordo com o tempo de residência na água do rio, pode ocorrer uma maior ou menor sedimentação dos materiais orgânicos e inorgânicos trazidos por entradas pontuais ou difusas. Deve-se, também, destacar a possibilidade de remoção e suspensão dos materiais orgânicos e inorgânicos nos sedimentos, devido ao aumento do fluxo de água ocasionado pelas chuvas.¹⁶

Sistemas fluviais estão entre os ambientes naturais mais impactados pelas atividades antrópicas, sobretudo as urbanas, agrícolas e industriais. Os sedimentos são considerados de grande importância na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos, devido não só a sua capacidade em acumular metais, mas também, por serem reconhecidos como

¹¹ SANTOS M.C.B. **Avaliação da contaminação por arsênio em solos, sedimentos e águas fluviais na região da Mina de Ouro “Morro de Ouro”, Paracatu – MG.** 2015. 155 p. Tese (Doutorado em Geociências- Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brazil. 2015.

¹² QUINÁGLIA, G. A. **Caracterização dos Níveis Basais de Metais no Sedimento do Sistema Estuarino da Baixada Santista.** 2003. Tese de Doutorado - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 269p. 2003.

¹³ MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G. R. Referência Geoquímica Regional para a Interpretação das Concentrações de Elementos Químicos nos Sedimentos do Lago Paranoá-DF. **Química Nova**, 26 (6):812-820. 2003.

¹⁴ JUCHEN, C.R. *et al.*, P.T. **Enrichment of sediments in urban rivers by heavy metals.** V.18. 2016.

¹⁵ BURTON, G.A.; JOHNSTON, E. Avaliação de sedimentos contaminados no contexto de Múltiplos Estressores. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 29, n. 12, p.2625-2646. 2010.

¹⁶ TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T.; ROCHA, O. **Em Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação;** Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J.G.; eds., Escrituras: São Paulo, p. 195. 1999.

transportadores e possíveis fontes de contaminação, já que eles podem liberar espécies contaminantes.¹⁷ Assim, ao reprocessar o material acumulado, existe a possibilidade de tornar os elementos potencialmente tóxicos novamente disponíveis em solução, principalmente a partir de mudanças de pH, potencial redox, temperatura, entre outros.^{18,19}

A contaminação de sedimentos por espécies químicas inorgânicas, como metais e nutrientes, representa uma ameaça para ecossistemas aquáticos devido à possível toxicidade, persistência, disponibilidade, bioacumulação e biomagnificação na teia alimentar.²⁰ Além disso, o conhecimento da composição química dos sedimentos é de grande relevância quando há interesse em se conhecer fenômenos de transporte do sistema, traçando um histórico da poluição no ambiente, e a determinação de concentrações metálicas pode fornecer importantes informações a respeito do ambiente estudado.²¹

Segundo Cesar,²² a qualidade dos sedimentos é essencial para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, sendo fundamental a avaliação desses ambientes. Por ser mais estável que a coluna d'água, o sedimento constitui um indicador mais adequado da qualidade ambiental, integrando os processos físico-químicos e biológicos ao longo do tempo. Dessa forma, além de acumularem contaminantes, servindo como um depósito, os sedimentos podem também funcionar como uma fonte de contaminação para a biota aquática.²³ A acumulação de contaminantes depende da composição dos sedimentos, sendo que a fração mineral pode interagir com os contaminantes por atração e por adsorção, e a fração orgânica é

¹⁷ JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 378-386, 2004.

¹⁸ MARIANI C.F. & POMPÊO M. Sedimento: como avaliar sua contaminação por metais. **Saneas**, 12 (40):10-13. 2011.

¹⁹ YANG YQ, CHEN FR, ZHANG L, LIU JS, WU SJ, KANG ML. 2012. **Comprehensive assessment of heavy metal contamination in sediment of the Pearl River Estuary and adjacent shelf**. Marine Pollution Bulletin, 64(9):1947–1955.

²⁰ JUCHEN, C.R. *et al.*, P.T. **Enrichment of sediments in urban rivers by heavy metals**. V.18. 2016.

²¹ SALOMONS, W.; STIGLIANI, W. M.; **Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments**, Risk Assesment of Delayed na Non- Linear Responses. Heidelberg; Springer-Verlag, 325p. 1995.

²² CÉSAR, A. **Análisis ecotoxicológico integrado de la contaminación marina en los sedimentos de la costa de Murcia, el caso de Portman**, SudesteEspaña. 2003.

²³ COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo**. Relatório, 342 p, 2011.

capaz de imobilizá-los por complexação. Assim, a capacidade de retenção de metais nos sedimentos aumenta nas frações de granulometria mais fina.²⁴

Em um trabalho realizado no Córrego dos Carrapatos em Nova Lima – MG²⁵, observou que existiam muitas fontes de contaminação para os sedimentos de corrente, exceto para o zinco, que no trecho estudado, não houve grandes diferenças entre os valores encontrados para os contaminantes nos pontos de coleta, apontando uma homogeneidade dos resultados. Dessa forma, foi constatado que a poluição não era pontual e, sim, do tipo difusa, não sendo possível caracterizar uma área de coleta mais crítica que a outra.

3.2 Metais

Metal é o elemento químico com características físicas definidas como capacidade de conduzir eletricidade, ter brilho, ser maleável e flexível, devido aos seus cátions que possuem um arranjo regular e são cercados por um grande número de elétrons.²⁶ Dentre as substâncias tóxicas normalmente lançadas ao meio ambiente, os metais têm significativa importância, principalmente devido ao seu poder cumulativo em organismos vivos, representando sérios riscos à saúde. Devido a essas características, esses elementos têm sido estudados profundamente, destacando-se os aspectos relativos à exposição, à disponibilidade, à contaminação de alimentos e à sua presença em corpos d'água.

Os metais podem estar presentes no sedimento devido à ação antrópica ou características naturais do local. De acordo com a CETESB²⁷, alguns metais, como por exemplo, cádmio, chumbo, mercúrio, níquel e zinco, podem representar a interferência humana sobre o meio aquático. Além disso, esses metais podem ser citados como os mais estudados, devido a seus efeitos à saúde humana.²⁸

²⁴ MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3 ed. Porto Alegre: O autor, 285 p. 2008.

²⁵ LEITE, T. M. S *et al.* Caracterização de sedimentos de corrente influenciados pelas águas do Parque Ecológico Municipal Rego dos Carrapatos em Nova Lima – MG. **Revista de ciências exatas**, v. 8, n. 8, p. 71-83, 2013.

²⁶ BACCAN, N. Metais Pesados: Significado e Uso da Terminologia. In: IX ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONTAMINANTES INORGÂNICOS. 2004, São Paulo. **Anais do IX Encontro Nacional Sobre Contaminantes Inorgânicos**, São Paulo: IPEN, 2004.

²⁷ COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB - **Relatório da Qualidade das Águas do Estado de São Paulo**. 2016.

²⁸ SEGURA-MUÑOZ, S.I. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto: Uma avaliação dos níveis de metais pesados**.

A contaminação é formada por concentrações de substâncias na água, solo, sedimentos ou nos organismos maiores que as concentrações naturais. Já a poluição é formada pelo Homem que direta ou indiretamente, introduz substâncias ou energia no ambiente, resultando em locais contaminados com concentrações muito altas a ponto de causar efeitos deletérios.²⁹

A poluição por metais em compartimentos ambientais desperta interesse, pois estes não são degradados por meio de reações químicas ou por microorganismos e são bioacumulativos, ou seja, uma vez no organismo vivo tendem a permanecer, pois não são eliminados e têm importância especial, pois podem ser responsáveis por graves alterações no meio ambiente, dependendo da sua concentração no ambiente aquático e das características da água.³⁰ O termo metal pesado refere-se a uma classe de elementos químicos que possuem altas densidades em relação a outros elementos comuns e muitos deles são nocivos para os seres humanos, porém essa terminologia está em desuso, visto que os efeitos nocivos de um elemento ou substância estão mais relacionados com a concentração de exposição do organismo.³¹

Elementos traço são elementos químicos constituintes naturais de rochas e solos sem distinção entre metais e não metais e que em baixas concentrações no ambiente, da ordem de partes por bilhão (ppb) a partes por milhão (ppm), podem vir a constituir uma fonte potencial para a poluição ambiental sendo denominados de “elementos potencialmente tóxicos”, devidos às propriedades prejudiciais que estes apresentam, tais como a bioacumulação.³²

No sedimento esses elementos podem estar adsorvidos nas partículas de superfície por interações eletrostáticas (como argilas, ácidos húmicos e oxihidróxidos metálicos), presentes

2002. 150 f. Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2002.

²⁹ RIBEIRO, M. A. C. **Contaminação do solo por metais pesados. Lisboa, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias.** 249 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), 2013.

³⁰ ALVES, R.I. S. *et al.* S. I. Avaliação das concentrações de metais pesados em águas superficiais e sedimentos do Córrego Monte Alegre e afluentes, Ribeirão Preto, SP, Brasil. **Ambi-água**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 122-132, 2010.

³¹ BAIRD, C.; **Química Ambiental.** 2. ed., Bookman: Porto Alegre, 2002.

³² Duffus, J. H. **“Heavy metals – a meaningless term?”** Pure and Applied Chemistry, 2002, v. 74, n° 5, p. 793-807.

na solução do sedimento, ligados a carbonatos, ocluídos em oxi-hidróxidos de ferro, alumínio ou manganês, ligados à matéria orgânica e ligados a sulfetos.^{33 34}

Os elementos traço têm contribuído de forma significativa para a poluição do ar, água e solo, interferindo na manutenção da biota terrestre e aquática além de possibilitar riscos à saúde humana. A presença desses elementos e outras substâncias inorgânicas tóxicas é atribuída aos processos naturais como intemperismo das rochas e artificiais como atividades antrópicas. Do ponto de vista antrópico, é comum o lançamento de efluentes contendo espécies metálicas no meio aquático, que contribuem para a contaminação de rios e bacias hidrográficas, além do acúmulo ao longo da cadeia trófica.³⁵

A dinâmica de um elemento traço pode ser definida como a sua propriedade de se transferir de um sistema químico para outro, ou seja, quando um elemento passa de um sistema redutor para um sistema oxidante, ocorre transferência e sua forma química e dinâmica são modificadas. Nessa nova condição oxidante, o elemento pode deixar de ficar indisponível e passar para uma forma disponível para os organismos, constituindo-se em risco de exposição para o ecossistema e, eventualmente, para o homem.³⁶ A mobilidade de elementos traços é reduzida com o aumento do pH, devido à precipitação de formas insolúveis como hidróxidos, carbonatos e complexos orgânicos. Normalmente, o mecanismo de adsorção dos metais é favorecido em altos valores de pH, pois com o aumento do pH, a superfície de cargas negativas é aumentada, favorecendo a atração eletrostática do metal e sedimento.³⁷

A ocorrência de elevados níveis desses elementos em especial nos sedimentos pode ser uma indicação de poluição e podem muitas vezes ser atribuídos a influências antropogênicas, ao invés de um enriquecimento natural dos sedimentos por intemperismo. Os metais, principalmente em grande concentração, merecem maior preocupação, por serem não

³³ Meurer, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3ª ed. Porto Alegre: editado por Egon José Meurer, 2008, 285 p.

³⁴ Egreja Filho, F. B. **Extração sequencial de metais pesados em solos altamente intemperizados: utilização de componentes-modelo e planejamentos com misturas ternárias na otimização do método**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG (2000), 287 p.

³⁵ ROZAINI, M. Z. *et al.* The determination of heavy metal concentration in sediment from Kerteh River, Terengganu. **Journal of Sustainability Science and Management**, v.5, n.2, p.1-11, 2010.

³⁶ RIBEIRO, L.R.; SALVADORI, D.M.F.; MARQUES, E.K. **Mutagênese Ambiental**. Editora da ULBRA. Canoas-RS. 356pp. 2003.

³⁷ SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 345p. 1989.

degradáveis, permanecendo por longos períodos no ambiente, principalmente nos sedimentos.

38

Os metais não podem ser decompostos como os contaminantes orgânicos e são bioacumuláveis, ocasionando um problema global de poluição por esses agentes. Quando as concentrações limitantes são ultrapassadas, podem produzir efeitos tóxicos sobre os organismos vivos e alterações no funcionamento dos ecossistemas.³⁹ As concentrações de metais encontrados em sedimentos podem refletir um processo de contaminação recente, bem como contaminações ocorridas ao longo do histórico de ocupação e desenvolvimento da área.⁴⁰ Assim, esses elementos se tornam importantes agentes de impacto ambiental e ganham relevância nos estudos e monitoramento de áreas impactadas, pois, em certas concentrações podem comprometer a sanidade dos ecossistemas em geral.

Geralmente, os metais de maior interesse, em estudos de contaminação ambiental, são os metais de transição, localizados na região central da Tabela Periódica, devido à capacidade de formar compostos complexos com uma variedade de espécies orgânicas e inorgânicas.^{41,42} Esses estudos têm voltado seu interesse para a quantificação da concentração desses metais em sedimentos, reunindo dados sobre o impacto ambiental e suas complexas relações com as atividades econômicas.

Um estudo realizado em sedimento de fundo do Lago Descoberto – DF foi feita a padronização dos metais estudados com o Alumínio indicando que os elementos como Ferro, Titânio, Vanádio e Cromo apresentaram como fonte principal o substrato geológico enquanto que os elementos Magnésio, Bário, Estrôncio, Níquel, Cobre, Zinco e Cálcio indicaram contribuições antrópicas provenientes de áreas agrícolas e urbanas. Além disso, a ocorrência de mercúrio nessa área está diretamente relacionada à contribuição antrópica oriunda de esgotos domésticos enquanto que o manganês não apresentou uma ocorrência específica, sendo proveniente tanto do substrato geológico quanto das atividades antrópicas (áreas

³⁸ JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 378-386, 2004.

³⁹ CÉSAR, A. **Análisis ecotoxicológico integrado de la contaminación marina en los sedimentos de la costa de Murcia, el caso de Portman**, Sudeste España. 2003.

⁴⁰ TRINDADE, W.M. *et al.* Concentrações de metais pesados em sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: Geoquímica e classificação de risco ambiental. **Geonomos**, vol. 20, no. 1, pp. 64-75. 2012.

⁴¹ CARAPETO, C. Metais. **Universidade Aberta**. 2008.

⁴² HATJE, V.; ANDRADE, J. B. de. **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos**. Salvador: EDUFBA, 2009.

agrícolas).⁴³ Outros estudos realizados pela Fundação Estadual do Meio Ambiente ⁴⁴ indicaram uma grande ocorrência de alta contaminação por diversos elementos e substâncias na Bacia do Rio Grande, particularmente no seu afluente o Rio das Mortes, e se há contaminantes nas águas da Bacia do Rio das Mortes, esses conseqüentemente também estarão dispersos no ambiente e depositados em algum outro compartimento, como sedimentos e solos.

3.3 Interações dos metais, sedimento e água

Quando lançados em águas naturais, o comportamento dos metais é diretamente influenciado pela quantidade e qualidade do material em suspensão presente. A afinidade entre o metal dissolvido e as partículas em suspensão pode ser iônica, física ou química, ocorrendo normalmente uma combinação das três. A relação entre a fase dissolvida e a particulada depende do tipo de partícula, pH do meio, grau de solubilidade do composto químico e presença de outros compostos. Quando a água de um rio passa por um reservatório ou trechos sem turbulência e com a velocidade baixa, ocorre a remoção, por sedimentação, de uma parte das partículas em suspensão. Por esse processo, uma quantidade dos metais, inicialmente dissolvida na água, é removida da água e retida nos sedimentos de fundo, onde permanece indefinidamente a menos que ocorra resuspensão pela alta turbulência. ⁴⁵

Após o contato com meio aquático, os metais podem se associar ao material particulado em suspensão e se depositar nos sedimentos de fundo e no leito dos rios, formando acumulações estáveis. Porém, mudanças físico-químicas no meio podem causar a mobilização destes elementos e conseqüente liberação de formas mais disponíveis para a coluna d'água. ⁴⁶

⁴³ SANTOS, A.D. **Estudo da distribuição de metais em sedimentos do Lago Descoberto-DF**. Dissertação de mestrado – Instituto de Química, Universidade de Brasília. 2003.

⁴⁴ FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM.. **Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de Minas Gerais: projeto sistema de monitoramento da qualidade das superficiais do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM/IGAM. np. 2001.

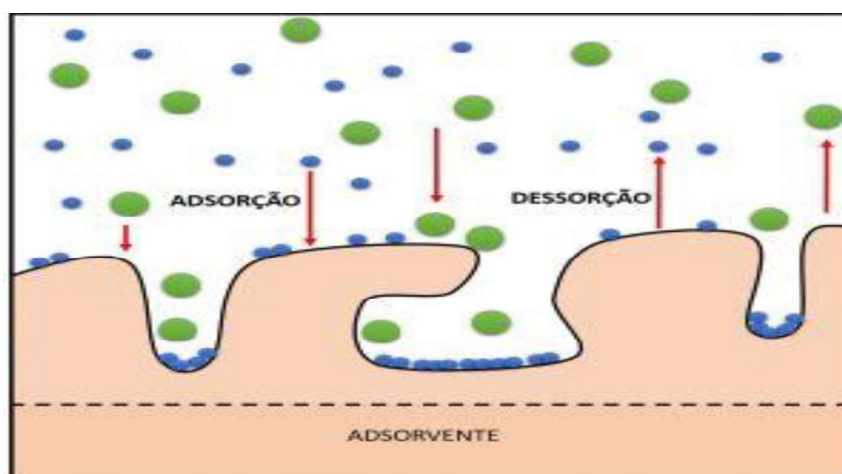
⁴⁵ GÜNTHER, W. M. R. **Contaminação ambiental por disposição inadequada de resíduos industriais contendo metais pesados: estudo de caso: estudo de caso**. 1998. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

⁴⁶ HATJE, V.; ANDRADE, J. B. de. **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos**. Salvador: EDUFBA, 2009.

Os metais podem ser retidos nos sedimentos por diferentes mecanismos. As formas como se associam e migram nesses ambientes incluem a adsorção, complexação e precipitação.

A adsorção é o processo predominante que consiste na fixação de elementos em uma superfície sólida, seja com hidróxidos de Fe e Mn, com a matéria orgânica particulada, ou com argilominerais. Os argilominerais possuem capacidade sortiva ou capacidade de troca catiônica, causada pela presença de cargas elétricas permanentes em sua estrutura cristalográfica. Essas cargas são provenientes da substituição isomórfica dos cátions dentro da estrutura dos argilominerais, preferencialmente negativas, e também existem as cargas elétricas negativas originadas pela desprotonação dos grupamentos Al-OH ou Si-OH, com o aumento de pH no meio. Além disso, pode ocorrer o processo inverso que é chamado de dessorção, mas que não será analisado neste estudo. Tanto na adsorção como na dessorção ocorrem interações de naturezas químicas e físicas e esses processos são apresentados na Figura 1.⁴⁷

Figura 1 - Processo de adsorção e dessorção.



Fonte: <http://gpquim.com.br>

A complexação ocorre devido à presença de grupamentos funcionais reativos da matéria orgânica do solo, principalmente, grupos carboxílicos e fenólicos, que geralmente formam estruturas negativamente carregadas, facilitando a retenção de cátions e podendo diminuir a toxicidade de poluentes. Além disso, a matéria orgânica tem capacidade tamponante que resiste às variações de pH do solo, mantendo-o normalmente dentro de uma

⁴⁷ SOUZA, V. L. B. *et al.* Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**. v. 03, p. 01-13, 2015.

faixa próxima a neutralidade.⁴⁸ A precipitação ocorre com formas insolúveis como hidróxidos, carbonatos e complexos orgânicos que com o aumento de pH ficam retidas no sedimento reduzindo a mobilidade dos elementos traço.⁴⁹

Para verificação da existência de contaminação ambiental por elementos traço, é fundamental determinar esses elementos, que por ocorrerem em baixas concentrações, dificultam essa identificação em algumas técnicas instrumentais. No Brasil, as determinações de metais em sedimentos já têm sido realizadas por diversos autores. Guimarães⁵⁰ analisou amostras superficiais em 5 pontos do reservatório Guarapiranga, com objetivo de quantificar as concentrações de metais e elementos traço e verificou a presença de metais tóxicos Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em altas concentrações nos sedimentos. Silva⁵¹ analisou a qualidade das águas e sedimentos em relação aos metais tóxicos, no reservatório Guarapiranga, concluindo que a ocupação no entorno do reservatório é a principal causa de impactos relacionados à carga orgânica, agravando a qualidade das águas do reservatório.

Como os sedimentos são levados pelos afluentes para outro curso de água, podendo chegar ao mar, as análises em vários pontos de uma região de interesse servem para identificar fontes de contaminação, monitorar e acompanhar o transporte desses contaminantes, já que estes podem provocar impactos no ecossistema devido às suas toxicidades.⁵²

3.4 Relação de metais com toxicidade e saúde

O acelerado crescimento industrial e agrícola, a utilização de agrotóxicos e o lançamento de esgoto doméstico e industrial, eventualmente sem tratamento adequado, em

⁴⁸ DUMAT, C.; QUENEA, K.; BERMOND, A. et al. Study of the trace metal ion influence on the turnover of soil organic matter in cultivated contaminated soils. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v.142, p.521-529, 2006.

⁴⁹ RESENDE, P. S. **Avaliação da distribuição e mobilidade de elementos traço em sedimentos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. Belo Horizonte, 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Química Analítica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

⁵⁰ GUIMARÃES, G. M. **Avaliação da concentração de metais e elementos traço em amostras de sedimento do reservatório Guarapiranga**. 2011. 171p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

⁵¹ SILVA, D. **Qualidade de Água e Sedimento em Reservatório**. 2016. 172p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

⁵² VALADÃO, L. S. *et al.* Determinação de elementos traço no sedimento do Canal São Gonçalo, Pelotas/RS. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 1, 2016.

corpos d'água e no solo, tem provocado um aumento de metais tóxicos no ambiente, colocando em risco a saúde humana.⁵³ Embora o termo metal pesado tenha conotação de toxicidade, alguns são essenciais ao metabolismo humano como sódio, potássio, magnésio, cálcio, cromo, cobre, zinco, manganês, ferro, cobalto e níquel. Porém, níveis excessivos desses elementos podem ser extremamente tóxicos enquanto que outros elementos como arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio são altamente tóxicos aos seres humanos mesmo quando em baixas concentrações, podendo causar sérios danos à saúde, pois não possuem nenhuma função dentro dos organismos e a sua acumulação pode provocar graves doenças.⁵⁴

No entanto, deve-se considerar que ambos, os elementos essenciais e não essenciais podem ser tóxicos quando os níveis de exposição e as concentrações forem suficientemente altos. Quando lançados contidos em resíduos industriais, na água, no solo ou no ar, esses elementos podem ser absorvidos pelos vegetais, animais e populações das proximidades, provocando graves intoxicações ao longo da cadeia alimentar.

A legislação ambiental brasileira ainda é incipiente, pois não dispõe de critérios de qualidade para diversos contaminantes orgânicos e inorgânicos em sedimento. Também não há no Brasil muitos dados de *background* de constituintes inorgânicos em sedimentos para muitas localidades, porém para a área deste estudo foi possível encontrar esses valores de *background*.⁵⁵

Sendo assim, para que seja realizada a comparação e a identificação das possíveis consequências dos teores de metais nos sedimentos, serão utilizados os critérios estabelecidos na literatura, de acordo com os VGQS definidos pelo CCME, a Resolução CONAMA nº 454 de 2012 e os valores de *background* regional. Em escala internacional, os VGQS do tipo TEL/PEL/SEL são os mais utilizados, especialmente os valores publicados pelo CCME.⁵⁶ Os guias do tipo TEL/PEL/SEL são valores numéricos embasados em bancos de dados de

⁵³ MOURA, C.L. **Distribuição de Metais Pesados (Cr, Cu, Ni e Zn) em Sedimentos de Fundo do Rio Embu-Mirim-SP**. Dissertação de Mestrado. USP, São Paulo. 2002.

⁵⁴ FERREIRA, A.P. *et al.* Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 10(2): 229-241. 2010.

⁵⁵ LEITE, T. M. S *et al.* Caracterização de sedimentos de corrente influenciados pelas águas do Parque Ecológico Municipal Rego dos Carrapatos em Nova Lima – MG. **Revista de ciências exatas**, v. 8, n. 8, p. 71-83, 2013.

⁵⁶ HUBNER, R.; ASTIN K. B.; HERBERT, R. J. H. Comparison of sediment quality guidelines (SQGs) for the assessment of metal contamination in marine and estuarine environments. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 11, p. 713– 722. 2009.

concentrações individuais de contaminantes inorgânicos e orgânicos, a partir dos quais, são estabelecidas relações de causa (concentração de contaminantes) e efeito (resposta biológica de organismos bentônicos).⁵⁷ Os VGQS estabelecidos pelo CCME se dividem em três níveis, sendo eles o TEL (*Threshold Effect Level*) que corresponde à concentração abaixo dos quais efeitos tóxicos à biota são raramente esperados, sendo efeitos limiares; o PEL (*Probable Effect Level*) que são valores acima dos quais efeitos biológicos adversos são prováveis e o SEL (*Severe Effect Level*) que corresponde aos efeitos de grau severo.^{58 59 60}

A Resolução CONAMA 454/2012⁶¹ estabelece diretrizes gerais e procedimentos para gerenciamento de material a ser dragado (sedimento) em águas, são estabelecidos valores de referência em dois níveis, o nível 1 do CONAMA equivale ao TEL do CCME e o nível 2 equivale ao PEL. Já os valores de *background* regional possuem grande relevância na determinação da extensão da poluição gerada pelos metais no corpo hídrico, permitindo diferenciar influências antrópicas e concentrações naturalmente elevadas em determinadas regiões devido à constituição mineralógica local. Os valores de *background* correspondem ao nível dos elementos antes das contribuições oriundas das influências antropogênicas na região e também se dividem em nível 1 e nível 2. Esses valores se baseiam em estudos realizados pela Companhia e Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) do Serviço Geológico do Brasil

⁵⁷ *Ibid.* p. 713-722.

⁵⁸ BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Superintendência Regional de Belo Horizonte. **Projeto (APA SUL RMBH), Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Estudos do Meio Físico** Volume 7 : Geoquímica ambiental, mapas geoquímicos escala 1:225.000. Fernanda G. da Cunha, Gilberto J. Machado. Belo Horizonte: SEMAD/CRPM, 2005. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/10218/rel_apa_sulrmbhv7.pdf?sequence=29>, acesso em: 26/10/2018.

⁵⁹ POMPÊO, M. *et al.* Biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano (reservatório Guarapiranga – São Paulo (SP), Brasil): há toxicidade potencial e heterogeneidade espacial? **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 2, p. 104-119, 2013. Disponível em: <<http://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/viewFile/364/397>>, acesso em: 26/10/2018.

⁶⁰ CANADÁ. CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Environmental. **Quality Guidelines. Summary tables.** Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/e1_06.pdf>. Atualizado em dezembro de 2003. Acesso em: 26/10/2018.

⁶¹ BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA, Resolução nº 454. **Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.** Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>, acesso em 30/04/2018.

por volta dos anos de 1970 a início de 1990 na qual os impactos antrópicos como a ocupação urbana e a degradação ambiental eram pequenos.⁶² Esses valores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores limites para análise da concentração de elementos traço em sedimentos.

Resolução CONAMA 454/12		Valores Guia de Qualidade do Sedimento - CCME			Valores de <i>Background</i> Regional	
Nível 1	Nível 2	TEL	PEL	SEL	Nível 1	Nível 2
0,6	3,5	0,6	3,5	10	*	*
35	91,3	35	91,3	250	3	17
35,7	197	35,7	197	110	5	40
37,3	90	37,3	90	110	15	67
*	*	*	*	*	2%	5%
*	*	*	*	*	350	900
18	35,9	18	36	75	12	32
123	315	123	315	820	8	40

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

O cádmio (Cd) é um metal não essencial, ou seja, não apresenta funções no organismo humano e, geralmente, na natureza, ocorre associado aos minérios de zinco. É considerado um dos elementos mais perigosos e como é facilmente transferido para a cadeia alimentar, torna-se a principal causa de contaminação dos animais e seres humanos devido ao seu potencial tóxico.⁶³ Por sua característica tóxica, deve ser considerado bastante nocivo aos indivíduos, visto que esse elemento pode entrar na corrente sanguínea ao ser absorvido pelo estômago ou intestino ou absorvido pelos pulmões através da respiração.⁶⁴ Assim, esse metal de transição está associado a efeitos tóxicos nos organismos vivos, mesmo quando são encontrados em

⁶² BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Superintendência Regional de Belo Horizonte. **Projeto (APA SUL RMBH), Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Estudos do Meio Físico Volume 7 : Geoquímica ambiental, mapas geoquímicos escala 1:225.000.** Fernanda G. da Cunha, Gilberto J. Machado. Belo Horizonte: SEMAD/CRPM, 2005. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/10218/rel_apa_sulrmbhv7.pdf?sequence=29>, acesso em: 26/10/2018.

⁶³ FIRME, P.L. *et al.* Solo contaminado com cádmio: extratibilidade do metal e cinética química de degradação da matéria orgânica de torta de filtro. **Quím. Nova**, v. 37, n. 6, 956-963, 2014.

⁶⁴ TRINDADE, W.M. *et al.* Concentrações de metais pesados em sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: Geoquímica e classificação de risco ambiental. **Geonomos**, v. 20, n. 1, pp. 64-75. 2012.

baixas concentrações, pois na maioria das vezes, apresenta grande disponibilidade no ambiente. Entretanto, quando o Cádmio estiver complexado com a matéria orgânica, estará relativamente imóvel nos sedimentos.⁶⁵ Possui como fontes naturais a erosão de rochas, incêndios florestais e como fontes antropogênicas as atividades de mineração, produtos como baterias níquel-cádmio e pigmentos.

O chumbo (Pb) possui como uma das suas fontes a ocupação urbana, o despejo de efluentes domésticos e industriais, deposição atmosférica, lixiviação do solo, desgaste de peças, tubulações, baterias e atividades humanas. É considerado tóxico, bioacumulativo e carcinogênico, não é essencial na nutrição, possuindo baixa concentração na natureza, sendo que sua presença no ambiente já possibilita um risco. Alguns sintomas da exposição ao chumbo são tontura, dor de cabeça, perda de memória e deficiência dos músculos. É um metal que afeta praticamente todos os órgãos e sistemas do corpo humano, acumulando-se nos ossos e no sangue, sendo que o mais sensível é o sistema nervoso central.⁶⁶ Um dos motivos da adsorção do chumbo em sedimentos se deve à quantidade de matéria orgânica existente, sendo que a maior parte do metal fica retida no sedimento e sua disponibilidade se torna baixa.

O cobre (Cu) é um nutriente indispensável às plantas e aos seres humanos em baixas concentrações, porém quando é encontrado em altas concentrações, adquire propriedades tóxicas podendo ser letal aos animais.⁶⁷ As fontes antrópicas de cobre geralmente estão associadas ao uso de fertilizantes, pesticidas e as principais fontes industriais são a mineração, indústria de fundição e metalúrgicas. Doses muito altas podem provocar irritação e corrosão de mucosas, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central.⁶⁸

⁶⁵ OLIVEIRA, M. R. **Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do Rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais.** 2007. 150p. Tese de Doutorado, UFMG – Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2007.

⁶⁶ CASTRO, S. V. - **Efeitos de metais pesados presentes na água sobre a estrutura das comunidades bentônicas do alto rio das Velhas-MG** – 110p. Dissertação (mestrado) -. Universidade Federal de Minas Gerais - CEPRENG – Centro de Estudos e Previsão de Tempo e Clima de Minas Gerais– UNIFEI. – Itajubá. P. 26-32. 2006.

⁶⁷ OLIVEIRA, M. R. **Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do Rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais.** 2007. 150p. Tese (Doutorado) - UFMG – Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2007.

⁶⁸ CASTRO, S. V. *Op. cit.* p. 26-32.

De acordo com Trindade⁶⁹, o cromo (Cr) pode ser encontrado nos estados de oxidação +3 e +6. A diferença de comportamento e ação no organismo varia segundo a espécie. O Cr⁺³ é considerado um elemento traço essencial para o ser humano e é rapidamente precipitado e adsorvido pelo sedimento, enquanto que o Cr⁺⁶ é tóxico, podendo causar até mesmo câncer. A intoxicação geralmente causa diarreias, náuseas, efeitos cutâneos, danos aos rins, fígado e pulmões e hemorragias internas. A fabricação de tintas, ligas metálicas, estruturas de construção civil, corantes, produção de cerâmica e papel, resíduos industriais e efluentes de curtumes, são importantes fontes de liberação de cromo para o meio ambiente, mas podem ser encontrados também em rochas, solos e poeiras.

As principais fontes de manganês (Mn) para o meio ambiente são mineração, siderurgia, fabricação de ligas metálicas, tintas e fertilizantes e pode ser encontrado também em solos, rochas, água e sedimentos. É um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e é essencial ao corpo humano, mas tóxico em altas concentrações, podendo causar alucinações, perda de memória, bronquite, dores nas pernas, fraqueza muscular, dores de cabeça e insônia.^{70 71}

O níquel (Ni) é um micronutriente essencial bastante utilizado na agricultura e liberado para a atmosfera pelas chaminés de indústrias e incineradores, voltando ao solo após interagir com gotas de chuva. A maior parte do níquel liberado para o ambiente é adsorvida pelo sedimento ou por partículas do solo, tornando-se imóvel, ou seja, com capacidade de formar complexos e por combinar com outros elementos formando compostos insolúveis como os óxidos. Altos teores no corpo humano podem provocar câncer de pulmão e próstata, tonteiras, náuseas, asma e bronquite e reações alérgicas.⁷² É lançado no meio ambiente através de fertilizantes fosfatados, deposição atmosférica, incineração de lixo, combustão de carvão, mineração, lodos de esgoto no solo e resíduos industriais.⁷³

O zinco (Zn) é considerado um elemento traço essencial à saúde humana, desempenhando um papel fundamental nas atividades do organismo e a geração de lixo e de

⁶⁹ TRINDADE, W.M. *Op cit.* p. 64-75.

⁷⁰ CASTRO, S. V. *Op. cit.* p. 26-32.

⁷¹ REMIÃO, F. **Manganês: toxicologia e análises toxicológicas**. Laboratório de Toxicologia, Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto, 2005.

⁷² TRINDADE, W.M. *Op cit.* p. 64-75.

⁷³ DUARTE, R. S.; PASQUAL, A. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energia na Agricultura**, Vol. 15, Nº 1, 46-58, 2000.

efluentes industriais de mineração, combustão de carvão e siderurgia causam um aumento da concentração desse elemento na água, implicando em problemas ambientais como bioacumulação e contaminação de plantas e animais, além de problemas de saúde como dores de estômago, irritações de pele, vômitos, náusea e anemia.⁷⁴

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado no Córrego dos Carrapatos mostrado na Figura 2 que está dentro de uma reserva ecológica chamada Parque Natural Municipal Rego dos Carrapatos, localizado no município de Nova Lima, em Minas Gerais e que também está inserido na Área de Proteção Ambiental ao Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul RMBH) no norte do Quadrilátero Ferrífero (QF). Segundo Franco⁷⁵, O Quadrilátero Ferrífero, localizado no Estado de Minas Gerais, é uma região de formação geológica rica em depósitos arseníferos, onde a atividade de mineração aumenta o risco de contaminação por elementos tóxicos.

Figura 2 - Córrego dos Carrapatos em Nova Lima - MG



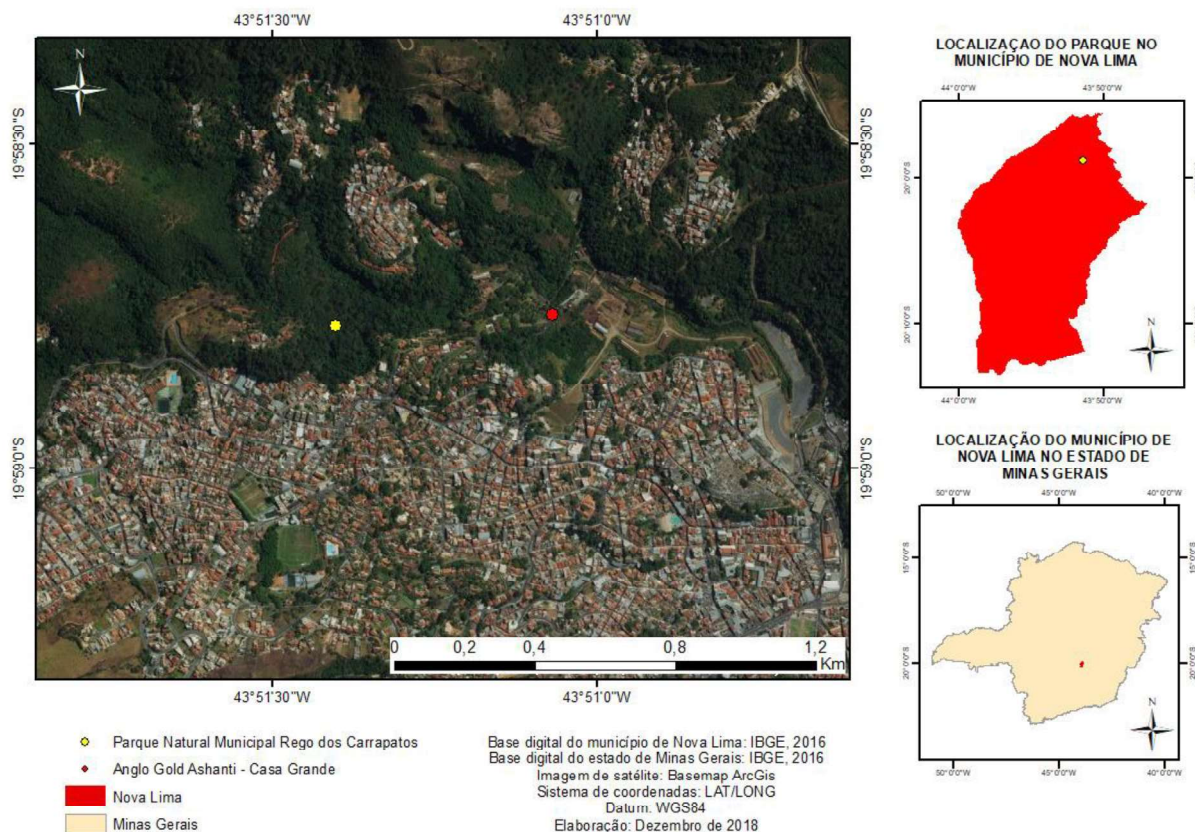
Fonte: www.google.com

Na Figura 3, percebe-se que o Parque está dentro de uma área urbana e próximo à Mineradora Anglo Gold Ashanti Casa Grande, sugere-se que essa localização é um fator para causar influências nas análises dos metais presentes no sedimento de fundo do corpo hídrico do Córrego dos Carrapatos.

⁷⁴ CASTRO, S. V. *Op. cit.* p. 26-32.

⁷⁵ FRANCO, M. **Avaliação da qualidade ambiental no entorno de áreas de mineração e análise da exposição da cianobactéria *Synechococcus nidulans* a oxianions de arsênio.** 111f. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2014.

Figura 3 - Mapa da região de Nova Lima - MG onde se localiza a área de estudo.



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

A APA SUL RMBH compreende uma área total de 163.000 ha e envolve doze municípios que são Nova Lima com aproximadamente 98% do território dentro da área de proteção, Belo Horizonte, Caeté, Itabirito, Rio Acima, Raposos, Ibirité, Mário Campos, Santa Bárbara, Barão de Cocais, Brumadinho e Sarzedo. Essa área concentra mais de 50% de todas as reservas minerais nacionais de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero, e, ainda, alta densidade industrial e populacional. Na APA SUL RMBH estão presentes duas grandes bacias hidrográficas, a do Rio São Francisco e a do Rio Doce que possuem um papel importante por ser responsável por 70% do abastecimento de água da cidade de Belo Horizonte e 55% dos demais municípios da Região Metropolitana.⁷⁶

⁷⁶ ATLAS DE NOVA LIMA. **Atlas Histórico, Geográfico e Ambiental de Nova Lima / MG.MP Comunicação: 2005.** Disponível em: <<http://www.marcelopinheiro.com/site/atlasmunicipal.html>> acesso em: 26/10/2018.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de 2015⁷⁷, o município de Nova Lima está inserido na Bacia Rio das Velhas, um dos maiores afluentes em extensão da Bacia do Rio São Francisco, e contribuído pelas sub-bacias do Cardoso, Cristais, Macacos e Rio do Peixe. O Ribeirão Água Suja, que deságua no Rio das Velhas próximo ao Bairro do Galo, é formado pelo encontro do Córrego Cardoso com o Ribeirão Cristais, a jusante da área urbana de Nova Lima. Seus principais contribuintes pela sub-bacia do Cardoso são os córregos Carrapato e Jambreiro e, pela sub-bacia do Cristais, os córregos Mutuca e Capão do Boi. Seus afluentes são diferenciados pela margem esquerda, composta pelo Córrego da Mutuca, Córrego da Tapera, Córrego do Estrangulado, Ribeirão dos Cristais, Córrego Capão do Boi, Córrego do Pires, Córrego Carrapato e outros córregos sem nome e pela margem direita, composta pelo Córrego das Águas Claras e Córrego do Jambreiro.

O Parque Municipal Rego dos Carrapatos está situado na área urbana e ocupa uma área de 160 hectares adjacente à Mata do Jambreiro. A área foi repassada ao município em forma de doação pela Mineradora Morro Velho, em 1996. Tem a função de promover educação ambiental e é considerado como uma opção de lazer para a população contemplando também uma diversidade de fauna e flora de um ecossistema ameaçado, que é da Mata Atlântica. Além disso, dentro do Parque Ecológico do Rego dos Carrapatos, encontra-se a mais antiga Banqueta já construída em Nova Lima no ano de 1810. A Banqueta dos Carrapatos, de 5,5 km de extensão, foi a responsável pela captação de água potável para Nova Lima e para o fornecimento de água para a lavagem do minério da Mineração Morro Velho, mas hoje, é usada apenas para passagem do Córrego dos Carrapatos junto à trilha.⁷⁸ Por isso, a presença dessa Banqueta não vai interferir nos resultados obtidos, tendo em vista que ela não será motivo de contaminação.

⁷⁷ PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE NOVA LIMA/MG-PMSB. **Plano de metas, programa de obras e ações, cronograma de investimentos, ações para emergências e contingência e estudos de sustentabilidade.** 2015. Disponível em: <http://www.novalima.mg.gov.br/media/files/OSA_2014-75_MJ_DIAGNOSTICO_PMSB_NOVA_LIMA-V5-DRU-R4.pdf>, acesso em 30/04/2018.

⁷⁸ ATLAS DE NOVA LIMA. **Atlas Histórico, Geográfico e Ambiental de Nova Lima / MG.MP Comunicação: 2005.** Disponível em: <<http://www.marcelopinheiro.com/site/atlasmunicipal.html>> acesso em: 26/10/2018.

4.2 Procedimentos de coleta e análises do sedimento:

Inicialmente, foi realizada uma visita de campo, no dia 02 de Setembro de 2018, no Parque Natural Municipal Rego dos Carrapatos, localizado em Nova Lima – MG para que as amostras de sedimentos de fundo de corpo hídrico fossem coletadas no Córrego dos Carrapatos. Definiu-se a coleta em quatro pontos distintos do córrego, sendo que nos pontos 1 e 2 ela foi feita em três sub-pontos diferentes (amostra integrada) para cada ponto, pelo fato do córrego ser mais largo, buscando coletar quando possível, uma amostra em cada margem do córrego e outra no meio da calha. Isso só foi possível ser feito no ponto 2, porque no ponto 1 foi muito complicado fazer a travessia até a margem oposta e, por isso, a coleta nesse ponto foi feita em três sub-pontos distantes em aproximadamente 3 m na mesma margem. Nos pontos 3 e 4 houve só um ponto de coleta por ser um canal lateral estreito localizado durante toda a trilha do Parque. As características do local referentes aos pontos de coleta e as medidas de profundidade e largura dos pontos e sub-pontos estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Características do local e as medidas de profundidade e largura dos trechos.

Ponto de Coleta	Sub-ponto de Coleta	Local	Profundidade	Largura
1	1.a (margem)	À montante da cachoeira principal. A granulometria do sedimento é mais arenosa visualmente.	15 cm	5 m
	1.b (margem)		20 cm	4 m
	1.c (margem)		25 cm	4 m
2	2.a (margem)	À jusante da cachoeira principal. A granulometria do sedimento é mais arenosa visualmente.	30 cm	3 m
	2.b (meio da calha)		15 cm	2 m
	2.c (margem)		20 cm	3 m
3	-	Canal lateral da trilha a 1000 m da cachoeira principal. A granulometria do sedimento é mais argilosa visualmente.	25 cm	55 cm
4	-	Canal lateral da trilha à montante do ponto 3. A granulometria do sedimento é mais argilosa visualmente.	20 cm	65 cm

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Para a coleta das amostras, foi necessário o uso de equipamentos individuais como botas e luvas de borracha e, primeiramente, mediu-se a profundidade e largura do ponto de coleta com uma trena como mostra a Figura 4 (a). Os pontos 1 e 2 precisaram ter três medições, ou seja, uma para cada ponto de coleta, enquanto que nos pontos 3 e 4 foi só uma. Os sedimentos depositados no fundo do corpo hídrico foram retirados introduzindo uma pá de

olaria no fundo do córrego e levadas até a superfície para que fosse feita uma raspagem do sedimento de aproximadamente 2 cm com a finalidade de retirar as sujeiras que sedimentaram no córrego.

Depois disso, os sedimentos foram colocados em potes de plástico de aproximadamente 2 L, completando a metade de cada um dos potes, sendo que esses potes foram fechados e identificados de acordo com cada ponto de coleta conforme a Figura 4 (b). Posteriormente, as amostras coletadas foram transportadas ao Laboratório de Química, 415, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), localizado no campus I.

No laboratório, cada amostra de sedimento de fundo de corpo hídrico coletada foi colocada em dois béqueres de 250 mL para serem secas na estufa (FABBE) a 105 °C e, depois, maceradas para quebrar os agregados formados durante a secagem e atingirem uma granulometria mais fina, conforme a Figura 4 (c) e 4 (d) respectivamente. As amostras maceradas foram armazenadas em sacos plásticos transparentes e identificadas.

Figura 4 - (a) Coleta de sedimento (b) Medição de largura e profundidade com trena (c) Estufa para secagem (d) Maceração da amostra seca.



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

4.3 Determinação de pH em água e em KCl 1,0 mol L⁻¹

Para a determinação de pH em água para medição de acidez ativa foi preciso tarar o béquer de 100 mL e pesar em uma balança analítica (Adventurer OHAUS) aproximadamente 10 g de sedimento em triplicata para cada amostra. Depois, água destilada foi aquecida em um

agitador magnético/aquecedor (IKA C-MAG HS - 7), mostrado na Figura 5 (a), sendo que 25 mL dessa água foi adicionada à amostra seca e agitada manualmente com um bastão de vidro individual deixando em repouso por 1 hora.

Passado esse tempo, agitou-se novamente a amostra com bastão de vidro para ocorrer a homogeneização e assim ser possível fazer a medição do pH da mistura com a utilização do equipamento pHmetro (DIGIMED) apresentado na Figura 5 (b). Esse equipamento é composto por eletrodo combinado que foi imerso em suspensão homogeneizada sedimento:líquido na proporção de 1:2,5 e procedida a leitura do pH, sendo que após cada leitura os eletrodos deveriam ser lavados com água destilada e secos com papel macio para a próxima medição.

Para a determinação do pH em $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ para medição da acidez trocável foi necessário repetir o procedimento acima, mas ao invés de adicionar água destilada à amostra seca, empregou-se 25 mL de $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ à temperatura ambiente. Por fim, foi feita a estimativa de Capacidade de Troca Catiônica (CTC) pelo ΔpH que consiste na diferença do pH em KCl pelo pH em água.⁷⁹

Figura 5 - (a) Agitador magnético (b) Leitura do pH.



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

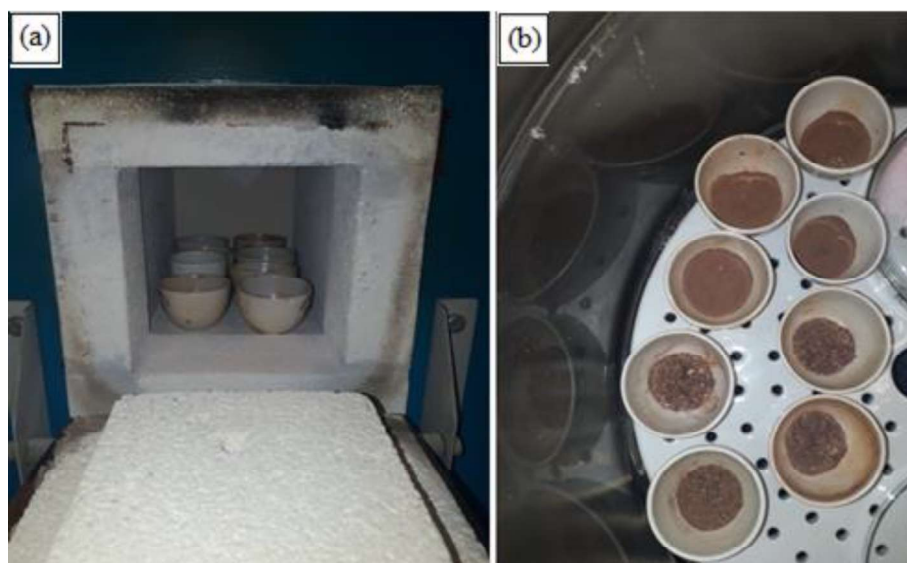
4.4 Determinação do Teor de Matéria Orgânica

Para determinar o teor de matéria orgânica nas amostras de sedimento empregou-se o método de perda por ignição por calcinação. Foram pesados cadinhos vazios previamente calcinados em mufla a $900 \text{ }^\circ\text{C}$ por duas horas, e depois de tarar cada um deles, foram pesados cerca de 4 g de cada amostra previamente seca a $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Esse ensaio foi realizado em

⁷⁹ EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, Embrapa CNPS, 212p. Documentos, 1. 1997.

duplicata. Logo em seguida, essas amostras foram levadas à mufla (ZEZIMAQ) e aquecidas a 250 °C por 5 horas. Passado esse tempo, os cadinhos foram retirados da mufla com o auxílio de uma pinça metálica (tenaz) e colocados no dessecador como mostram as Figuras 6 (a) e 6 (b). Após resfriamento, os cadinhos contendo as amostras foram pesados e realizou-se a determinação do peso final dado pela diferença entre o peso após o dessecador e o peso do cadinho vazio, e logo em seguida fez-se a diferença da redução da massa de amostra para cálculo do teor de matéria orgânica.⁸⁰

Figura 6 - (a) Mufla (b) Cadinhos no dessecador.



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

4.5 Digestão pseudo – total

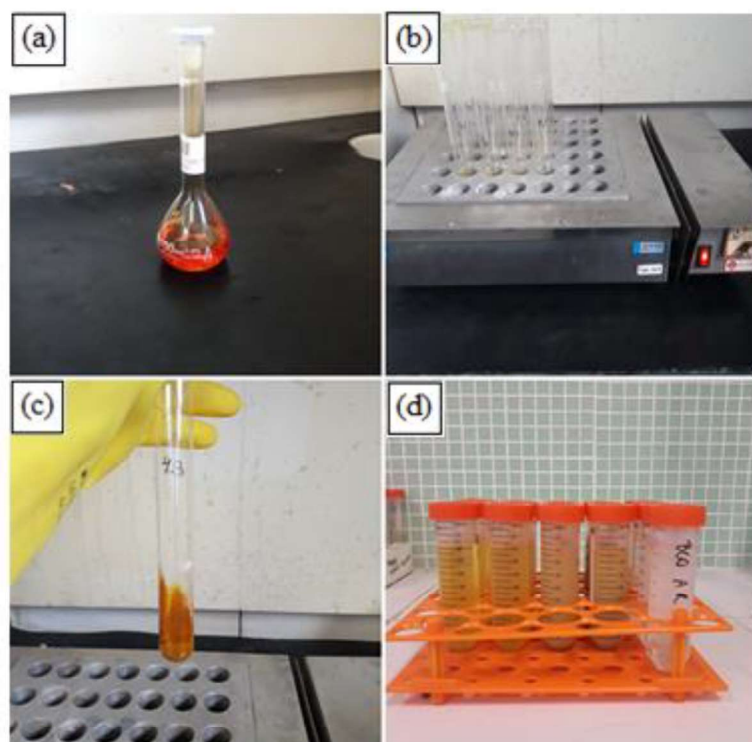
As amostras de sedimento foram submetidas à digestão ácida com água régia em bloco digestor a 110 °C por 6 horas.⁸¹ Foram pesados cerca de 1,0 g de amostra do sedimento diretamente em tubos de digestão, foram adicionados 10,0 mL de água régia recém-preparada, mostrada pela Figura 8 (a) em cada tubo. Os tubos foram levados para o bloco digestor (QUIMIS), na capela, e mantidos sob aquecimento a 110 °C por, no mínimo, 6 horas. Após esse tempo, aguardou-se o resfriamento e as misturas resultantes foram transferidas para tubos de centrífuga de polietileno (*Corning*) de 50,0 mL, completando o volume para 40,0 mL com água ultrapura. Esse ensaio foi realizado em triplicata. Além disso, foi preparado o branco de

⁸⁰ SILVA A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JÚNIOR, J. S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **R. Un. Alfenas**, Alfenas, 5:21-26. 1999.

⁸¹ RESENDE, P. S. **Avaliação da distribuição e mobilidade de elementos traço em sedimentos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. Belo Horizonte, 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Química Analítica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

reagente, no qual adicionou-se 10,0 mL de água régia em 4 tubos de digestão, os quais foram submetidos aos mesmos procedimentos descritos para as amostras. A Figura 8 (b), 8 (c) e 8 (d) mostram as etapas da digestão das amostras. As amostras foram preservadas em temperatura ambiente até serem analisadas quanto à presença de metais.

Figura 7 - (a) Água régia (b) Aquecimento das amostras no bloco digestor (c) Amostras pós aquecimento (d) Tubos de centrífuga de polietileno (*Corning*)



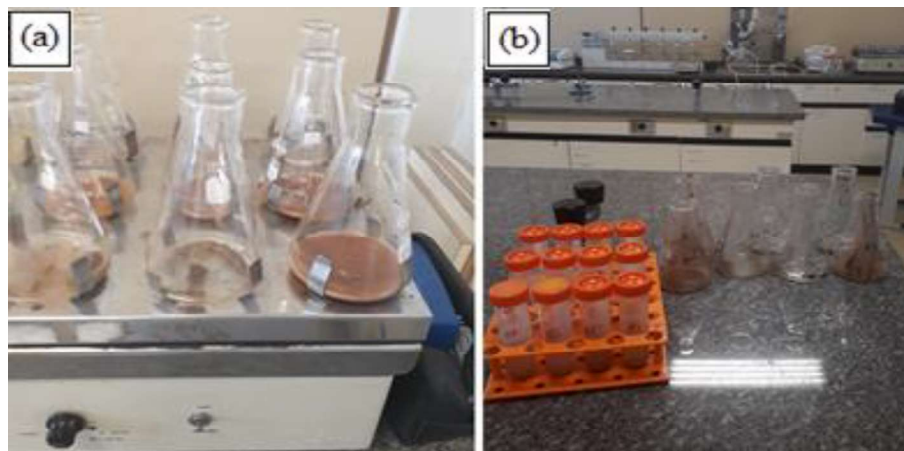
Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

4.6 Extração parcial com HCl 1,0 mol L⁻¹

Para avaliação da disponibilidade ⁸², pesou-se cerca de 1,0 g de amostra diretamente em erlenmeyers de 250 mL, depois adicionou-se 20 mL de HCl 1,0 mol L⁻¹ ao frasco, deixando a mistura sob agitação em uma mesa agitadora (ICELL modelo 113) durante 1 hora. Após esse tempo, o conteúdo de cada erlenmeyer foi transferido quantitativamente para tubos de centrífuga de polietileno (*Corning*) de 50 mL identificados, os volumes foram aferidos para 20 mL com água ultra-pura como mostra a Figura 7 (a) e 7 (b), respectivamente. Este ensaio foi realizado em triplicata.

⁸² RESENDE, P. S. **Avaliação da distribuição e mobilidade de elementos traço em sedimentos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. Belo Horizonte, 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Química Analítica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

Figura 8- (a) Amostras no agitador (b) Amostras nos tubos de centrifuga de polietileno (Corning)



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

4.7 Quantificação dos metais nas amostras de sedimento

Visando determinar as concentrações dos metais estudados (Cádmio, Chumbo, Cromo, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel e Zinco) nas amostras de sedimento, utilizou-se a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica com Chama empregando o equipamento da VARIAN SpectrAA 55B (Figura 9) disponível no CEFET-MG seguindo as recomendações do fabricante específicas para cada analito.

Figura 9 - (a) Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama (b) Análise da amostra com a técnica FAAS.



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Primeiramente, procedeu-se as medidas de absorvância da curva analítica para cada elemento, depois foram realizadas as medidas de absorvância das amostras. Foram anotados os dados de absorvância de cada ponto da curva analítica e, depois, foi plotado um gráfico

Concentração *versus* Absorvância, empregando o software Excel, a fim de encontrar a equação da reta para determinar a concentração das amostras.

Após a obtenção dos teores dos metais nas amostras de sedimento, estes foram comparados com os valores preconizados pela Resolução CONAMA 454/2012, os valores de TEL/PEL/SEL do CCME e os valores de *background* da área de estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Observações do local

Durante a visita no dia 02 de Setembro de 2018, no Parque Natural Municipal Rego dos Carrapatos, foi possível perceber que o número de visitantes no Parque é bem grande, visto que tanto os moradores da região quanto pessoas de outras regiões utilizam este ambiente para descanso, distração, caminhadas, diversão e passeios com cães. Também pode-se observar que próximo ao córrego existem residências que fazem o lançamento do esgoto doméstico no próprio córrego, devido ao odor intenso de esgoto e pelo aspecto acinzentado apresentado pela água.

O ponto 2, principalmente, é onde se localiza a cachoeira principal e é o lugar onde a maioria dos visitantes do Parque termina a caminhada de aproximadamente 5 quilômetros. Muitos deles levam algum tipo de lanche para essa parada final e por isso foi visualizado lixo como sacolas plásticas, garrafas, latas, embalagens e restos de alimentos nessa área. Também foi visto que as pessoas se refrescam com a água do córrego e através de conversas com alguns dos frequentadores eles consideram isso normal, mas têm um pouco de receio em relação à qualidade da água, pois sabem do lançamento inadequado de esgoto e resíduos domésticos e também da proximidade de indústrias e mineradoras, tendo consciência de que dependendo dessa qualidade do córrego, podem ter a saúde prejudicada.

5.2 Determinação de pH em água e em KCl 1,0 mol L⁻¹

Cada uma das 4 amostras foram pesadas e determinados os valores de pH em água e em KCl 1,0 mol L⁻¹. As análises foram feitas em triplicata e os dados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios de pH em Água e em KCl 1,0 mol L⁻¹ das amostras de sedimento.

Amostra	Média do pH		Média do ΔpH	
	Identificação	Água	KCl 1 mol.L ⁻¹	pH _{KCl} -pH _{água}
1		8,42	7,48	-0,94
2		8,18	7,67	-0,51
3		7,12	6,76	-0,36
4		6,99	6,43	-0,56

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Esses valores de ΔpH mostram a capacidade de troca catiônica, ou seja, como os valores deram negativos significa que o sedimento tem capacidade de adsorver cátions. Quando o KCl é adicionado à amostra seca, vários metais são deslocados inclusive o hidrogênio que está ligado à partícula sólida do sedimento por atração eletrostática. Dessa forma, quando há esse deslocamento, os outros cátions migram para a solução. Nesse caso, há uma variação de pH, porque os íons de hidrogênio também foram para solução e por isso ocorre um aumento na concentração de H⁺ e consequentemente uma diminuição do pH.

O valor de ΔpH negativo demonstra que as amostras apresentam predomínio de carga superficial negativa, ou seja, atraem íons de carga positiva, os metais. A retenção de metais por adsorção com prevalência das interações eletrostáticas no sedimento de fundo implica na qualidade do corpo hídrico, pois essa forma de interação é relativamente fraca e é considerada temporária. A redução de pH poderá liberar os cátions retidos por interação eletrostática novamente para a coluna d'água. Então, a importância dos valores negativos de ΔpH é em relação à disponibilidade ambiental dos metais no sedimento, ou seja, quanto maior o valor de ΔpH, maior será a capacidade de fazer essa troca com a água.

5.3 Teor de Matéria Orgânica

Os dados referentes ao teor de matéria orgânica obtidos pelo Método da Calcinação estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios do teor de matéria orgânica nas amostras de sedimento.

Amostra	Teor de Matéria Orgânica Média ± Desvio Padrão (%)	Desvio Padrão Relativo (%)
1	1,50 ± 0,01	0,86
2	1,82 ± 0,04	2,10
3	6,07 ± 0,20	3,35
4	6,36 ± 0,01	0,11

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

A matéria orgânica também é uma possibilidade de retenção de elementos traço por complexação e assim, as amostras que possuem uma porcentagem mais alta, teriam maior capacidade de formar complexos metálicos. De acordo com os dados apresentados, as amostras 3 e 4 seriam mais fáceis de ocorrer essa complexação com a matéria orgânica, pois possuem maior teor da matéria orgânica, sendo 6,07% e 6,36% respectivamente. . Um estudo realizado por Vidal e Becker⁸³ também constatou que os pontos que apresentaram os maiores percentuais de matéria orgânica foram os mesmos que apresentaram os maiores percentuais de finos, confirmando estudos que indicam que a matéria orgânica está associada a sedimentos de granulometria fina.

5.4 Digestão pseudo-total e quantificação dos metais

Na Tabela 4, são apresentadas as concentrações totais dos metais estudados no sedimento, juntamente com os valores preconizados das legislações vigentes a serem comparadas. Esses valores auxiliaram na busca de evidências da presença de contaminantes em concentrações capazes de causar efeitos deletérios, sobretudo com relação à possível toxicidade à biota.

⁸³ VIDAL, R. M.; BECKER, H.. Distribuição de manganês, ferro, matéria orgânica e fosfato nos sedimentos do Manguezal do rio Piranji, Ceará. **Arq. Ciên. Mar.** Fortaleza, v.39, n.34, 2006.

Tabela 4 - Concentração total de metais nas amostras de sedimento e valores das legislações.

Metais: Concentração	Amostras com água régia (média ± desvio padrão)				Resolução CONAMA 454/2012 ⁸⁴			Valores Guia de Qualidade do Sedimento – CCME (2003) ⁸⁵			Valores de <i>Background</i> Regional (2005) ⁸⁶	
	1	2	3	4	Nível 1	Nível 2	TEL	PEL	SEL	Nível 1	Nível 2	
Cd (mg.Kg ⁻¹)	1,5 ± 0,5	N.D.	N.D.	N.D.	0,6	3,5	0,6	3,5	10	*	*	
Pb (mg.Kg ⁻¹)	64 ± 2	68 ± 5	52 ± 3	53 ± 1	35	91,3	35	91,3	250	3	17	
Cu (mg.Kg ⁻¹)	57 ± 9	80 ± 12	73 ± 22	78,5 ± 0,6	35,7	197	35,7	197	110	5	40	
Cr (mg.Kg ⁻¹)	111 ± 16	120 ± 24	194 ± 54	193 ± 1	37,3	90	37,3	90	110	15	67	
Fe (%)	13,2 ± 0,2	11,6 ± 0,1	34,4 ± 3,2	29,9 ± 8,5	*	*	*	*	*	2%	5%	
Mn (mg.Kg ⁻¹)	1296 ± 95	952 ± 67	1631 ± 73	3236 ± 236	*	*	*	*	*	350	900	
Ni (mg.Kg ⁻¹)	83 ± 3	118 ± 28	100 ± 5	96,2 ± 0,9	18	35,9	18	36	75	12	32	
Zn (mg.Kg ⁻¹)	115 ± 8	141 ± 22	113 ± 41	109 ± 4	123	315	123	315	820	8	40	

N.D. = Não detectado; * Valores não definidos pela legislação.

■ Valores acima do SEL (CCME). ■ Valores acima do nível 1 (CONAMA 454/2012), acima do TEL (CCME) e acima do nível 1 (*background*)

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

⁸⁴ BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA, resolução n° 454. **Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.** Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>, acesso em 30/04/2018.

⁸⁵ CANADÁ. CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Environmental. **Quality Guidelines. Summary tables.** Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/e1_06.pdf>. Atualizado em dezembro de 2003. Acesso em: 26/10/2018.

⁸⁶ BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Superintendência Regional de Belo Horizonte. **Projeto (APA SUL RMBH), Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Estudos do Meio Físico** Volume 7 : Geoquímica ambiental, mapas geoquímicos escala 1:225.000. Fernanda G. da Cunha, Gilberto J. Machado. Belo Horizonte: SEMAD/CRPM, 2005. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/10218/rel_apa_sulrmbhv7.pdf?sequence=29>, acesso em: 26/10/2018.

De acordo com os valores apresentados, vê-se que o Cádmiio (Cd) somente foi detectado e quantificado na amostra 1 (1,5 mg.Kg⁻¹). Nas demais amostras apresentou valores abaixo do limite de quantificação da técnica, ou seja, apenas com técnicas mais sensíveis será possível medir o Cd, mas por estar abaixo dos limites da legislação não fará muita diferença. Porém, na amostra 1 foi encontrado Cd acima do nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 e também acima do nível internacional TEL. Para os valores de *background* regional não foi possível inferir resultados, pois não há referência de limites para este elemento. Como o Cd só foi identificado em um dos pontos, e que este ponto de coleta se encontra próximo à cachoeira principal, pode ter havido uma contaminação pontual nesta área, talvez algum descarte de resíduo eletrônico por algum dos frequentadores do local.

Chumbo (Pb) e Cobre (Cu) em todas as amostras foram detectados em valores acima do nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 (35 mg.Kg⁻¹ para Pb e 35,7 mg.Kg⁻¹ para Cu) e também acima do nível TEL (35 mg.Kg⁻¹ para Pb e 35,7 mg.Kg⁻¹ para Cu) e dos valores de *background* regional estabelecidos (3 mg.Kg⁻¹ e 17 mg.Kg⁻¹ para Pb e 5 mg.Kg⁻¹ e 40 mg.Kg⁻¹ para Cu). Como os valores observados estão abaixo do nível 2 do CONAMA / PEL (91,3 mg.Kg⁻¹ para Pb e 197 mg.Kg⁻¹ para Cu), eles indicam menores probabilidades de efeitos adversos à biota, mas o Pb mesmo em baixas concentrações já pode ser potencialmente tóxico aos seres humanos, pois não possui funções dentro do organismo, podendo causar graves doenças dependendo da quantidade acumulada.⁸⁷ Além disso, sabe-se que o teor de chumbo no solo possui grande influência das atividades antrópicas e do transporte do metal através do ar, oriundo de várias fontes como resíduos industriais e efluentes industriais e também pelo fato de o parque estar localizado em um núcleo urbano do município de Nova Lima e isso pode ser um possível indicador de poluição.⁸⁸ Em um estudo realizado por Coimbra⁸⁹

⁸⁷ CASTRO, S. V. - *Efeitos de metais pesados presentes na água sobre a estrutura das comunidades bentônicas do alto rio das velhas-MG* – 110p. Dissertação (mestrado) -. Universidade Federal de Minas Gerais - CEPRENG – Centro de Estudos e Previsão de Tempo e Clima de Minas Gerais– UNIFEI. – Itajubá. P. 26-32. 2006.

⁸⁸ SOARES, R.; SANTOS, M. C. B.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, W. T. V.; BERTOLINO, L. C.; CAMPOS, D. V. B. de; FREIRE, A. S.; SANTELLI, R. E. Avaliação do risco ambiental e comportamento geoquímico de metais em área impactada por resíduos industriais em Queimados (RJ). *Revista Virtual de Química*, Niterói, v. 9, n. 5, p. 2151-2176, set./out. 2017. Disponível em: <http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v9n5a25.pdf>, acesso em: 30/10/2018.

⁸⁹ COIMBRA, C.D.; CARVALHO, G.; PHILIPPINI, H.; SILVA, M.F.M. & NEIVA, E. *et al.* Determinação da concentração de metais traço em sedimentos do estuário do rio Maracaípe – PE/BRASIL. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 19(2). 2015.

algumas atividades que possuem potencial para liberação do chumbo são produtos químicos e despejo de efluentes domésticos e industriais. Além disso, no interior do parque é visível o lançamento de esgoto em uma parte do córrego que pode ser uma fonte de grande contribuição para o incremento de Chumbo e Cobre nos sedimentos.⁹⁰ Outra possível justificativa para a presença do Cu é a localização do parque próxima de uma mineradora e também pela presença de resíduos urbanos e industriais queimados e uso de pesticidas.

O Cromo (Cr) e o Níquel (Ni) ultrapassaram os limites estabelecidos pelas três referências de qualidade usadas neste trabalho, estando até mesmo acima do nível mais grave SEL (110 mg.Kg⁻¹ para Cr e 75 mg.Kg⁻¹ para Ni), segundo o guia canadense . Ou seja, em todos os pontos de coleta existem efeitos severos, indicando uma chance de poluição, com possíveis consequências para a biota. Esses dois elementos são essenciais ao organismo, mas em concentrações excessivas, como ocorre nesse caso, podem ser tóxicos por serem bioacumulativos e poderem biomagnificar ao longo da cadeia alimentar, podendo atingir também à população. Essas altas concentrações são inesperadas, visto que é uma área de preservação. Por isso, uma hipótese é de que o Cr pode ser encontrado naturalmente nas rochas, chegando ao sedimento através da intemperização do solo. São possíveis fontes antrópicas as indústrias, fertilizantes e deposições de resíduos urbanos e industriais, além de atividades de mineração que ocorrem perto do parque ou outras atividades industriais da região e os despejos de esgotos direto no córrego.

Como já citado anteriormente, o Cr é encontrado nos estados de oxidação trivalente e hexavalente, sendo que o trivalente é essencial enquanto que o hexavalente é tóxico. Porém, nas condições ambientais, pelo fato do cromato e dicromato serem oxidantes fortes, normalmente são reduzidos muito rapidamente no meio ambiente para Cr⁺³ devido à presença de matéria orgânica, ou seja, o Cromo pode ser liberado para o ambiente em sua forma mais tóxica, mas a conversão para a forma reduzida leva à redução da toxicidade também.⁹¹

⁹⁰ CASTRO, S. V. - **Efeitos de metais pesados presentes na água sobre a estrutura das comunidades bentônicas do alto rio das velhas-MG** – 110p. Dissertação (mestrado) -. Universidade Federal de Minas Gerais - CEPRENG – Centro de Estudos e Previsão de Tempo e Clima de Minas Gerais– UNIFEI. – Itajubá. P. 26-32. 2006.

⁹¹ SILVA, L. A. **Avaliação da biodisponibilidade de metais em amostras de sedimentos do Rio Uberabinha** (Uberlândia - Minas Gerais). Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Monica, Programa de Pós-Graduação em Química, Uberlândia-MG. Dissertação de Mestrado, 75p. 2009.

Leite ⁹² também realizou seu trabalho no sedimento do Córrego dos Carrapatos e constatou Cromo acima dos limites preconizados pelas legislações em todos os pontos estudados resultando em grande potencial de contaminação e efeitos tóxicos à biota. Os autores também obtiveram, assim como neste estudo, resultados de pH em todas as amostras próximos à neutralidade.

As amostras 3 e 4 foram as que apresentaram as maiores concentrações de Cr no sedimento, 194 mg.Kg⁻¹ e 193 mg.Kg⁻¹ respectivamente, condizendo com os maiores teores de matéria orgânica (6,07% na amostra 3 e 6,36% na amostra 4) e de ferro (34,% para a amostra 3 e 29,9% para a amostra 4), além da granulometria visualmente mais fina predominante nessas mesmas amostras. Isso propõe a formação de complexos e, conseqüentemente, uma maior adsorção aos sedimentos, uma vez que quanto mais fina a granulometria analisada e maior teor de matéria orgânica, maior é a superfície específica e maior é a afinidade entre os metais e os coloides do solo, favorecendo a capacidade de retenção dos elementos no sedimento. Tendo em vista também que os valores de pH nessas amostras são próximos à neutralidade, faz com que essa interação seja possível de ocorrer.

Para Ni, as maiores concentrações foram observadas na amostra 2 (118 mg.Kg⁻¹) com pH levemente alcalino e na amostra 3 (100 mg.Kg⁻¹) com pH próximo da neutralidade. Sabe-se também que há alta afinidade dos elementos Cr e Ni pelos óxidos e hidróxidos de ferro, podendo ocorrer uma adsorção específica (devido a ligações covalentes com minerais pela presença de cargas permanentes) com estes compostos, o que também contribui para uma imobilização mais efetiva desses dois elementos no sedimento.

Ferro (Fe) e Manganês (Mn) não possuem valores de referência definidos pelas legislações, mas são importantes para análise da disponibilidade no que concerne a avaliar a diferença de comportamento para metais e metaloides distintos. A presença desses elementos se deve principalmente ao fato do Parque estar dentro do Quadrilátero Ferrífero, ou seja, segundo o CRPM PROJETO APA SUL⁹³, a geologia do local já é caracterizada pela presença

⁹² LEITE, T. M. S *et al.* Caracterização de sedimentos de corrente influenciados pelas águas do Parque Ecológico Municipal Rego dos Carrapatos em Nova Lima – MG. **Revista de ciências exatas**, v. 8, n. 8, p. 71-83, 2013.

⁹³ BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Superintendência Regional de Belo Horizonte. **Projeto (APA SUL RMBH), Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Estudos do Meio Físico Volume 2 : mineração, escala 1:50.000, Antônio Carlos Girodo.**- Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao->

de teores normalmente elevados desses elementos. Outro motivo pode ser o fato de ser uma região que possui diversas interferências antrópicas, possuindo também como uma das principais atividades as minerações de ferro, em que a extração e o beneficiamento do minério de ferro podem resultar no carreamento de sedimentos mais finos para o córrego, por exemplo, com a liberação de material particulado contendo metais para a atmosfera e transportados pelos ventos, aumentando assim as concentrações desses elementos nos cursos d'água.

Para o Zinco (Zn) foram registrados valores abaixo do nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 e do nível internacional canadense TEL, que correspondem a valores menores que 123 mg.Kg^{-1} , exceto para a amostra 2, na qual o resultado de 141 mg.Kg^{-1} ultrapassou esses limites do nível 1 e TEL. Além disso, em todas as amostras obteve-se valores maiores do que os limites de *background* regional estabelecidos de 8 mg.Kg^{-1} para o nível 1 e 40 mg.Kg^{-1} para o nível 2, e sua presença pode estar relacionada aos resíduos urbanos, como foi observado no ponto 2 da cachoeira principal.

Muitos íons metálicos são adsorvidos e co-precipitados com óxidos hidratados de ferro e manganês tanto em sedimentos quanto nos solos. Por exemplo, o óxido de ferro co-precipita com manganês, níquel, cobre e zinco, enquanto o óxido de manganês co-precipita com ferro, níquel, zinco e chumbo.⁹⁴

Nos óxidos de Fe e Mn os metais podem ficar retidos nos sítios negativos presentes nas estruturas cristalinas, formando complexos de esfera interna.⁹⁵ Além disso, a matéria orgânica também participa ativamente na imobilização dos elementos traço pela presença, principalmente, dos grupamentos carboxílicos e fenólicos. Esses grupamentos se distribuem de forma diferenciada nos compostos humificados do solo, representados por ácidos fúlvicos e ácidos húmicos.⁹⁶

No solo, a matéria orgânica, as argilas e os óxidos e hidróxidos de ferro possuem cargas elétricas. A matéria orgânica e as argilas dão origem à cargas negativas, enquanto que

Territorial/Geodiversidade/Projeto-APA-SUL-RMBH---Estudos-do-Meio-Fisico-1471.html>, acesso em: 26/10/2018.

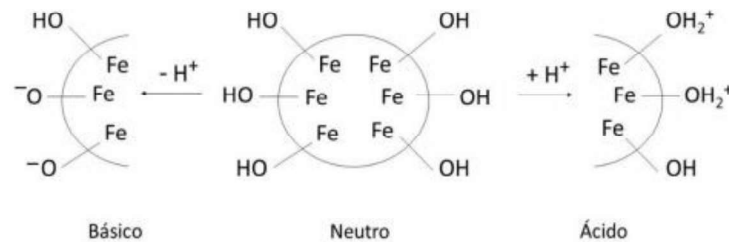
⁹⁴ ALLOWAY, B, J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley e Sons, 339 p, 1990.

⁹⁵ SPOSITO, G. **Dhechemistry of soils**. 2ed. USA: Oxford University Press. 2008.

⁹⁶ STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: John Wiley, 1994. 496 p.

os óxidos e hidróxidos geram cargas negativas e positivas dependendo do pH do solo como mostrado na Figura 10.⁹⁷

Figura 10 - Reação ácido-base na superfície dos óxidos de ferro.



Fonte: Butcher, 1989.

5.5 Extração Parcial

Foi avaliada a disponibilidade ambiental dos metais empregando-se uma extração parcial em condições mais brandas usando ácido clorídrico (HCl) 1,0 mol L⁻¹, cujos resultados estão apresentados na Tabela 5, a porcentagem da fração disponível também foi calculada e é apresentada na Tabela 6.

⁹⁷ BUCHTER, B. *et al.* Correlation of Freundlich K_d and n retention parameters with soils and elements. **Soil Science**, New Brunswick, v. 148, n. 5, p. 370-379, 1989.

Tabela 5 - Resultados da concentração dos metais disponíveis e valores das legislações.

Metais: Concentração	Amostras com HCl				Resolução CONAMA 454/2012 ⁹⁸		Valores Guia de Qualidade do Sedimento – CCME (2003) ⁹⁹		
	1	2	3	4	Nível 1	Nível 2	TEL	PEL	SEL
Cd (mg.Kg⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,6	3,5	0,6	3,5	10
Pb (mg.Kg⁻¹)	9 ± 2	7 ± 1	18 ± 1	19,51 ± 0,04	35	91,3	35	91,3	250
Cu (mg.Kg⁻¹)	5,0 ± 1,1	4,3 ± 1,4	19,4 ± 0,1	21,7 ± 1,3	35,7	197	35,7	197	110
Cr (mg.Kg⁻¹)	7 ± 4	2 ± 1	50 ± 4	41 ± 2	37,3	90	37,3	90	110
Fe (%)	0,25 ± 0,02	0,17 ± 0,01	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,2	*	*	*	*	*
Mn (mg.Kg⁻¹)	302 ± 49	263 ± 49	1089 ± 12	719 ± 17	*	*	*	*	*
Ni (mg.Kg⁻¹)	2,36 ± 0,84	2,36 ± 0,86	15,13 ± 0,32	13 ± 2	18	35,9	18	36	75
Zn (mg.Kg⁻¹)	9 ± 1	10,3 ± 1,2	44 ± 2	38 ± 3	123	315	123	315	820

N.D. = Não detectado; * Valores não definidos pela legislação.

■ Valores acima do nível 1 (CONAMA 454/2012), acima do TEL (CCME) ■ Maior valor de disponibilidade

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

⁹⁸ BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA, resolução nº 454. **Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.** Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>, acesso em 30/04/2018.

⁹⁹ CANADÁ. CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Environmental. **Quality Guidelines. Summary tables.** Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/e1_06.pdf>. Atualizado em dezembro de 2003. Acesso em: 26/10/2018.

Tabela 6 - Porcentagem da disponibilidade dos metais nas amostras de sedimento.

Metais	% de disponibilidade dos metais			
	Amostras			
	1	2	3	4
Cd	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Pb	14,06	10,29	34,62	36,81
Cu	8,77	5,38	26,58	27,64
Cr	6,31	1,67	25,77	21,24
Fe	1,89	1,47	5,52	6,35
Mn	23,30	27,63	66,77	22,22
Ni	2,84	2,00	15,13	13,51
Zn	7,83	7,30	38,94	34,86

N.D. = Não detectado ■ Maior valor de disponibilidade.

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

A avaliação da disponibilidade ambiental é importante, pois é ela que vai indicar os riscos de alteração ou não da qualidade da água por meio dos elementos que estarão disponíveis facilmente em caso de variação sutil de pH, a chamada fração trocável. A fração trocável é caracterizada pelos elementos que interagem com o sedimento por adsorção não-específica, ou seja, apenas por interação eletrostática provenientes de cargas variáveis (dependentes do pH). Essa disponibilidade para a coluna d'água é simulada por um tratamento bem mais suave por envolver menor tempo, apenas agitação e uma solução ácida diluída. Deste modo, esse estudo tem o intuito de simular uma condição de exposição real no meio aquático a variações de pH como se faz na primeira etapa de um procedimento de extração sequencial BCR ou similar, com a finalidade de avaliar o quanto do metal se encontra na forma trocável e compreender que o elemento que está ligado de forma mais fraca por interação eletrostática é o que pode ser de fato liberado para a coluna d'água havendo uma mudança de pH no meio e é isso que caracteriza o risco.

Sendo assim, a partir dos resultados dispostos, observou-se a seguinte ordem decrescente de disponibilidade $Mn > Zn$ e $Pb > Cu > Cr > Ni > Fe > Cd$ nas amostras estudadas.

Não foi detectado Cd na extração parcial nas amostras de sedimento do Córrego dos Carrapatos. Com base em referências da literatura, geralmente uma fração significativa do Cd é encontrada na forma trocável em solos e sedimentos.¹⁰⁰

¹⁰⁰ ALLOWAY, B, J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley e Sons, 339 p, 1990.

A concentração total de Pb no sedimento está acima da legislação em todas as amostras, mas analisando a disponibilidade, que é a concentração que seria disponível de fato para a coluna d'água, os valores estão bem abaixo dos limites preconizados pela legislação para o sedimento que correspondem a 35 mg.Kg⁻¹ para o nível 1 da CONAMA 454/2012 e 91,3 para o nível TEL da legislação canadense. Portanto, o Pb não oferece probabilidade de gerar riscos para o corpo d'água e comunidade aquática nas amostras, pois a interação deste metal com o sedimento é mais forte, podendo ser pela complexação com a matéria orgânica, ou por um processo de adsorção específica com os óxidos de Fe e, então, a chance desse elemento ir para a coluna d'água e causar alguma alteração é pequena. Esse resultado era esperado, uma vez que esse elemento possui como características a baixa mobilidade e baixa disponibilidade devido à sua alta afinidade com os óxidos presentes no sedimento como os de Ferro e os de Manganês e com a matéria orgânica.¹⁰¹

O Cobre na extração parcial apresentou em todas as amostras valores inferiores aos limites do nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 e do nível internacional canadense que são iguais a 35,7 mg.Kg⁻¹. Sendo assim, concorda com a alta afinidade desse metal com o sedimento, geralmente associado a oxi-hidróxidos de Fe e Mn e complexado com a matéria orgânica¹⁰², e não caracteriza risco para o córrego. Entretanto, é importante evidenciar que próximo aos pontos de coleta existem residências onde seus moradores despejam seus efluentes no córrego e em um futuro pode ser que esses valores se alterem.

O Cr apresentou na amostra 3 o valor de 50 mg.Kg⁻¹ e na amostra 4 o valor de 41 mg.Kg⁻¹ que foram superiores ao nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 e do nível internacional canadense TEL de 37,3 mg.Kg⁻¹. Isso indica uma disponibilidade que pode acarretar em riscos para a qualidade da água, visto que elevadas concentrações desse metal na água causam efeitos adversos para o meio ambiente como um todo. Embora essas amostras possuam granulometria visualmente mais fina e teores elevados de Fe e Mn, que são fatores que aumentam a retenção, observou-se uma disponibilidade elevada para Cr. Esta observação

¹⁰¹ SOARES, R.; SANTOS, M. C. B.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, W. T. V.; BERTOLINO, L. C.; CAMPOS, D. V. B. de; FREIRE, A. S.; SANTELLI, R. E. Avaliação do risco ambiental e comportamento geoquímico de metais em área impactada por resíduos industriais em Queimados (RJ). **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 9, n. 5, p. 2151-2176, set./out. 2017. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v9n5a25.pdf>, acesso em: 30/10/2018

¹⁰² MARTINS *et al.* A dinâmica de metais-traço no solo. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.17, n.3-4, p.383-391, jul-set, 2011.

não era esperada, visto que dados da literatura mostram que Cr apresenta baixa mobilidade e alta afinidade pelos oxi-hidróxidos de Fe e Mn.¹⁰³

Não existem valores preconizados pela Resolução CONAMA 454/2012 e pelos Valores Guia de Qualidade do Sedimento para Fe e Mn. Pela análise da porcentagem de disponibilidade, percebe-se que a amostra 3 em relação ao Mn possui um alto valor que corresponde a 66%, caracterizando uma adsorção não específica, ou seja, só eletrostática. Esses maiores valores de concentração disponível para Fe e Mn que deram nos pontos 3 e 4, podem ser devido aos valores de pH que foram próximos à neutralidade correspondendo a 7,12 para a amostra 3 e 6,99 para a amostra 4, e um pouco menor nessas amostras do que nas outras, havendo assim a liberação um pouco maior de metais para a água e menor retenção se comparado com as amostras 1 e 2 que por terem valores de pH um pouco mais elevadas, sendo 8,42 para a amostra 1 e 8,18 para a amostra 2, tendem a precipitar os metais e por isso não ficam tão disponíveis. Entretanto, as amostras 3 e 4 possuem granulometrias visualmente mais finas o que favorece a retenção dos elementos, assim como, o pH próximo à neutralidade que também contribui para a adsorção. Porém, é necessário melhor caracterização do sedimento para que se possa encontrar justificativas mais precisas em relação aos resultados de fração disponível desses elementos. A presença de ferro e manganês no meio aquático normalmente já é um fator positivo para que ocorra a adsorção de outros metais nos óxidos e hidróxidos presentes no sedimento por adsorção específica devido à existência de cargas superficiais permanentes, sendo que essa retenção é favorecida pelos valores de pH próximos à neutralidade (pH=7).^{104 105}

Com relação ao Ni, as amostras 3 (15,13 mg.Kg⁻¹) e 4 (13 mg.Kg⁻¹) encontram-se próximas aos níveis da Resolução CONAMA 454/2012 e dos níveis do CCME iguais a 18 mg.Kg⁻¹ e isso pode ser explicado, pois esse elemento possui maior afinidade por óxidos de

¹⁰³ REZENDE, P. S. **Avaliação da distribuição e mobilidade de elementos traço em sedimentos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. Belo Horizonte, 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Química Analítica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

¹⁰⁴ ATLAS DE NOVA LIMA. **Atlas Histórico, Geográfico e Ambiental de Nova Lima / MG.MP Comunicação: 2005**. Disponível em:
<<http://www.marcelopinheiro.com/site/atlasmunicipal.html>>, Acesso em: 26/10/2018

¹⁰⁵ Alloway, B, J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley e Sons, 339 p,1990.

Fe e Mn na forma de adsorção específica, ele terá, portanto, menor mobilidade, então seus efeitos adversos para a biota e para a população serão menores.¹⁰⁶

Todas as amostras de Zn estão com valores bem abaixo de 123 mg.Kg^{-1} que corresponde aos limites preconizados pelo nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 e pelo nível TEL internacional canadenses. O Zn tem característica de possuir uma disponibilidade ambiental alta¹⁰⁷, porém como mostrado pelos resultados encontrados pode-se perceber que houve uma disponibilidade ambiental baixa e isso pode ser devido à adsorção específica desse elemento aos óxidos de Ferro e Manganês que são importantes no processo de imobilização de alguns metais no sedimento e à complexação com a matéria orgânica, dificultando a liberação deles para a coluna d'água se comparado com as interações eletrostáticas que são adsorções não-específicas, ou seja, mais fracas e que facilitam o desprendimento do metal com o sedimento.

Em relação à concentração total dos metais no sedimento, o ponto mais crítico foi o ponto 2, pois foi o ponto que obteve maior número de violação dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/2012 e pelo CCME dado pelos elementos Pb (68 mg.Kg^{-1}), Cu (80 mg.Kg^{-1}), Ni (118 mg.Kg^{-1}) e Zn (141 mg.Kg^{-1}). Isso provavelmente pode ser justificado, pois o ponto 2 é onde se localiza a cachoeira principal que é o ponto de parada final dos visitantes depois de fazerem a trilha, ou seja, é o ponto de maior movimento dos frequentadores, pois é onde alguns se refrescam e é onde se encontra o lixo proveniente dos lanches que eles levam, sendo que a disposição inadequada de resíduos urbanos é considerada fonte de alguns metais.

Os pontos 3 e 4 foram os que apresentaram maior concentração total de Ferro ($34,4 \text{ mg.Kg}^{-1}$ na amostra 3 e $29,9 \text{ mg.Kg}^{-1}$ na amostra 4) e Manganês (1631 mg.Kg^{-1} na amostra 3 e 3236 mg.Kg^{-1} na amostra 4), que são elementos que aumentam a retenção de outros metais no sedimento por adsorção e co-precipitação, além de também apresentarem granulometria mais fina, que aumenta a superfície específica do sedimento contribuindo para um aumento de

¹⁰⁶ REZENDE, P. S. **Avaliação da distribuição e mobilidade de elementos traço em sedimentos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. Belo Horizonte, 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Química Analítica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

¹⁰⁷ SOARES, R.; SANTOS, M. C. B.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, W. T. V.; BERTOLINO, L. C.; CAMPOS, D. V. B. de; FREIRE, A. S.; SANTELLI, R. E. Avaliação do risco ambiental e comportamento geoquímico de metais em área impactada por resíduos industriais em Queimados (RJ). **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 9, n. 5, p. 2151-2176, set./out. 2017. Disponível em: <http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v9n5a25.pdf>. acesso em: 30/10/2018.

cargas superficiais variáveis e os maiores conteúdos de matéria orgânica, importante variável na imobilização dos elementos por formação de complexos. No entanto, esses pontos possuíram valores mais altos de disponibilidade (1,9 mg.Kg⁻¹ de Fe nas amostras 3 e 4 e 1089 mg.Kg⁻¹ de Mn na amostra 3 e 719 mg.Kg⁻¹ de Mn na amostra 4) do que os pontos 1 (0,25 mg.Kg⁻¹ de Fe e 302 mg.Kg⁻¹ de Mn) e 2 (0,17 mg.Kg⁻¹ de Fe e 263 mg.Kg⁻¹ de Mn), o que pode ter relação com o menor valor de pH ou também pela probabilidade do sedimento já estar saturado por possuir alguns elementos em concentrações que ultrapassam o nível SEL. Essa disponibilidade para a maioria dos metais foi abaixo do nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 e do nível TEL, ou seja, pode-se inferir que mesmo os sedimentos sendo classificados como contaminados pelos metais, possuem baixa probabilidade de efeitos adversos ao meio ambiente e à saúde da população.

Deve-se ter bastante atenção em relação ao Cromo que foi o elemento mais crítico desse estudo, pois além de sua concentração total no sedimento ultrapassar o SEL (110 mg.Kg⁻¹), que é considerado o maior nível dos Valores Guia da Qualidade dos Sedimentos de acordo com o CCME, pode causar efeitos severos aos seres humanos como danos aos rins, fígado, pulmões, hemorragias internas e até câncer, tendo em vista que possui uma fração disponível de 50 mg.Kg⁻¹ no ponto 3 e 41 mg.Kg⁻¹ no ponto 2 que ultrapassa também o nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 e o nível TEL da legislação canadense que são de 37,3 mg.Kg⁻¹, que se refere aos efeitos limiares, ou seja, que é a concentração abaixo da qual não se espera efeitos adversos. Outro elemento que deve-se ressaltar é o Níquel, pois sua concentração total no sedimento também ultrapassa o nível SEL (75 mg.Kg⁻¹) dos Valores Guia da Qualidade dos Sedimentos de acordo com o CCME e mesmo sua porcentagem de disponibilidade sendo baixa, sua fração disponível quase atinge 18 mg.Kg⁻¹ que é o nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 e o nível TEL da legislação canadense. Então, mesmo tendo seus efeitos ao meio ambiente e aos seres humanos menos prováveis, é necessário fazer um monitoramento desse elemento para verificar essa disponibilidade, devido à sua concentração total no sedimento que é bem elevada.

O Manganês foi o elemento com maior porcentagem disponível (66%), no ponto 3, que corresponde ao ponto com pH de 7,12 que é próximo à neutralidade, mas abaixo do ponto 1 com pH de 8,42 e do ponto 2 com pH de 8,18. Isso pode ser um fator que possibilite maior liberação de metais do que retenção, pois quanto maior concentração disponibilizada do metal na extração parcial, maior é a probabilidade do elemento retornar para a coluna d'água, uma

vez que sua interação é mais fraca, significando assim uma interação eletrostática que caracteriza também uma adsorção não específica.

O pH é um parâmetro essencial para a análise da mobilidade dos elementos, pois influencia a disponibilidade dos metais para o córrego. Em todas as amostras, o pH não esteve muito discrepante, ficando bem próximo à neutralidade (pH=7), tendo em vista que meios com pH mais altos possuem maior capacidade de reter metais, pois há tendência desses metais precipitarem, enquanto que os meios com pH mais baixos tem a capacidade de liberar mais facilmente esses elementos para a água. Vale ressaltar que, além do pH, devem também ser avaliados os teores de matéria orgânica, granulometria e concentração total de Fe e Mn, pois o conhecimento destes parâmetros ajuda a entender melhor as interações de metais com a matriz solo/sedimento no que se refere à mobilidade dos elementos para a solução do solo ou para a coluna d'água, no caso dos sedimentos. O conhecimento do teor total de um metal no solo ou sedimento é uma informação que deve ser comparada com os valores de referência de qualidade definidos por legislação e valores de *background* regionais. No entanto, destaca-se a importância da interpretação da concentração total de um metal em conjunto com a avaliação da disponibilidade ambiental, para que se possa estimar efetivamente os riscos de mobilização do mesmo.

O Parque Municipal Rego dos Carrapatos se localiza em uma área urbana de Nova Lima/MG, próximo também há atividades de mineração e está inserido no Quadrilátero Ferrífero. Estes fatores podem explicar as concentrações observadas para os elementos estudados e ajudar a elucidar possíveis fontes desses elementos para esta área. Porém, a concentração total dos metais não deve ser analisada sozinha tendo em vista que, dependendo da fração disponível do metal para a coluna d'água ele pode se tornar um risco com potencial de toxicidade ou não. Essa disponibilidade dos metais não é apenas para indicar a toxicidade, mas pode indicar dependendo das condições existentes no meio como as ecológicas e fisiológicas que podem alterar e extensão de exposição dos organismos aos metais estudados.

108

¹⁰⁸ LEE B.G., LEE J.S., LUOMA S. N., CHOI H. J. & KOH C.H. *et al.* Influence of acid volatile sulfide and metal concentrations on metal bioavailability to marine invertebrates in contaminated sediments. **Environmental Science & Technology**, 34:4517-4523. 2000.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram determinados os elementos Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn em amostras de sedimento do Córrego dos Carrapatos na área do Parque Natural Municipal Rego dos Carrapatos no município de Nova Lima – MG. Os dados obtidos foram comparados com os valores de referência de qualidade conforme os Valores Guia de Qualidade do Sedimento do CCME, Resolução CONAMA 454/2012 e valores de *background* regional.

A quantificação de metais em amostras de sedimento é importante para a análise da qualidade do corpo d'água, visto que a presença dos metais em sedimento é bastante comum e eles são utilizados como indicadores de contaminação ambiental, pois quando os metais estão presentes em quantidades expressivas podem causar vários problemas à saúde humana e à biota. No entanto, é importante destacar que a toxicidade dos metais depende das suas concentrações e também das interações com o substrato mineralógico e orgânico.

Os equilíbrios envolvidos entre as espécies químicas, presentes na água, com o sedimento serão responsáveis por proporcionar os possíveis riscos de contaminação dos metais aos organismos e população, sendo necessário incentivar estudos referentes aos danos provocados aos entes receptores da referida carga poluidora. Desta forma, determinar a concentração total dos elementos neste compartimento e a disponibilidade dos mesmos, são importantes ferramentas para a gestão das águas na avaliação e monitoramento da qualidade da água, bem como em estudos geoquímicos. Por isso, é importante que se faça o monitoramento da presença e concentração dos elementos e também dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do sedimento, para que atendam as legislações em vigor e seja possível tomar medidas preventivas ao danos causados ao ecossistema e à saúde da população.

Os elementos Cr, Cu, Ni e Pb apresentaram concentrações pseudo-totais superiores ao limite de nível 1 estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012 (e também ao nível TEL do CCME), sendo que Cr e Ni extrapolaram também o nível 2, estando acima até do nível SEL do CCME de 110 mg.Kg⁻¹ para Cr e 75 mg.Kg⁻¹ para Ni. Cd foi encontrado com valor de 1,5 mg.Kg⁻¹ no ponto 1, estando acima de 0,6 mg.Kg⁻¹ que é o limite do nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012 e TEL do CCME enquanto que nos outros pontos seria necessário o uso de técnicas mais sensíveis para a quantificação, e Zn foi encontrado no ponto 2 com valor de 141 mg.Kg⁻¹, que é acima do nível 1 e TEL (123 mg.Kg⁻¹). Todos os elementos estudados neste trabalho foram observados em valores acima do *background* regional. Neste contexto, a caracterização físico-química dos sedimentos, é importante para conhecer melhor sobre os

processos de mobilização/imobilização destes elementos nos sedimentos da área de estudo que serve para avaliar os riscos tanto para o ecossistema quanto para os seres humanos.

As amostras de sedimento dos pontos 1 e 2 apresentam visualmente granulometria mais grossa, do tipo arenosas enquanto que as amostras dos pontos 3 e 4 apresentam textura mais fina visualmente. Devido aos valores negativos de ΔpH , as amostras de sedimento recolhidas nos quatro pontos, possuem capacidade de adsorver metais e isso influencia na questão ambiental em relação à transferência desses metais para a água, pois elementos com maior disponibilidade possuem maior tendência de retornarem para a coluna d'água, pelo fato de possuírem ligações mais fracas. Destaca-se também o papel da matéria orgânica nos sedimentos no processo de retenção de metais por complexação. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica em sedimentos e solos, maior será a contribuição no processo de imobilização devido à formação de complexos metálicos e também ao aumento das cargas variáveis no meio que ocorrem com as mudanças de pH que são importantes para a análise da mobilidade dos elementos podendo ter potencial para caracterizar efeitos adversos.

A extração parcial com HCl 1,0 mol L⁻¹ e 1h de agitação apresentou os maiores percentuais de extração para Mn, Pb e Zn. De acordo com os resultados obtidos, podemos citar a seguinte ordem decrescente de disponibilidade: Mn > Zn e Pb > Cu > Cr > Ni > Fe > Cd nas amostras estudadas. Esta avaliação é importante para que se conheça a fração com maior mobilidade, e, portanto, maior probabilidade de retornar à coluna d'água devido a variações ambientais mais sutis, como variações de pH da água.

Pelo fato de ser uma área de preservação, alguns elementos quantificados no sedimento como Cd, Pb, Cu, Fe, Mn e Zn apresentaram baixas probabilidades de causarem efeitos adversos, mas pela localização da área de estudo dentro de um centro urbano, a presença de metais no sedimento já era esperada tanto por fatores naturais quanto por fatores antrópicos. Sendo assim, a geologia do local, as atividades mineradoras e industriais que se localizam próximas ao Parque Natural Municipal Rego dos Carrapatos, os despejos de resíduos urbanos e os lançamentos de esgotos domésticos diretamente no córrego provavelmente são as principais fontes contribuintes de metais para o sedimento deste corpo d'água.

7. PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS

Entender a dinâmica e a disponibilidade dos elementos traço, bem como suas concentrações nos ecossistemas naturais, têm sido um desafio para muitos estudos envolvendo as questões ambientais, principalmente diante da constatação de que os impactos das atividades humanas sobre esses sistemas têm se intensificado nos últimos anos. Dessa forma, é interessante incrementar os estudos levando em consideração as características da biota para cada um dos elementos estudados e assim ser possível verificar melhor as intervenções causadas como também os efeitos gerados nela, juntamente com a avaliação da biodisponibilidade dos elementos traço. Além disso, a análise de granulometria também é importante de ser realizada para melhor compreensão das interações causadas entre os elementos traço e o sedimento que vão influenciar na quantidade de fração disponível dos elementos para a coluna d'água.