



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

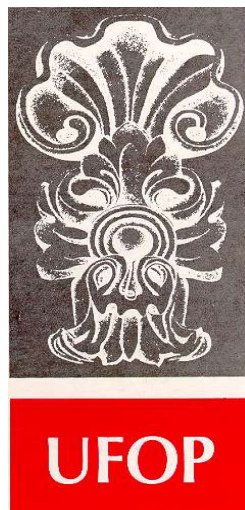
**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DA
BACIA DO RIO GUALAXO DO NORTE**

BRUNO FELIPE CANATTO

MONOGRAFIA Nº 221

Ouro Preto – Maio de 2017

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS
DA BACIA DO RIO GUALAXO DO NORTE**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a. Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação

Prof.^a Dr.^a. Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas

MONOGRAFIA Nº 221

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DA
BACIA DO RIO GUALAXO DO NORTE**

BRUNO FELIPE CANATTO

Orientador

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Monografia do Trabalho Final de Graduação apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do Título de Engenheiro Geólogo e como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC-402, ano 2016/2

OURO PRETO

2017

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>

Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>

Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>

Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita

35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais

Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Os direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Bruno Felipe Canatto

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

C213c Canatto, Bruno Felipe

Caracterização Geoquímica dos Sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte
[manuscrito] / Bruno Felipe Canatto – 2017.

83f.: il.: color; graf.; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Junior.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.
Departamento de Geologia.

1. Geoquímica. 2. Sedimentos (Geologia). 3. *Background*. I. Nalini Junior, Hermínio Arias. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título

CDU: 550.4(815.1)

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Caracterização Geoquímica dos Sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte

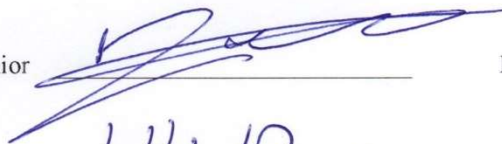
AUTOR: BRUNO FELIPE CANATTO

ORIENTADOR: Prof. Hermínio Arias Nalini Júnior

Aprovada em: 18 de maio de 2017

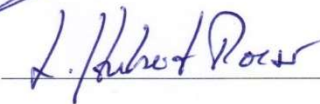
BANCA EXAMINADORA:

Prof. Hermínio Arias Nalini Júnior



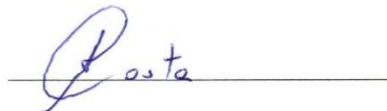
DEGEO/UFOP

Prof. Hubert Mathias Peter Roeser



DEGEO/UFOP

Profa. Adivane T. Costa



DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 18/05/2017

“Só não consegue o objetivo quem sonha em demasiado, só não consegue o objetivo quem pretende dar o passo maior do que a perna, quem acredita que as coisas são fáceis, todas as coisas são difíceis, as coisas tem que ser lutadas. Se você conseguir uma coisa facilmente, desconfie, porque ela não é tão fácil quanto parece. Continue trabalhando, continue apostando na intuição, continue com os pés no chão e não se importe com o que sua esposa fala, com o que seus filhos falam com o que os seus amigos falam, se importe com aquilo que você vive: o dia a dia.”

Silvio Santos

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Hermínio Arias Nalini Júnior pelo oportunidade empregada nesta pesquisa e a orientação em meu trabalho de conclusão de curso, ao LGqA pelas análises em ICP-OES realizadas, aos seus técnicos Adriana e Celso por ajudarem no desenvolvimento das análises.

Agradeço aos meus pais pelo apoio mesmo distantes, ao Ronaldo Soares Eisele, Marciano Macedo, Raul Pires, André Luiz, Luís Andre, Paulo Lima a GEOSOL Geologia e Sondagem S/A e todo seu corpo de funcionários em Parauapebas, Belo Horizonte e Rio Piracicaba pela oportunidade que me foi dada, a Pucca que mesmo pela dificuldade em comunicação soube esperar e me apoiar em todos os momentos e por me ajudar em todos os momentos desse trabalho.

Ao Gustavo Epov e Rayra Abreu pela disponibilidade em me receber em sua casa durante o período em Belo Horizonte. Aos professores Eduardo Bearzoti do Departamento de Estatística (DEEST) e José Aurélio Medeiro da Luz do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN), ambos da UFOP, por me ajudarem nos tratamentos estatísticos de dados durante o desenvolvimento desse projeto. Ao Evandro, Taynara, Renata e Lorena por me ajudarem com a formatação dos textos.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XVII
LISTA DE TABELAS	XIX
RESUMO.....	XXI
ABSTRACT.....	XXIII
CAPÍTULO 1	1
1- INTRODUÇÃO	1
1.1- APRESENTAÇÃO	1
1.2- NATUREZA DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	2
1.3- OBJETIVO	3
1.4- LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	3
1.5- MATERIAIS E MÉTODOS	4
1.5.1- Aquisição de base cartográfica	4
1.5.2- Trabalho de campo.....	5
1.5.3- Trabalhos laboratoriais.....	7
1.5.4- Tratamento de dados	8
1.6- ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	9
1.6.1- Hidrografia	9
1.6.2- Clima.....	9
1.6.3- Geomorfologia	10
CAPÍTULO 2	11
2- GEOLOGIA REGIONAL	11
2.1- CONTEXTO GEOTECTÔNICO	11
2.2- UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	12
2.3- COMPLEXOS METAMÓRFICOS.....	13
2.3.1- Complexo Metamórfico Santa Bárbara.....	13
2.3.2- Complexo metamórfico Acaiaca.....	14

2.3.3- Complexo Metamórfico Mantiqueira	14
2.4- SUPERGRUPO RIOS DAS VELHAS	14
2.4.1- Grupo Nova Lima.....	14
2.4.2- Grupo Maquiné.....	15
2.5- SUPERGRUPO MINAS	15
2.5.1- Grupo Caraça.....	16
2.5.2- Grupo Itabira	16
2.5.3- Grupo Piracicaba	17
2.5.4- Grupo Sabará	17
2.5.5- Grupo Itacolomi.....	18
CAPÍTULO 3.....	19
3- EMBASAMENTO TEÓRICO	19
3.1- AMBIENTES FLUVIAIS	19
3.1.1- Intemperismo e erosão.....	19
3.1.2- Transporte de sedimentos	20
3.1.3- Sistemas deposicionais fluviais	21
3.2- GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS FLUVIAIS	22
3.2.1- Contaminação	22
CAPÍTULO 4.....	25
4- RESULTADOS	25
4.1- ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	25
4.2- CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA	25
4.3- ELEMENTOS MAIORES	26
4.3.1- Ca, K, Mg e Na.....	26
4.3.2- Ferro	27
4.3.3- Alumínio.....	29
4.3.4- Manganês.....	31
4.4- METAIS PESADOS.....	33
4.4.1- Bário	34
4.4.2- Arsênio	35
4.4.3- Cromo	36
4.4.4- Níquel	37

4.4.5- Vanádio	39
4.4.6- Chumbo	39
4.4.7- Cobre	40
4.4.8- Zinco	41
CAPÍTULO 5	43
5- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
5.1- CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXOS.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 -Localização dos municípios de Barra Longa, Belo Horizonte, Mariana e Ouro Preto, junto a rota de chegada até o distrito de Bento Rodrigues e a área da bacia do rio Gualaxo do Norte	4
Figura 1.2 -Drenagens da bacia do Rio Gualaxo do Norte e os pontos de amostragem com distritos e cidades próximos aos pontos.	6
Figura 1.3 -Coleta de material às margens do Rio Gualaxo do Norte, coordenadas 682471,00/7753899,00, com auxílio de uma pá de pedreiro.....	7
Figura 2.1 - Mapa geológico da região da bacia do Rio Gualaxo do Norte na escala 1:250000, modificado de CPRM (1993)	12
Figura 2.2 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero modificada de Alkmin & Marshak (1998) in Rodrigues (2012)	13
Figura 4.1 -Diagrama da variação da concentração de Ca, K, Mg e Na ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	27
Figura 4.2 -Diagrama da variação da concentração de Fe ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	28
Figura 4.3 -Correlação Fe X Mn	28
Figura 4.4 -Correlação Fe X Al.....	29
Figura 4.5 -Correlação Fe X (Ca+Mg).....	29
Figura 4.6 -Diagrama da variação da concentração de Al ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	30
Figura 4.7 -Correlação Al X Na	30
Figura 4.8 -Correlação Al X Mg	31
Figura 4.9 -Correlação Al X Ca	31
Figura 4.10 -Diagrama da variação da concentração de Mn ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	32
Figura 4.11 -Correlação Mn X Cu.....	33
Figura 4.12 -Correlação Mn X Zn.....	33
Figura 4.13 -Diagrama da variação da concentração de Ba ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	34
Figura 4.14 -Correlação Ba X Mn.....	35
Figura 4.15 -Diagrama da variação da concentração de As ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	36

Figura 4.16 -Diagrama da variação da concentração de Cr ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	37
Figura 4.17 -Diagrama da variação da concentração de Ni ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	38
Figura 4.18 -Diagrama da variação da concentração de V ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	39
Figura 4.19 -Diagrama da variação da concentração de Pb ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	40
Figura 4.20 -Diagrama da variação da concentração de Cu ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	41
Figura 4.21 -Diagrama da variação da concentração de Zn ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1- Pontos de amostras e amostras coletadas em cada ponto	5
Tabela 1.2- Abertura das peneiras utilizadas no fracionamento granulométrico conforme Dias (2004)	8
Tabela 3.1- Valores de qualidade de sedimentos do Ontario Ministry of the Environment and Energy. - OMEE para metais modificada de Rodrigues (2012).....	23
Tabela 3.2- Valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 344/2004.....	24
Tabela 3.3- Valores de background estabelecidos por Rodrigues (2012)	24

RESUMO

Na história recente das águas do Gualaxo do Norte está o rompimento da barragem de Fundão, administrada pela mineradora Samarco, que despejou milhões de toneladas de rejeito afetando não só o rio Gualaxo do Norte como também toda a bacia do Rio Doce atingindo os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Na região de estudo afloram os seguintes conjuntos litológicos: Complexo Mantiqueira, Complexo Santa Bárbara, Complexo Acaiaca, Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas. Estudos anteriores ao rompimento da barragem, mostram que os valores de elementos como Fe, Mn, Al, Ca, Na, K, Mg, As, Ba, Cr, Ni, V, Pb, Cu e Zn já eram elevados e que essas concentrações nos sedimentos não estavam relacionadas ao processo de beneficiamento do minério de ferro e sim por condições geoquímicas naturais e antropogênicas somadas a séculos de exploração mineral aurífera sem devidos cuidados preventivos. Uma análise granulométrica feita mostrou que os sedimentos de fração fina, areia muito fina e silte/argila, correspondem a aproximadamente 50% em massa de todo o material analisado, isso é devido a influência do próprio rejeito da barragem de Fundão ser composto por material dessa fração. Após as análises dos elementos maiores: Fe, Mn, Al, Ca, Na, K e Mg, e os metais pesados: Ba, Cr, Ni, V, Pb, Cu e Zn e do semimetal As, foi notável que o único elemento que teve aumento de concentração considerável e acima do *background* geoquímico foi o Fe, oriundo do rejeito dos processos de beneficiamento de minério de ferro de baixo teor feitos pela mineradora o qual era descartado na barragem de Fundão. Prova disso é que as concentrações desse elemento são maiores nos pontos mais próximos a barragem, amostras BR-01, Br-02 e BR-03, em comparação às amostras retiradas em Barra Longa, onde o Gualaxo do Norte deságua no Rio do Carmo. Ao analisar o elemento Zinco foi possível notar que suas concentrações são maiores não apenas em zonas não afetadas pelo acidente mas também em locais com proximidade a trechos urbanos, no caso as amostras BR-01 a 03 concentrações quantidade mais elevada desse elemento devido a estarem situadas no antigo distrito de Bento Rodrigues, isso se deve a associação de zinco a locais despejo de esgoto e a exploração aurífera secular da região. Além disso concentrações anômalas de metais pesados estão em pontos fora da área de influência.

ABSTRACT

In the recent history of the waters of Gualaxo do Norte is the rupture of the Fundão dam, managed by the mining company Samarco, which dumped millions of tonnes of tailings affecting not only the Gualaxo do Norte but also the entire Rio Doce basin reaching the states of Minas Gerais General and Espírito Santo. In the study area the following lithological assemblages emerge: Mantiqueira Complex, Santa Bárbara Complex, Acaiaca Complex, Rio das Velhas Supergroup and Minas Supergroup. However, the values of Fe, Mn, Al, Ca, Na, K, Mg, As, Ba, Cr, Ni, V, Pb, Cu and Zn were already high, In the sediments were not related to the iron ore beneficiation process but to natural and anthropogenic geochemical conditions added to centuries of gold mining without proper preventive care. A granulometric analysis showed that the fine-grained, very fine sand and silt/clay sediments correspond to approximately 50% by mass of all the analyzed material, due to the influence of the Fundão Dam itself being composed of material from this fraction. After the analysis of the major elements: Fe, Mn, Al, Ca, Na, K and Mg, and the heavy metals: Ba, Cr, Ni, V, Pb, Cu and Zn and semimetal As, Which had considerable increase in concentration and above the geochemical background was the Fe, originated from the refuse of the low iron ore beneficiation processes made by the mining company which was discarded in the Fundão dam. Proof of this is that the concentrations of this element are higher at the points closest to the dam, samples BR-01, Br-02 and BR-03, compared to the samples taken at Barra Longa, where Gualaxo do Norte flows into the Carmo River. When analyzing the Zinc element it was possible to notice that its concentrations are higher not only in areas not affected by the accident but also in places with proximity to urban stretches, in the case samples BR-01 to 03 concentrations higher quantity of this element because they are located In the old district of Bento Rodrigues, this is due to the association of zinc with local sewage disposal and the secular gold exploration of the region. In addition anomalous concentrations of heavy metals are at points outside the area of influence.

1-INTRODUÇÃO

1.1-APRESENTAÇÃO

O presente trabalho faz parte da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) presente na grade curricular obrigatório do curso de graduação em Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Foi desenvolvido ao longo de dois semestres letivos entre os anos de 2015 e 2017, com o objetivo de esclarecer alterações no padrão geoquímico dos sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte decorrentes do rompimento da barragem do Fundão, administrada pela mineradora Samarco.

O Estado de Minas Gerais, desde de sua fundação no final do século XVII, tem o desenvolvimento de sua história e economia baseada na mineração. A cidade de Mariana é a primeira vila, cidade e capital do estado, a qual foi fundada por bandeirantes paulistas que ali se instalaram as margens do que hoje é o Ribeirão Nossa Senhora do Carmo (Dias 2015). A princípio a economia do região era baseada na exploração aurífera, sendo uma das principais fornecedoras de ouro para coroa portuguesa. Com o fim do ciclo do ouro e a transferência da capital de Minas Gerais para Ouro Preto em 1823, o município se viu em decadência (Dias 2015).

Segundo Souza Junior (2005), em meados de 1960 tem-se o início da mineração de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero com a instalação das primeiras grandes mineradoras. Em 1965 chega ao município de Mariana a mineradora S. A. Mineração Trindade (Samitri), na década de 70 chega a companhia Vale do Rio Doce, atual Vale, e em 1977 é criada a companhia Samarco Mineradora S/A, fazendo com a que economia da cidade e a população residente aumentasse consideravelmente.

Segundo Rodrigues (2012), apesar da atividade minerária ter sido benéfica ao desenvolvimento socioeconômico e até mesmo da história da cidade de Mariana ela acabou sendo uma das principais fontes de poluição das águas e sedimentos, fruto de interferências antrópicas sem um devido controle, que podem provocar fortes e até irreversíveis impactos ao meio ambiente.

Entre os impactos ambientais que recentemente se destacaram na mídia mundial está o rompimento da barragem de rejeitos de mineração Fundão na tarde de 5 de novembro de 2015.

Fundão era controlada pela mineradora Samarco, fazia parte do complexo de barragens que incluíam além da própria, as barragens de Germano e Santarém.

Com o rompimento foram despejados milhões de toneladas de rejeito no Rio Gualaxo do Norte, alterando os padrões químicos das águas e dos sedimentos. Afetando não só a bacia do Gualaxo do Norte em si mas todo seus efluentes até a foz do Rio Doce no estado do Espírito Santo, além de arrasar totalmente os distritos de Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo, deixando mortos e desabrigados.

O presente trabalho apresenta os resultados obtidos a partir das análises geoquímicas dos sedimentos das margens do Rio Gualaxo do Norte provenientes dos rejeitos despejados pela barragem de Fundão, comparando com dados de *background* geoquímico obtidos anteriormente ao incidente.

Espera-se que os dados sirvam de base para estudos posteriores, levando em consideração a quantidade e os valores acima do *background* geoquímico. E que subsidiem decisões futuras dos órgãos competentes em relação a avaliações ambientais e de recuperação do Rio Gualaxo do Norte.

1.2-NATUREZA DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A exploração mineral está nas raízes do Estado de Minas Gerais, porém, ela representa uma atividade econômica que afeta em muito a qualidade dos sistemas fluviais. A bacia do Rio Gualaxo do Norte foi uma área muito explorada ao longo dos séculos, desde de a chegada dos portugueses para a extração de ouro até a construção de grandes barragens de rejeito da mineração de ferro.

Na história recente das águas do Gualaxo do Norte está o rompimento da barragem de Fundão, administrada pela mineradora Samarco, como já foi dito, despejou milhões de toneladas de rejeito afetando não só o rio como também toda a bacia do Rio Doce, atingindo os estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Uma grande repercussão surgiu na mídia após os acontecimentos do dia 5 de novembro de 2015 onde diziam que a lama da barragem poderia ser tóxica e conter muitos metais pesados. Porém, estudos anteriores ao rompimento da barragem, conduzidos por Costa (2001) e Rodrigues (2012), mostram que os valores de elementos como As, Mn, Cr, Ni, Hg e outros metais prejudiciais a saúde já eram elevados. Os estudos mostram que essas concentrações nos sedimentos não estavam relacionadas ao processo de beneficiamento do minério de ferro e sim

por condições naturais somadas a séculos de exploração mineral sem devidos cuidados preventivos.

Ainda segundo Nascimento (2014) o processo de beneficiamento de minério de ferro utilizado pela Samarco e que dá origem aos rejeitos da barragem envolve processos mecânicos de britagem, deslamagem e flotação. A retirada da lama utiliza adição de soda caustica (NaOH) com o intuito de elevar o pH para a faixa de 9,5 a 10,5, tornando a poupa básica, assim facilitando a desagregação das partículas. Já na flotação o pH é elevado a mesma faixa usando também NaOH, mas além disso é adicionado à poupa aminas e amido de milho ou mandioca, isso faz com que a superfície do quartzo torne-se altamente negativa incidindo maior diferença das cargas superficiais do quartzo com os minerais de ferro, facilitando a separação entre eles.

Apesar de usarem dois componentes orgânicos nos processos de beneficiamento e introduzir soda caustica no sistema elevando o pH, não há adição de nenhum metal pesado. Estudos conduzidos por Santos & Martins (2003) e Ferrantes (2014), com o intuito de aproveitamento do rejeito da barragem de Germano, mesma origem dos rejeitos da barragem de Fundão, mostram que a composição da sobra do beneficiamento é constituída basicamente de óxidos de ferro e de silício.

Neste contexto, o presente trabalho visa o estudo da caracterização geoquímica dos sedimentos da bacia do Rio Gualaxo do Norte, influenciado pelos rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão, com o intuito de analisar se houve aumento nos valores de concentração dos elementos Fe, Mn, Al, Ca, Na, K, Mg, As, Ba, Cr, Ni, V, Pb, Cu e Zn decorrentes do incidente.

1.3-OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é realizar a caracterização geoquímica de sedimentos fluviais da bacia do Rio Gualaxo do Norte e comparar a dados da literatura obtidos antes do rompimento da barragem de Fundão.

1.4-LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O Rio Gualaxo do Norte faz parte da bacia do Rio Doce, se estende desde o município de Ouro Preto, onde se encontra sua nascente, passando pelo distrito de Bento Rodrigues, em Mariana, até a cidade de Barra Longa, onde deságua no Rio do Carmo.

A partir de Belo Horizonte o acesso até Bento Rodrigues, local do início de coleta de material, é feito pela BR-381, sentido leste, até o cruzamento com a MG-436 próximo a Bom

Jesus do Amparo, cerca de 74Km da capital. Toma-se o sentido sul por mais 75Km até Barão de Cocais, onde se continua no sentido sul na BR-129 até a chegar a ponte sobre o Rio Piracicaba, próximo a ela entra-se em uma vicinal que segue o rio no sentido sul até o distrito de Bento Rodrigues, a aproximadamente 50Km de Barão de Cocais, Figura 1.1.

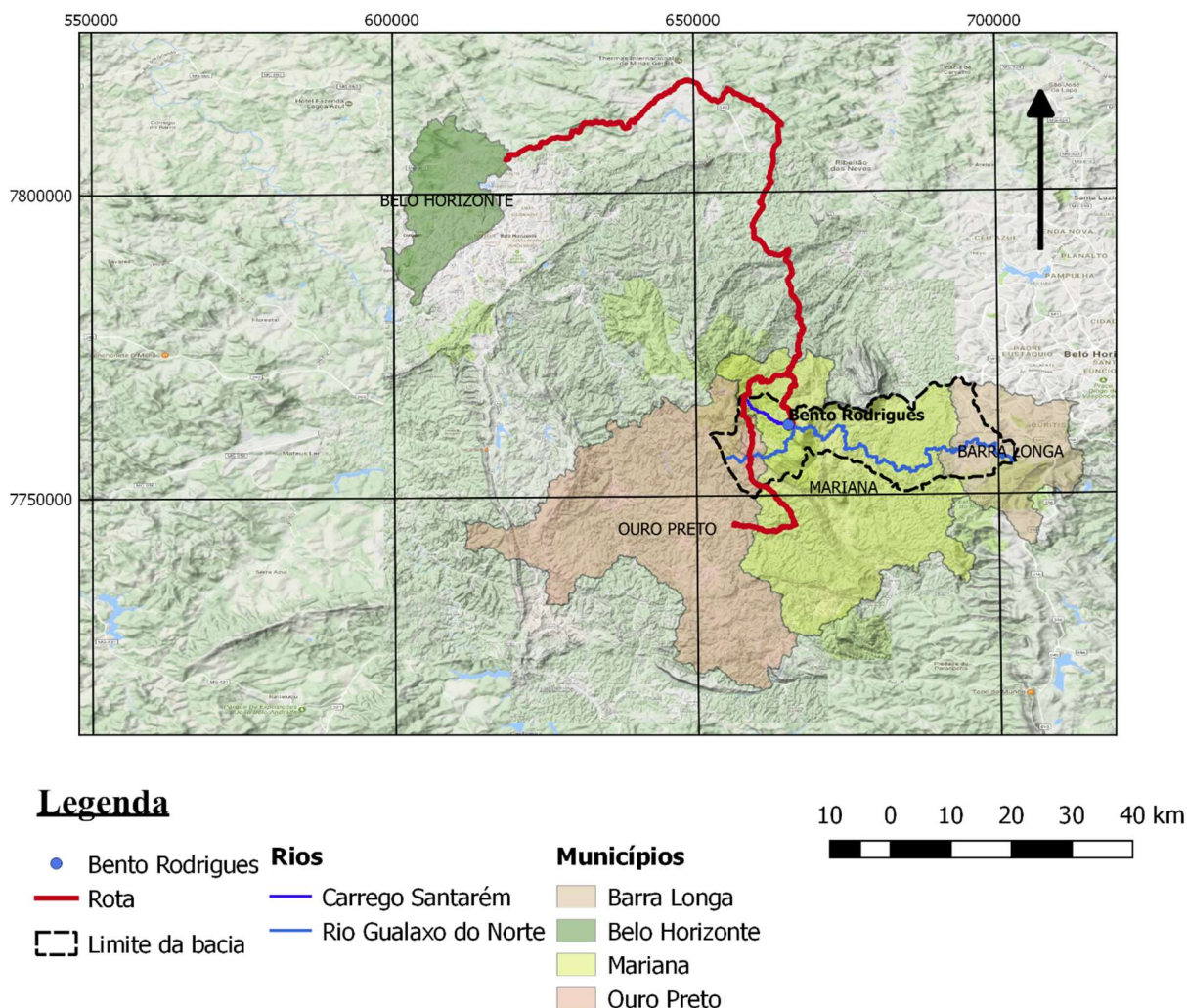


Figura 1.1-Localização dos municípios de Barra Longa, Belo Horizonte, Mariana e Ouro Preto, junto a rota de chegada até o distrito de Bento Rodrigues e a área da bacia do rio Gualaxo do Norte

1.5-MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho as seguintes etapas foram realizadas:

1.5.1-Aquisição de base cartográfica

Para o entendimento e interpretação prévia das feições geológicas, topográficas e da dispersão dos sedimentos provenientes da barragem de Fundão, foi necessária a construção de uma base cartográfica. Para tal, foi feito um projeto usando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que consiste em uma compilação de diversas camadas georreferenciadas geradas a partir

de um banco de dados que envolveu informações a respeito da geologia, hidrografia e topografia da bacia do Rio Gualaxo do Norte.

- Para elaboração dos mapas foi utilizado os *softwares* ArcGis® 10.2 e QGIs 2.14;
- As imagens de satélite foram obtidas com auxílio do *software* Google Earth Pro;
- O mapa geológico de Minas Gerais, integrado e corrigido na escala de 1:250.000 foi obtido através da CPRM (1993);
- Base Cartográfica de Hidrografia pelo site do Instituto Pristino;
- Limites municipais de Minas Gerais fornecida pelo site do IBGE.

1.5.2-Trabalho de campo

Foi realizada uma etapa de campo com o intuito de conhecer a região de estudo e também coleta de material. Os pontos foram selecionadas a partir de calhas de drenagens, zonas de deposição de material às margens das drenagens e encostas ao longo do Rio Gualaxo do Norte e seus afluentes, desde Bento Rodriguez, até o município de Barra Longa no encontro com o Rio do Carmo. Ao todo foram visitados 8 pontos de coletas com um total de 15 amostras como mostra a Tabela 1.1 e o mapa da Figura 1.2.

Tabela 1.1- Pontos de amostras e amostras coletadas em cada ponto

Amostras	Ponto	Localidade	Local de Coleta	X	Y
Ponte Gualaxo no Norte	1	Trecho do Rio Gualaxo do Norte localizado próximo a Bento Rodrigues	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	663810,00	7757144,00
GN-01	1	Trecho do Rio Gualaxo do Norte locazado entre os distritios de Antônio Pereira e Bento Rodrigues	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	663810,00	7757144,00
BR-01	2	Dentro do antigo distrito de Bento Rodrigues	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	664851,00	7761267,00
BR-02	2	Dentro do antigo distrito de Bento Rodrigues	Material coletado em terraço aluvial	664851,00	7761267,00
BR-03	2	Dentro do antigo distrito de Bento Rodrigues	Material coletado em terraço aluvial	664851,00	7761267,00
PG-01	3	Embaixo da Ponte do Gama	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	677762,00	7757690,00
PG-02	4	Ponto localizado alguns quilômetros após a Ponte do Gama	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	675207,00	7754554,00

Amostras	Ponto	Localidade	Local de Coleta	X	Y
PP-01	5	Ponte que dá acesso ao distrito de Paracatu de Baixo	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	682471,00	7753899,00
Ponte Paracatu	5	Ponte que dá acesso ao distrito de Paracatu de Baixo	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	682471,00	7753899,00
Ponte de Paracatu 2	5	Ponte que dá acesso ao distrito de Paracatu de Baixo	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	682471,00	7753899,00
CP-01	6	Próximo ao distrito de Campinas	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	691151,00	7757558,00
CP-02	7	Entre o distrito de Campinas e Barra Longa	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	698376,00	7757755,00
BL-01	8	Dentro da cidade de Barra Longa	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	704310,00	7756085,00
Barra Longa	8	Dentro da cidade de Barra Longa	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	704310,00	7756085,00
Tributário (B)	8	Dentro da cidade de Barra Longa	Material de acumulo às margens do Rio Gualaxo do Norte	704310,00	7756085,00

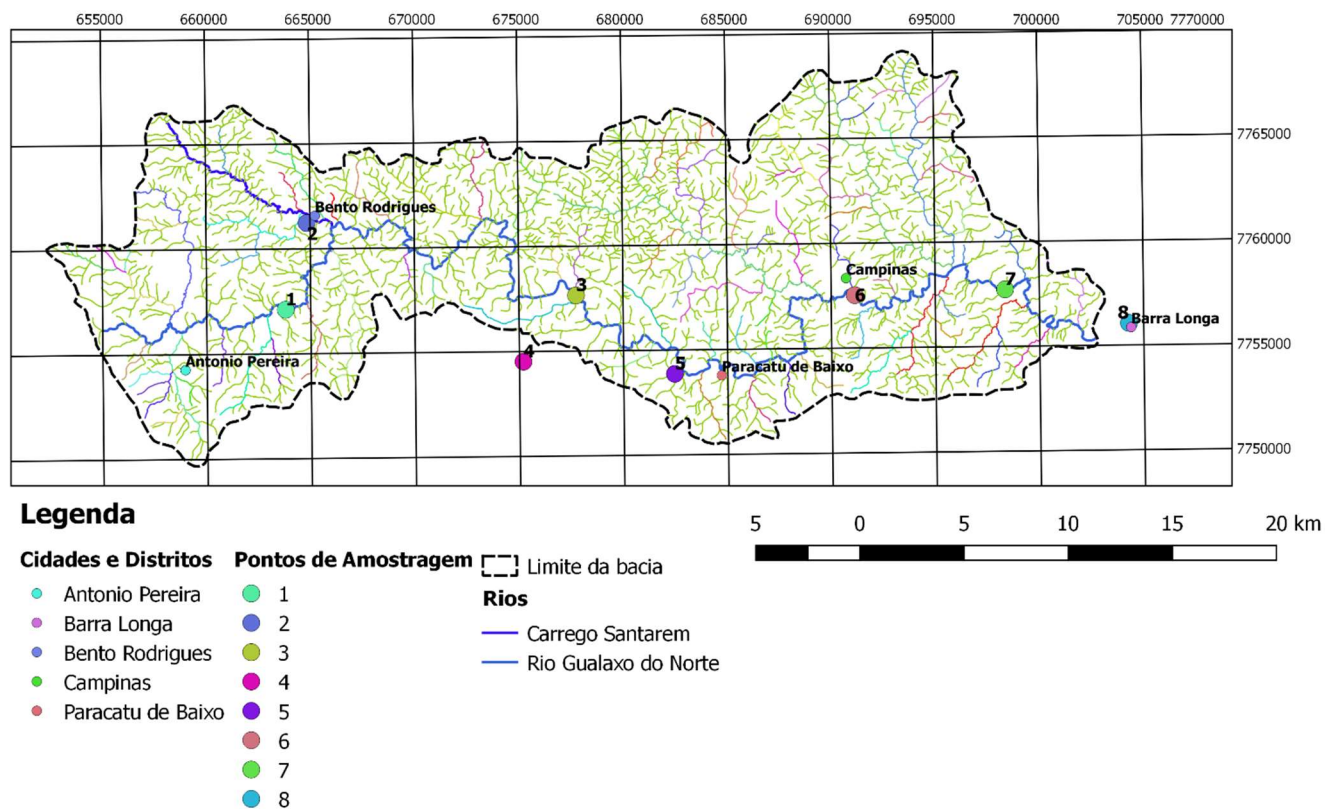


Figura 1.2-Drenagens da bacia do Rio Gualaxo do Norte e os pontos de amostragem com distritos e cidades próximos aos pontos.

Foi coletado cerca de 2Kg de sedimentos por ponto amostral com auxílio de uma pá, como ilustra a Figura 1.3, tentando sempre obter uma amostra global, ou seja, a mais heterogênea o possível. Para cada ponto de coleta é marcado um ponto no GPS e sua coordenada é anotada, além disso, esse ponto é numerado e esses dados anotados em cada saco de amostra.



Figura 1.3-Coleta de material às margens do Rio Gualaxo do Norte, coordenadas 682471,00/7753899,00, com auxílio de uma pá de pedreiro

1.5.3-Trabalhos laboratoriais

As amostras foram levadas ao laboratório de sedimentologia do Departamento de Geologia da UFOP, dispostas em pequenas bacias protegidas para evitar contaminações e colocadas em local sem umidade para que secassem por completo a temperatura ambiente. Segundo Förstner (2004) isso é necessário para evitar a perda de elementos voláteis.

Após ser completamente seca, é feita a homogeneização manual e quarteamento de cada amostra por sucessivas vezes até sobrar aproximadamente 900g de sedimento. Em seguida foi feita a análise granulométrica por peneiramento seguindo a ordem de abertura das peneiras conforme indicação em Dias (2004), seguindo a granulometria mostrada na Tabela 1.2.

Tabela 1.2-Abertura das peneiras utilizadas no fracionamento granulométrico conforme Dias (2004)

Peneiras		
ABNT/Mesh	Φ (diâmetro de partículas) mm	Classificação (Wentworth, 1922)
10	2,00	Grânulo (G)
18	1,00	Areia Muito Grossa (AMG)
35	0,50	Areia Grossa (AG)
60	0,25	Areia Média (AM)
120	0,125	Areia Fina (AF)
230	0,0625	Areia Muito Fina (AMF)
Fundo	<0,0625	Silte/Argila (S/A)

As peneiras foram empilhadas e colocadas em agitadores por aproximadamente 30 minutos. O material retido em cada peneira era separado em sacos menores e pesados separadamente.

Após a análise granulométrica foi separada uma pequena quantidade da fração silte/argila, colocada em frascos de vidro e levadas a uma estufa aquecida a 100°C durante 2 horas para a evaporação da água restante.

Após seco, uma alíquota de $1 \pm 0,0005\text{g}$ é separada e levada para o processo de digestão. A digestão utilizada na amostra é a digestão parcial modificada, proposta por López-Sánchez *et al.* (2002) onde essa amostra com aproximadamente 1g é levada a um béquer de 110ml onde são adicionados 7 mL de HCl ($12,0 \text{ mol.L}^{-1}$) e 2,3 mL de HNO₃ ($15,8 \text{ mol.L}^{-1}$) tampado com vidro de relógio, mantidos em temperatura ambiente por 16 horas.

Após esse tempo de digestão cada amostra é aquecida a temperatura de 70 a 80°C por cerca de 2 horas sobre uma chapa metálica. Em seguida, é filtrada em filtro de papel, colocadas em balão volumétrico e seu conteúdo completado em 50ml com água deionizada.

As amostras já digeridas são levadas para análise em ICP-OES onde foram analisados os seguintes elementos: As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Mn, Al, Fe, Ca, K, Mg, Na, Zr, Pb, P, S, Ti.

1.5.4-Tratamento de dados

O tratamento de dados e elaboração dos gráficos foi efetuado a partir da compilação do banco de dados obtidos através das análises dos elementos no ICP-OES dos sedimentos do Rio Gualaxo do Norte com auxílio do programa Excel® 2013.

Com auxílio de ferramentas oferecidas pelo mesmo programa foi possível determinar as medidas estatísticas básicas dos resultados obtidos: valor mínimo, valor máximo, média, mediana, desvio padrão, média geométrica e o coeficiente de variação para cada elemento.

1.6-ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A área de estudo se encontra inserida à sudeste da Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte. Uma área de 39.486,678 Km², possuindo 105 municípios divididos em 8 microrregiões: Belo Horizonte, Conceição do Mato Dentro, Conselheiro Lafaiete, Itabira, Itaguara, Ouro Preto, Pará de Minas e Sete lagoas. Segundo fontes IBGE (2010), sua economia é baseada na mineração e turismo com grande influência da arquitetura barroca predominante na região se destacando as cidades de Belo Horizonte, Contagem, Betim, Ouro Preto e Mariana.

1.6.1-Hidrografia

A área de estudo se encontra a leste da Microrregião de Ouro preto, próximo ao divisor de águas da bacia do Rio das Velhas com a bacia do Rio Doce, se encontra inserido nas bacias do Rio do Carmo e Rio Piranga. O Rio Gualaxo do Norte é um importante afluente dessa bacia, abastecendo diversos distritos da Mariana e a cidade de Barra Longa, além disso possui uma importância histórica ligada à colonização de Minas Gerais.

Nesse contexto a bacia do Rio Gualaxo do Norte, Figura 1.2, possui uma área de aproximadamente 253,16Km² com padrão de drenagem em treliças e localmente detríticos, têm pouca influência de outros municípios em sua bacia, (Souza *et al.*, 2005), nasce na Serra do Espinhaço na divisa entre Mariana e Ouro Preto e tem sua foz localizada na cidade de Barra Longa onde deságua no Rio do Carmo.

1.6.2-Clima

Sá Júnior (2009) sugere que existam três tipos climáticos na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte: Aw, Cwa e Cwb, sendo que o tipo climático Cwa é predominante em cerca de 50,6% da área da região. A área de estudo predomina os tipos Cwa e Cwb.

A classe Cwa é caracterizada como clima temperado úmido com inverno seco e com médias no verão superiores a 22°C. Já a classe Cwb tem clima temperado úmido com inverno seco e o verão moderadamente quente com temperaturas médias inferior a 22°C. Em ambas a precipitação no verão gira em torno de 200mm por mês e no inverno inferior a 60mm por mês.

1.6.3-Geomorfologia

Segundo Sobreira *et al.* (2004), a região de estudo apresenta duas unidades geomorfológicas principais: o Quadrilátero Ferrífero e os Planaltos Dissecados. O primeiro, a oeste da cidade de Mariana, predomina relevos acidentados de altitudes medias em torno de 1400-1600m com o seu ponto mais expressivo na Serra do Caraça (2064m). São antigos sinclinais suspensos e anticlinais já erodidos, representados por baixos no relevo, onde as serras são sustentadas por quartzitos do Supergrupo Minas e as cristas estruturais são do tipo *hogback*. Além do Caraça as serras de Ouro Branco, Itatiaia, Itacolomi, Ouro Preto e Antônio Pereira possuem fisiografia proeminente com altitudes que superam os 1000m.

Os Planaltos Dissecados ocupam a maior parte do território, corresponde a uma grande exposição de rochas cristalinas deformadas, muito erodidas e com pacotes de solo muito espessos resultantes de processos intempéricos. O relevo é bem acidentado e as altitudes variam entre 1000-1200m nas cristas e 500-800m nos vales.

2-GEOLOGIA REGIONAL

2.1-CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A área de estudo se encontra inserida na parte Leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero, área já muito conhecida devido aos seus grandes depósitos de minério de Fe e Au e suas complexidades estruturais estudadas desde Eschwege (1822, 1832, 1833), Gorceix (1881, 1884) e Derby (1881, 1906). Segundo Costa (2001) as altas concentrações naturais de metais aliadas a intensa exploração aurífera de séculos fez com que o acúmulo de sedimentos do Rio Gualaxo do Norte tenham uma concentração mais alta de metais pesados.

Para Dorr II (1969) esses elementos metálicos e depósitos minerais são encontrados no Quadrilátero Ferrífero devido ao seu posicionamento tectônico e as diversas fases de deformação que ocorreram ao longo do tempo geológico. Ladeira (1980), Marshak & Alkmin (1989) e Alkmin & Marshak (1998) modificaram a coluna estratigráfica do quadrilátero ferrífero além de dividi-lo em cinco unidades estratigráficas: i) o Embasamento Cristalino arqueano; ii) Supergrupo Rio das Velhas e iii) Supergrupo Minas; iv) as Intrusivas Pós-Minas e o v) Grupo Itacolomi.

As rochas que compreendem a área de estudo que vai desde Bento Rodrigues até Barra Longa estão inclusas em todas as divisões descritas acima. Além de tudo esta área está inserida na Província Mantiqueira (Almeida *et al.* 1977, Almeida & Hasui 1984), que se refere ao trecho da Costa do Atlântico Sul afetado pelo Ciclo Brasileiro/Pan-Africano que se estende desde o sul do Estado da Bahia até o Uruguai. Esta compartimentação tectônica insere os terrenos geológicos no Orógeno Ribeira, na zona limítrofe sudeste do Craton São Francisco.

Segundo Rodrigues (2012) no alto curso do Rio Gualaxo do Norte encontram-se rochas supracrustais do Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi, no médio e baixo curso encontram-se os complexos metamórficos Santa Barbara, Acaiaca e Mantiqueira e os *greenstone belts* do Supergrupo Rio das Velhas.

2.2-UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Neste trabalho serão apresentados apenas as unidades litoestratigráficas que afloram ao longo da Bacia do Gualaxo do Norte, como o mostra o mapa da Figura 2.1 e a coluna da Figura 2.2 modificada de Alkmin & Marshak (1998) *in* Rodrigues (2012).

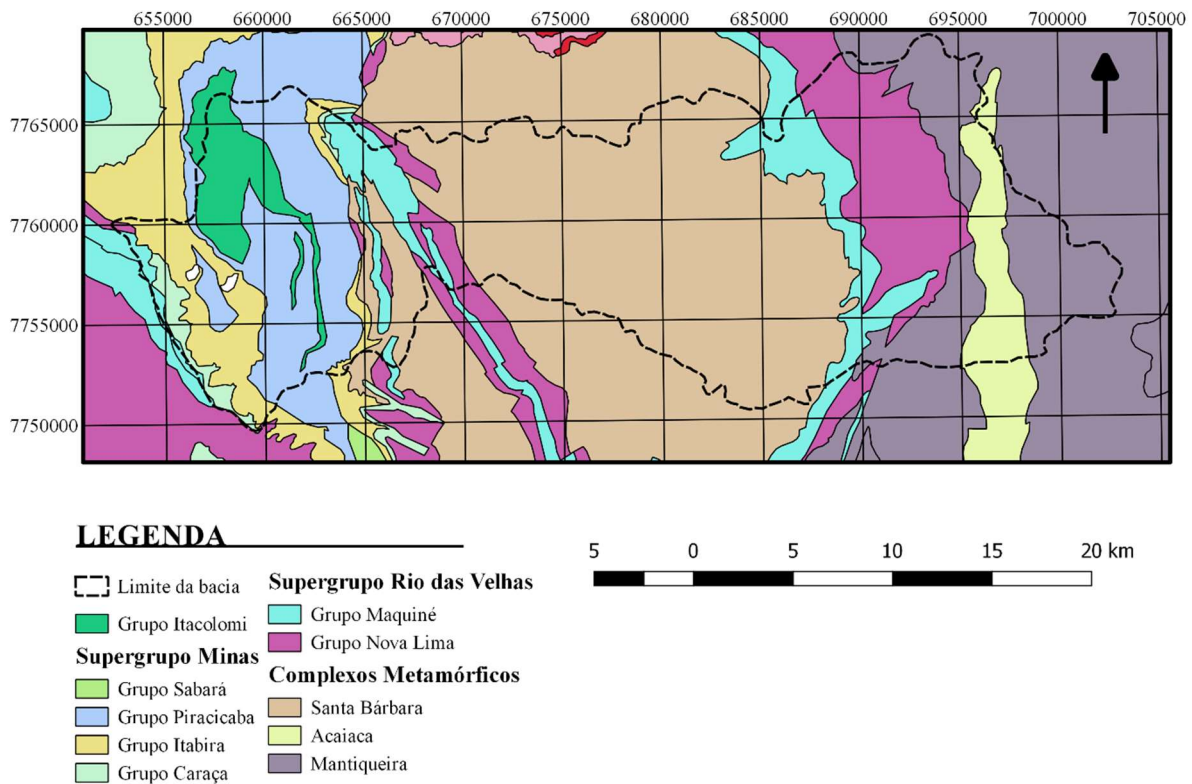


Figura 2.1- Mapa geológico da região da bacia do Rio Gualaxo do Norte na escala 1:250000, modificado de CPRM (1993)

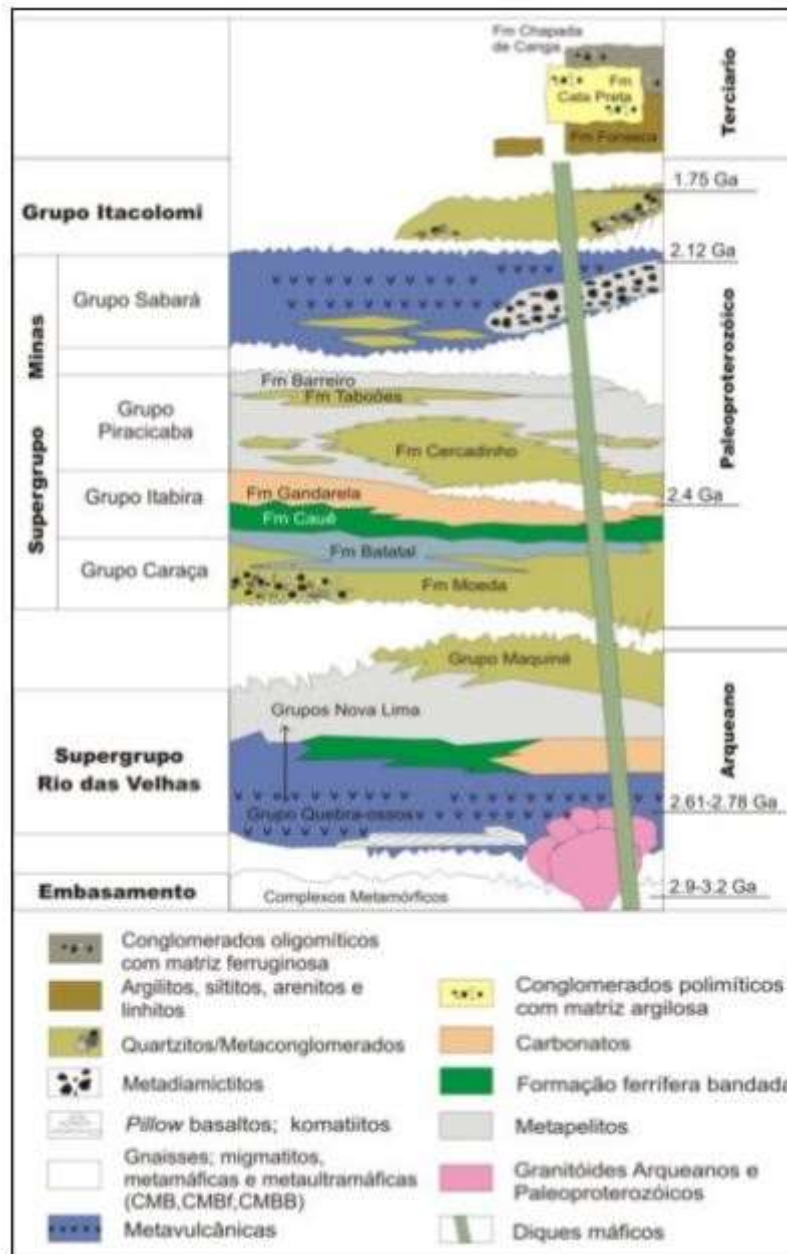


Figura 2.2- Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero modificada de Alkmin & Marshak (1998) in Rodrigues (2012)

2.3-COMPLEXOS METAMÓRFICOS

2.3.1-Complexo Metamórfico Santa Bárbara

O complexo Santa Bárbara é o de maior significância na área de estudo, como pode ser visto no mapa da Figura 2.1. Cobrindo boa parte da área da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, neles são caracterizados rochas gnáissicas do tipo tonalítico e trondhjemítico bandados; rochas graníticas, injetadas nos gnaisses bandados trondhjemíticos, além de granitos leucocráticos na interface dos litotipos anteriormente descritos como uma diferenciação tardia (CPRM 1993).

2.3.2-Complexo metamórfico Acaiaca

Segundo Evangelista (1984) esse complexo localizado a leste do Quadrilátero Ferrífero é caracterizado como uma faixa de 36 Km de extensão na direção norte sul e 6 Km de largura no centro, afinando nas porções sul e norte. São rochas de alto grau metamorfisadas em facies anfibolito e granulito, possuem paragêneses e composição química indicativas de protólito ígneo classificados como granulitos félsicos, máficos e ultramáficos. Dentre as rochas predominam chanoctitos, enderbitos e gnaisses kinziginíticos, além de biotita-anfibólio, gnaisses migmatíticos e granitoides injetados em conjunto.

2.3.3-Complexo Metamórfico Mantiqueira

O Complexo Metamórfico Mantiqueira ocupa a faixa leste da folha Mariana, segundo Brandalise (1991) são gnaisses predominantemente ortoderivados de composições variadas, migmatizados e/ou com intercalações de anfibolitos e metagrabos. Para Noce (2007) o litotipo predominante é um biotita-anfibólio ortognaisse bandado de composição tonalítica a granítica com frequentes lentes, *boundins* e camadas concordantes de anfibolito.

2.4-SUPERGRUPO RIOS DAS VELHAS

Segundo Dorr *et al* (1957) o Supergrupo Rio das Velhas é composto por rochas metavulcanossedimentares do tipo *greenstone belt* de idade Arqueana. As rochas metavulcânicas são originadas por magmas primitivos típicos de fundo oceânico como komatiítos, basaltos e riolitos com intercalações de rochas sedimentares, metamorfisadas na facies xisto verde a anfibolito. Segundo definido por Alkmim & Marshak (1998), as unidades possuem formações ferríferas do tipo Algoma de facies carbonáticas e silissiclásticas.

O Supergrupo Rio das Velhas é subdividido em duas unidades: Grupo Nova Lima e Grupo Maquiné.

2.4.1-Grupo Nova Lima

Ladeira (1980) subdividiu o Grupo Nova Lima em três unidades, uma basal constituída por rochas ultramáficas e máficas intercaladas com formação ferrífera do tipo Algoma, uma intermediária constituída por rochas metassedimentares químicas e a superior constituída por rochas metassedimentares clásticas. Baltazar & Rapozo (1993) subdivide o Grupo Nova Lima em duas unidades, a basal denominada de Quebra Osso e composta por rochas peridotíticas e uma outra de origem vulcanossedimentar.

A subunidade peridotítica Quebra-Osso é representada por komatiitos e metaperidotitos com textura *spinifex* e cúpulos preservadas, serpentinitos, talco-clorita xisto, formações ferríferas e brechas sedimentares.

As subunidades vulcanossedimentares são compostas por metamáficas e metaultramáficas, xistos de composição variada, quartzitos, tufos máficos e formações ferríferas.

2.4.2-Grupo Maquiné

O Grupo Maquiné é o topo do Supergrupo Rio das Velhas, se sobrepõe ao Grupo Nova Lima em discordância erosiva, sendo constituído por metaconglomerados, quartzitos e filitos, subdividido, da base para o topo, nas Formações Palmital e Casa Forte (Zucchetti *et al.* 1998).

A Formação Palmital é caracterizada por Zucchetti & Baltazar (1998) como uma associação de litofácies relacionada a turbiditos proximais, constituída principalmente por quartzito sericítico, filito quartzoso com lentes de quartzito e xistos representando metarenito, metagrauvaca e metargilito, com alguns níveis de conglomerado.

A Formação Casa Forte foi descrita por Zucchetti & Baltazar (1998) como uma unidade de deposição continental formada por depósitos fluviais e aluviais. Possui sequência de arenito-conglomerado, arenitos de granulometria grossa e arenitos de granulometria fina a média além de filitos e sericita quartzito com intercalações de metaconglomerado polimítico e horizontes xistosos com cloritóide.

2.5-SUPERGRUPO MINAS

Para Renger *et al.* (1994) e Noce *et al.* (2007) o Supergrupo Minas representa um pacote de rochas matassedimentares clásticas e químicas de grande espessura, depositadas em um ambiente plataformal sin-orogênico em discordância angular com o embasamento Arqueano representado pelas rochas do Supergrupo Rio das Velhas.

Dorr II *et al.* (1957) propôs uma divisão para o supergrupo em 3 unidades: Caraça, Itabira e Piracicaba, e Dorr *et al.* (1959) dividiu o Supergrupo Minas em 9 formações e posteriormente Renger *et al.* (1994) separou do Grupo Piracicaba a Formação Sabará elevando-a ao *status* de grupo.

2.5.1-Grupo Caraça

Dorr II *et al.* (1957) descreveu o Grupo Caraça como um pacote de rochas clásticas intercaladas entre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas e das rochas do Grupo Itabira, em discordância angular com o Grupo Nova Lima. Ainda segundo Dorr II *et al.* (1957) é representado por rochas clásticas de composição média a grossa como conglomerados, quartzitos e filitos, no qual a deposição de sedimento ocorreu em um ambiente de transgressão marinha.

O Grupo Caraça foi subdividido por Wallace (1958) e Maxwell & Simmons (1958) em duas unidades, os quartzitos da Formação Moeda na base e os pelitos da Formação Batatal no topo.

Wallace (1958) dividiu a Formação Moeda em sua seção tipo encontrada na Serra da Moeda em três unidades: o membro inferior composto por quartzito sericítico com lentes de conglomerado na base, junto ao contato com as rochas do Grupo Nova Lima; membro intermediário composto por filito arenoso e membro superior composto por quartzitos sericíticos de granulometria fina a grossa. Dorr II *et al.* (1959) atribui à formação uma espessura média de 200 metros com variações que podem chegar até 1200 metros.

Segundo Maxwell (1958) a Formação Batatal é composta por filitos sericíticos, filitos carbonosos e grafitosos além intercalações de metachert e delgadas lentes de hematita no topo desta formação. Possui uma espessura de 30 metros em sua área tipo porém chega facilmente a mais de 50 metros de espessura.

2.5.2-Grupo Itabira

Segundo Dorr *et al.* (1957) o Grupo Itabira é formado por metassedimentos químicos sobrepostos ao Grupo Caraça. É dividido em duas unidades Formação Cauê e Formação Gandarela.

Segundo Rosière & Chamale (2000) esse grupo representa uma sequência marinha de ambiente raso a profundo, onde seu contato basal com o Grupo Caraça é uma sequência gradacional de filitos carbonosos, sericita-filito e filito carbonático. Esse último interpretado como início da deposição química. Essa sequência posteriormente grada para rochas de deposição química típicas do Grupo Itabira: hematitas-filitos, itabiritos e dolomitos.

A Formação Cauê é formada por itabiritos com lentes de hematita compacta e friável além de lentes de dolomitos. Segundo Rosiere & Chemale (2000) no Quadrilátero Ferrífero o

minério de ferro é predominantemente de facies óxido, já metamorfisado, onde o chert ou o jaspe já foi recristalizado em quartzo granular e o ferro em hematita, magnetita ou martita.

Para Dorr *et al.*(1959) a Formação Gandarela é composta de dolomitos, mármore, filitos e itabiritos dolomíticos com intercalações de hematita e zonas manganésíferas. Tem espessura máxima de 1.000 m e é menos espessa na região leste do Quadrilátero Ferrífero.

2.5.3-Grupo Piracicaba

O Grupo Piracicaba foi primeiramente definido e nomeado por Harder & Chamberlin (1915), no qual nomearam rochas que afloram as margens do rio Piracicaba como xisto e quartzito Piracicaba. Dorr *et al.* (1957) inclui 5 formações no grupo: Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões, Barreiros e Sabará. Posteriormente Renger *et al.* (1994) elevou o *status* de Formação Sabará para grupo.

Dorr *et al.* (1959) define a Formação Cercadinho composta de quartzito ferruginoso, quartzito, filito, dolomito e conglomerado. Apresenta espessura máxima de 317m na localidade-tipo, no entanto, possui espessura média em torno de 100m. O mesmo autor caracteriza a Formação Fecho do Funil como constituída de dolomito e filito dolomítico interstratificado com quartzito fino e camadas lenticulares de specularita no dolomito. Os filitos podem ser hematíticos, enquanto os filitos dolomíticos são constituídos de dolomita, quartzo e sericita. São comuns ainda mármore impuros manganésíferos.

A Formação Taboões foi descrita por Pomerene (1958b) é constituída de quartzito de granulação muito fina. A espessura média da Formação Taboões é menor que 100m, e o contato com a Formação Barreiro, sotoposta, é concordante e de transição brusca. A Formação Barreiro descrita pelo mesmo autor é constituída por uma sequência de xistos, filitos e filitos grafitosos.

2.5.4-Grupo Sabará

O Grupo Sabará foi denominado por Gair (1958), ao relacionar uma seção estratigráfica descrita ao longo de um trecho da rodovia que leva Belo Horizonte à cidade de Sabará. Essa unidade consiste em um espesso pacote de rochas clásticas com intercalações de sedimentos químicos e rochas vulcânicas, em sua seção tipo é composta por xistos, metagrauvas, subgrauvas, filitos, metarenitos, metatufos, lentes de metaconglomerado, metadiamicrito e formação ferríferas bandadas. A matriz dessas rochas normalmente é um clorita xisto, com uma espessura que pode chegar a 3400m.

Como já foi mencionado, essa unidade anteriormente era pertencente ao Grupo Piracicaba. Porém, como possuía uma considerável diversidade litológica e grande espessura, foi elevada à categoria de Grupo Sabará por Renger (1994).

2.5.5-Grupo Itacolomi

O Grupo Itacolomi foi denominado primeiramente como Série Itacolomi por Guimarães (1931). As rochas pertencentes a este grupo afloram na cabeceira do Rio Gualaxo do Norte e segundo Dorr II (1969), é composto por quartzitos e quartzitos sericíticos, com camadas de filitos e metaconglomerados intercalados, e localmente ocorrem diques de diabásio. Se posiciona em discordância angular com as unidades inferiores do Grupo Sabará e das Formações Barreiro e Fecho do Funil.

3-EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1- AMBIENTES FLUVIAIS

3.1.1- Intemperismo e erosão

Segundo Carvalho (1995) as rochas em superfície se encontram em condições físico químicas tais que seja possível a ocorrência de intemperismo principalmente sob a ação de águas meteóricas. Na natureza dois tipos de intemperismo ocorrem, o intemperismo físico e o químico. O clima da região é um importante fator que orienta qual tipo de intemperismo é mais atuante, em regiões de clima temperado e desértico as variações de temperatura acentuam o intemperismo físico, já regiões de clima tropical, devido ao alto índice pluviométrico, o intemperismo químico é mais acentuado.

Para Suguio (2003) o intemperismo físico corresponde ao rompimento das rochas sob uma condição de *stress* mecânico que podem ser originados internamente à rocha ou em condições externas, deformando-a e posteriormente rompendo-a. Três tipos de intemperismo físico são mais comuns: alívio de pressão, cristalização de minerais dentro de espaços internos a rocha e fraturas por expansão térmica.

Ainda segundo Suguio (2003) o intemperismo químico é aquele no qual a estrutura molecular dos minerais que compõe as rochas são alterados por reações químicas. Para Toledo (2009) as reações principais que ocorrem neste tipo de intemperismo são: hidratação, hidrólise, oxidação, carbonatação e complexação. Isso ocorre em consequência dos minerais em superfície estarem fora do equilíbrio encontrado em seu ambiente de formação, ficando suscetíveis a alterações químicas. Vale ressaltar que a série de intemperismo dos minerais de Goldich é inversa a série Bowen, Suguio (2003).

Para Toledo (2009) o intemperismo químico dissolve minerais carbonatados e ataca os silicatados retirando por hidrólise elementos móveis como Na, Ca, K e Mg que acabam sendo transportados pela água na forma de cátions. Já elementos menos móveis como Fe, Al e Si se concentram e forma óxidos e hidróxidos enriquecendo os horizontes pedológicos formados por esses processos.

Os materiais que não dissolvem e nem são transportados pela água em forma de íons podem ser desagregados de suas rochas fontes e transportados na forma de sedimentos de

diferentes granulometrias e diversas mineralogias, na maior parte das vezes o agente erosivo e transportador são os rios.

Christofolletti (1980) considera as águas fluviais como um dos principais agentes intempéricos e também como agente de transporte sedimentar. Este último, transportando material de áreas mais altas para mais baixas levando até o mar e moldando o relevo e as características geomorfológicas da superfície da Terra, Suguio (2003). Segundo Christofolletti (2002) em consequência ao fluxo de energia gerado pelos rios, os sedimentos são arrancados de suas áreas fontes e transportadas para outros lugares formando bacias sedimentares e consequente erosão das áreas onde foram retirados os sedimentos. Quanto maior a energia cinética (velocidade) e potencial (turbulência e quebras de relevo), mais material é retirado e maior a erosão hídrica gerada.

Cunha (1996) relata que em uma bacia hidrográfica as partes mais altas do relevo são aquelas nas quais ocorre maior energia potencial e em consequência maior taxa de erosão. São nesses trechos do rio onde se encontra as maiores granulometrias (seixos, cascalhos e até matacões) enquanto que nas áreas mais baixas a energia envolvida é menor e em consequência a erosão também é menor. A granulometria vai diminuindo ao longo do curso dos rios devido ao maior transporte no qual os sedimentos são submetidos.

3.1.2- Transporte de sedimentos

Os processos sedimentares em águas fluviais envolvem alto nível de complexidade e vários fatores influenciam em seu transporte, sedimentação e erosão. Segundo Mortatti *et al.* (2002) entre os fatores estão: velocidade média da corrente, o tipo de material geológico, forma e tamanho da partícula, forma do canal, clima e cobertura vegetal da bacia de drenagem e especialmente da mata ciliar adjacente aos cursos de água.

A heterogeneidade dos rios faz com que os sedimentos se sujeitem a condições variáveis de transporte onde a energia envolvida nele determina a forma como essa partícula será carregada, podendo ser por suspensão ou mesmo rolando no leito do rio, (Stevens & Yang, 1989). Suguio (2003) afirma que partículas grandes como cascalho e areia se movem por arrastamento, rolamento e saltação junto ao do leito do rio constituindo a carga de fundo (*bedload*), partículas mais finas, como silte e argila, são transportadas por suspensão ou suspensão intermitente.

Ainda segundo Suguio (2003) comumente metade da carga total transportada pelas águas é representada por partículas em solução em forma de íons, essas partículas são provenientes de litologia e de matéria orgânica presente. Silva *et al.* (2003), e Ward & Trimbl

(1995) afirmam que 90% da carga sólida total são de partículas finas, silte e argila, transportadas por suspensão.

As atividades antrópicas aceleram as taxas de erosão e concentração de elementos químicos nos sedimentos. Segundo Carvalho (1994), as erosões podem aumentar em até 100 vezes sob influência antrópica em comparação as condições naturais. Leão (2014) ressalta que as principais atividades que influenciam negativamente nos sedimentos está a mineração que aumenta tanto a quantidade de elementos traços disponíveis como também as taxas de erosão, ou seja, o transporte sedimentar contribui com a dispersão e concentração de elementos.

3.1.3- Sistemas deposicionais fluviais

Leão (2014) afirma que as rochas e minerais, são as fontes primárias dos elementos químicos para o ambiente. Esses são obtidos por diferentes tipos de mecanismos. Assim, não se encontram esses elementos distribuídos de maneira uniforme nas camadas superficiais da crosta, nem em rochas, solos, sedimentos fluviais e marinhos.

Rodrigues (2012) ressalta que é sabido que a análise dos sistemas deposicionais fluviais podem gerar dados sobre a diversidade de ambientes geomorfológicos, sobre o modo e a velocidade de formação dos referidos sistemas, suas composições, suas proximidades de fontes poluidoras, bem como sobre a diversidade de processos pós-deposicionais, tais como lixiviação e possíveis mudanças no nível freático.

Leão (2014) destaca que os sedimentos fluviais são um dos principais componentes de um ecossistema aquático, constituindo-se como fonte de recursos energéticos para o compartimento biótico, sendo um componente essencial para estudo da integridade destes ambientes. Estes compartimentos aquáticos participam ativamente dos processos biogeoquímicos desempenhando importante função no comportamento de metais aportados para o sistema hídrico.

Em Vicq (2012) *in* Leão (2014), os sedimentos fluviais são importantes depositários de elementos traço e também atuam como fontes potenciais de liberação desses elementos traço para o ambiente aquático, tornando-os disponíveis para incorporação pela biota.

Segundo Leão (2014), a contaminação por metais em sedimentos é mais intensa do que em águas pois estes são mais estáveis como solutos do que como íons dissolvidos na solução. Hidróxidos de ferro, alumínio, manganês e substâncias húmicas são respectivamente fases minerais e orgânicas que conferem propriedade de adsorção aos sedimentos, que por sua vez

exercem papel importante no acúmulo, transporte e biodisponibilidade de metais traço em ambientes aquáticos.

Ainda em Leão (2014), durante o transporte no sistema fluvial, elementos traço em forma de soluto, tornam-se complexados e também adsorvidos ou absorvidos em sedimentos em suspensão ou em sedimentos finos de fundo. Assim, em Rodrigues (2012), destaca-se o problema relacionado à presença de metais pesados em planícies de inundação, locais comumente utilizados na agricultura e pecuária e que podem ainda atuar como uma importante fonte de substâncias nocivas.

Neste sentido, a análise química dos sedimentos de corrente é uma importante ferramenta para o controle da qualidade hídrica, para a determinação da origem dos contaminantes e para o entendimento dos processos geoquímicos atuantes em um ecossistema aquático.

3.2- GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS FLUVIAIS

A geoquímica ambiental, segundo Rodrigues (2012), é compreendida como o estudo das inter-relações dos compostos/elementos químicos naturais e artificiais com o meio ambiente, visa conhecer, prever e controlar possíveis focos de poluição do solo, sedimentos, água superficial/subterrânea e da atmosfera.

Neste contexto, Rodrigues (2012) ressalta que um interessante campo de pesquisa tem sido a análise geoquímica de sedimentos oriundos de diferentes sistemas deposicionais de ambientes fluviais, uma vez que, a contaminação dos sedimentos tem sido considerada um importante problema ambiental. Mesmo em baixas concentrações, alguns elementos químicos podem apresentar toxicidade ao meio em que estão inseridos.

Diversos estudos têm utilizado os sedimentos para a o esclarecimento de questões importantes no campo ambiental. Alguns utilizam os sedimentos para detecção de possíveis anomalias geoquímicas em solos e ambientes rochosos e outros para avaliação da dimensão da poluição química em ambientes diversos, incluindo os mecanismos de mobilização e disponibilização de elementos tóxicos nesses sedimentos.

3.2.1-Contaminação

Sendo um dos maiores poluidores da água, os sedimentos atuam também como catalisadores, carreadores e como fixadores de outros poluentes, destaca Leão (2014). Isoladamente o sedimento inviabiliza o uso da água para diversas atividades, porém inúmeros

produtos químicos podem ser assimilados pelo sedimentos, podendo acarretar em trocas iônicas entre o soluto e o sedimento, tornando-o esse componente um agente importante de poluição aquática. Soares (2002) destaca que a não uniformidade de distribuição dos sedimentos agravam mais ainda seu poder poluidor, de modo que seja mais difícil tratar o ecossistema degradado.

Soares (2002) ressalta que historicamente os primeiros registros de análises da qualidades dos sedimentos foram realizados pela Federal Water Quality Administration e adotado pela United States Environmental Protection Agency (U.S.E.P.A), em 1973, devido à necessidade de orientar o destino e gerenciar materiais originados de dragagens. Os critérios utilizados como parâmetros de avaliação eram a presença de metais pesados, e se algum valor numérico fosse excedido, o sedimento era classificado como poluído e deveria ser tratado.

Ainda em Soares (2002), cita que entre os estudos feitos para se averiguar um grau limite de determinados elementos em sedimentos se destacam Ontario Ministry of the Environment and Energy (OMEE, 1993). Este dividiu a concentração de elementos em três faixas distintas de acordo com o efeito sobre organismos bentônicos: nenhum ou pouco efeito; pequeno efeito e significativo ou severo efeito. Essas faixas são divididas em dois limites um de efeito alto e outro de efeito baixos, os chamados TEL (Threshold Effect Concentration Level - Nível limite de efeito) e PEL (Probable Effect Level - Nível provável de efeito), Tabela 3.1.

Tabela 3.1-Valores de qualidade de sedimentos do Ontario Ministry of the Environment and Energy. - OMEE para metais modificada de Rodrigues (2012)

Elementos	Nível de efeito baixo (ppm)	Nível de efeito severo (ppm)
Arsênio (As)	5,9	33
Cádmio (Ca)	0,6	10
Cobalto (Co)	-	50
Cromo (Cr)	37,3	80
Cobre (Cu)	35,7	70
Níquel (Ni)	18	30
Zinco (Zn)	123	315

Posteriormente foram feitas outras resoluções baseadas na OMEE (1993) são elas a CETESB (1998), e a CONAMA 344 (2004), Tabela 3.2. A resolução CONAMA 344 (2004) foi estabelecida pelo Ministério do Meio Ambiente a partir de normas internacionais como a holandesa e canadense, com adaptações seguindo variações elementares existentes em território

brasileiro. Assim como a OMEE (1993) essa resolução estabelece 2 níveis de concentração um baixo e um considerado alto.

Tabela 3.2-Valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 344/2004

Elementos	Nível 1 (ppm)	Nível 2 (ppm)
Arsênio (As)	5,9	17
Cádmio (Ca)	0,6	3,5

Com estudos mais recentes realizados por Rodrigues (2012), foi possível calcular o valor de *background* dos sedimentos da bacia do Rio Gualaxo do Norte como mostra a Tabela 3.3, com isso é possível determinar as diferenças entre os níveis máximos de contaminação na região em estudo.

Tabela 3.3-Valores de *background* estabelecidos por Rodrigues (2012)

Elementos	Fe (%)	As (ppm)	Pb (ppm)	Mn (ppm)	Ba (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)
Média calculada para o <i>background</i>	8,20	64,20	43,80	1636,00	141,40	65,30	39,00

4-RESULTADOS

4.1-ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

As análises granulométricas realizadas ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte estão representados no Anexo 1. Nessa análise é possível notar que maior parte das amostras apresenta mais de 50% em massa dos sedimentos na fração silte/argila e areia muito fina, todas essas amostras foram retiradas ao longo da bacia em estudo, com exceção da amostra GN-01 e da amostra PG-02, todas estão sobre a área de influência dos rejeitos da barragem de Fundão.

O único ponto no qual as frações são mais grossas, tendo menos que 5% em massa das frações silte/argila e areia muito fina, foi o único feito fora dos limites da bacia do Rio Gualaxo do Norte, PG-02, esse ponto também estava fora da área de influência dos rejeitos da barragem de Fundão.

Dados anteriores realizados por Costa (2001) e Rodrigues (2012) mostram que esse percentual de mais de 50% em material fino não existia e comprovam que nessas novas análises o percentual de finos aumenta devido a influência dos rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão.

4.2-CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

Os metais se associam mais facilmente com os sedimentos do que com a água, mostrando que eles são mais estáveis como soluto do que íons em solução, além disso os sedimentos de fundos de ambientes fluviais participam de todos os processos físicos e químicos e das complexações biológicas que ocorrem nesse meio.

Segundo Carvalho *et al.* (1995) e Moreira (2002) os sedimentos podem facilmente assimilar elementos químicos presentes no meio. Entre os minerais que mais adsorvem outros elementos estão óxidos e hidróxidos de ferro, manganês e alumínio que atuam de maneira ativa acumulando e transportando metais traços nos sistemas hídricos.

Sendo assim, Silva *et al.* (2003) ressalta que é de suma importância o estudo geoquímico dos sedimentos fluviais levando em consideração que eles podem adsorver os elementos existentes na água, podendo assim interpretar uma assinatura geológica e até mesmo o grau de contaminação em determinada região.

Para este trabalho foram utilizados e analisados em ICP-OES apenas a fração menor que 0,063mm, os dados obtidos pela análise geoquímica são mostrados no Anexo 2 e os valores refinados e com os cálculos de valor mínimo, valor máximo, média, mediana, desvio padrão, média geométrica e o coeficiente de variação para cada elemento são mostrados no Anexo 3.

Para modo geral os elementos com concentração menor que o LQ tiveram esse valor como absoluto, ressaltando que os dois pontos analisados fora da área de interferência dos rejeitos de fundão, PG-02 e GN-01, foram retirados dos gráficos de correlação entre elementos para melhor análise.

4.3-ELEMENTOS MAIORES

4.3.1-Ca, K, Mg e Na

Cálcio, potássio, magnésio e sódio são elementos facilmente solúveis e lixiviados em condições de clima tropical igual ao do Brasil. Os padrões de todos os elementos são muito semelhantes nos pontos de coleta da bacia do Rio Gualaxo do Norte. Isso pode indicar que ambos os elementos estão relacionados litologicamente.

Dentre os quatro elemento apenas o K se encontra praticamente abaixo do limite LQ em quase todos os pontos, isso deve a sua maior solubilidade em comparação aos outros elementos. Segundo Belbert-Born (1998) *in* Costa (2001) o magnésio é um elemento facilmente incorporado em minerais neoformados, principalmente em argilominerais.

Os padrões de concentração de todos os elementos se mantiveram semelhantes como mostra o gráfico da Figura 4.1 e apenas em três pontos foi identificado anomalias:

- A amostra GN-01 obteve 359,64 ppm de Mg e 415 ppm de Ca, os dois elementos analisados (K e Na) ficaram abaixo de 100 ppm;
- As amostras retiradas em Bento Rodrigues tiveram uma concentração semelhante em magnésio e sódio, 110ppm de Mg e 190ppm de Na, uma elevada concentração de Ca que varia de 240 a 690ppm e o potássio apenas na amostra BR-03 estava acima do LQ com 267,3ppm;
- O ponto PG-02 situado fora da bacia do Gualaxo do Norte e sobre rochas do complexo Santa Bárbara apresentou concentrações altas de Mg, 764,15 ppm, K, 584,9 ppm e Ca, 452 ppm. Já o elemento Na se apresentou com baixa concentração e semelhante aos outro pontos em torno de 90ppm.

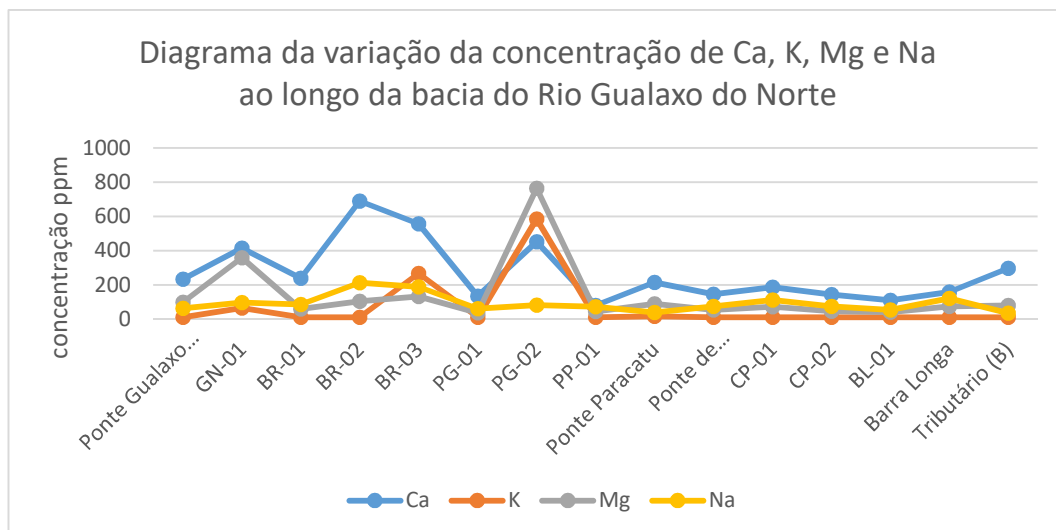


Figura 4.1-Diagrama da variação da concentração de Ca, K, Mg e Na ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

4.3.2-Ferro

Hidróxidos de ferro e manganês controlam a distribuição de metais pesados em sedimentos, além disso são pouco móveis em ambientes oxidantes. No Quadrilátero Ferrífero há uma grande concentração de óxidos de ferro na Formação Cauê do Grupo Itabira, em condições superficiais podem ser alterados para hidróxidos, além disso os sedimentos provenientes dos rejeitos de minério de ferro da barragem de Fundão eram extremamente ricos nesse elemento.

Rodrigues (2012) determinou valores de *background* dos sedimentos da bacia do Rio Gualaxo do Norte em torno de 8,2% de Fe. Das quinze amostras estudadas apenas uma tinha concentração abaixo desse valor, no caso a amostra PG-02 única que não foi recolhida na bacia, ela continha uma concentração de 52507ppm. As outras quatorze amostras possuíam concentrações que variavam de 22% até 48%, sendo que as maiores concentrações são no distrito de Bento Rodrigues nas três amostras retiradas, BR-01, BR-02 e BR-03, esses teores podem ser vistos no gráfico da Figura 4.2.

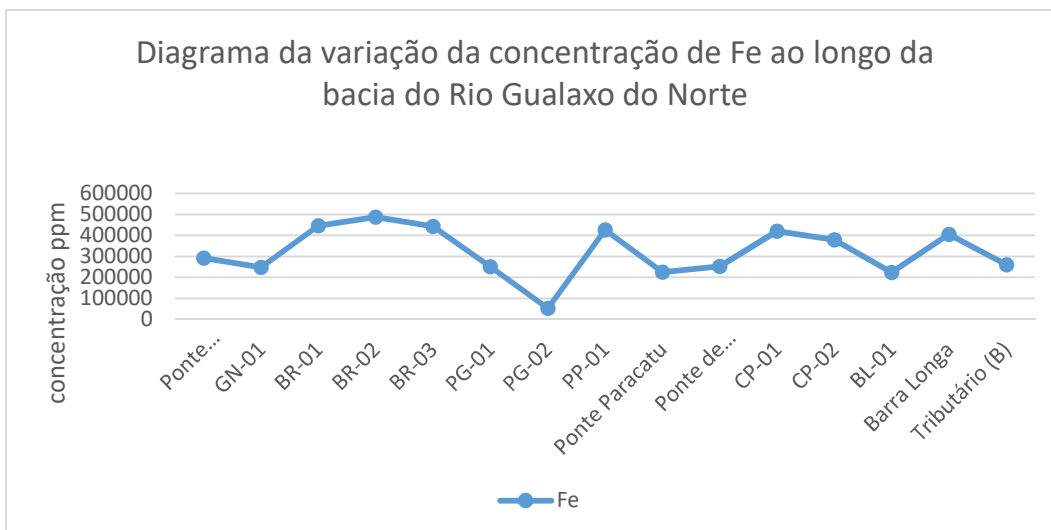


Figura 4.2-Diagrama da variação da concentração de Fe ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

As correlações do ferro com elementos Mn, Al e Ca+Mg são mostrados nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5.

Os elementos Mn, Al, Ca+Mg demonstraram uma correlação positiva com o elemento Fe. Já os elementos As, Co e Pb que apresentaram seus valores de concentração abaixo do limite de detecção, LQ, não foi possível traçar uma linha de tendência.

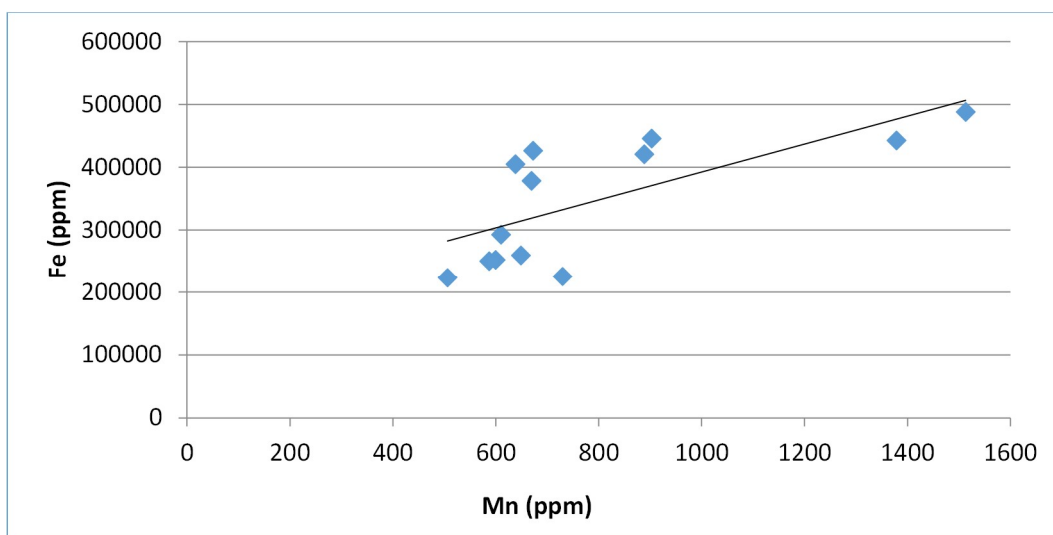


Figura 4.3-Correlação Fe X Mn

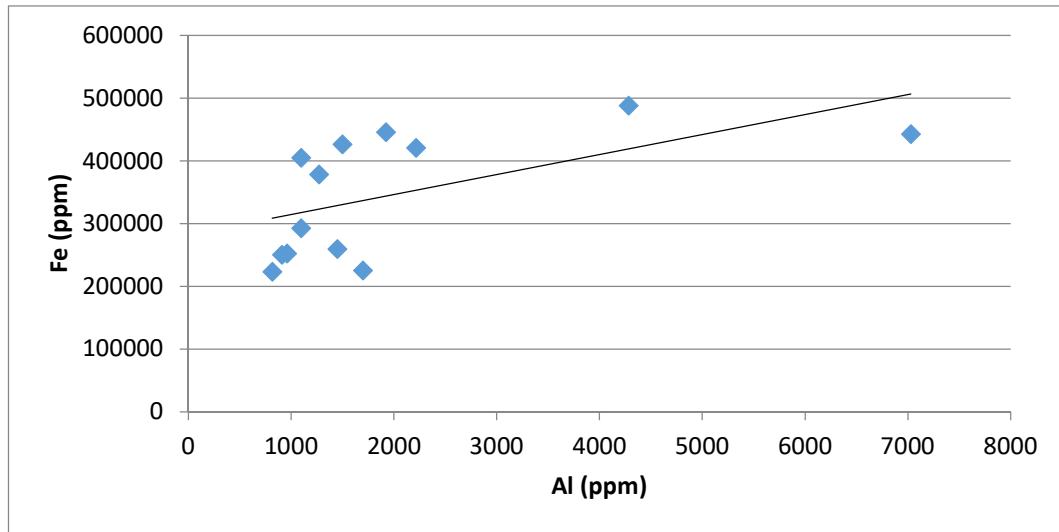


Figura 4.4-Correlação Fe X Al

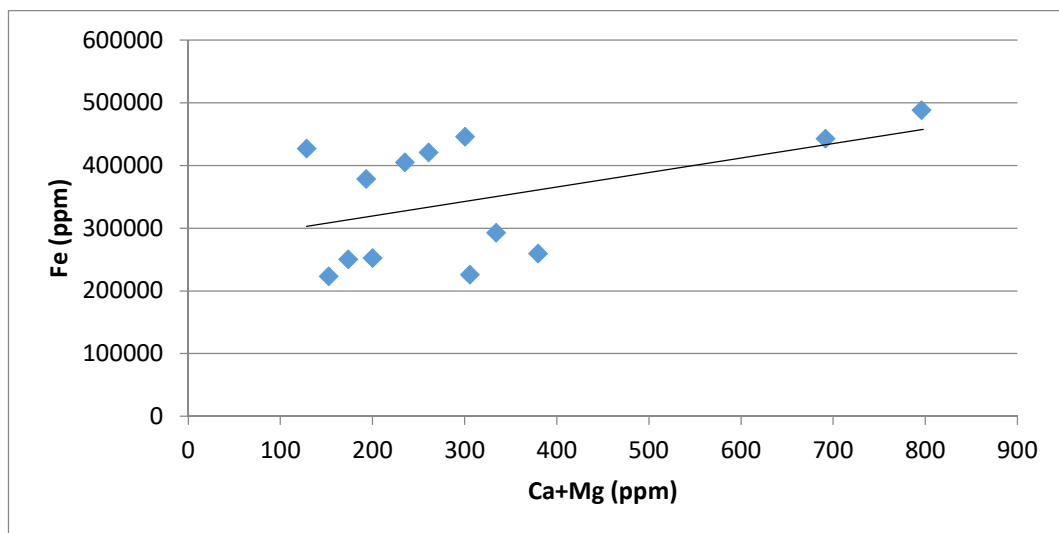


Figura 4.5-Correlação Fe X (Ca+Mg)

4.3.3-Alumínio

O alumínio tende a ter uma baixa solubilidade durante o intemperismo, se acumulando em crostas lateríticas formando bauxita. É comumente associado a óxidos e hidróxidos de Fe-Mn, e é comum na composição química de argilominerais além de feldspatos, micas e solos residuais, as bauxitas.

As concentrações nos trechos do Rio Gualaxo do Norte são muito baixas, na faixa dos 1500ppm, isso provavelmente se deve a soterração causada pelos rejeitos da barragem de Fundão. Fato esse que pode ser comprovado devido aos dois pontos localizados fora da região de interferência do incidente, onde as concentrações de alumínio são altas, sendo 10331ppm na

amostra GN-01 e 38663ppm na amostra PG-02, esta última localizada sobre as rochas do complexo Santa Bárbara e fora da bacia do Rio Gualaxo do Norte, Figura 4.6.

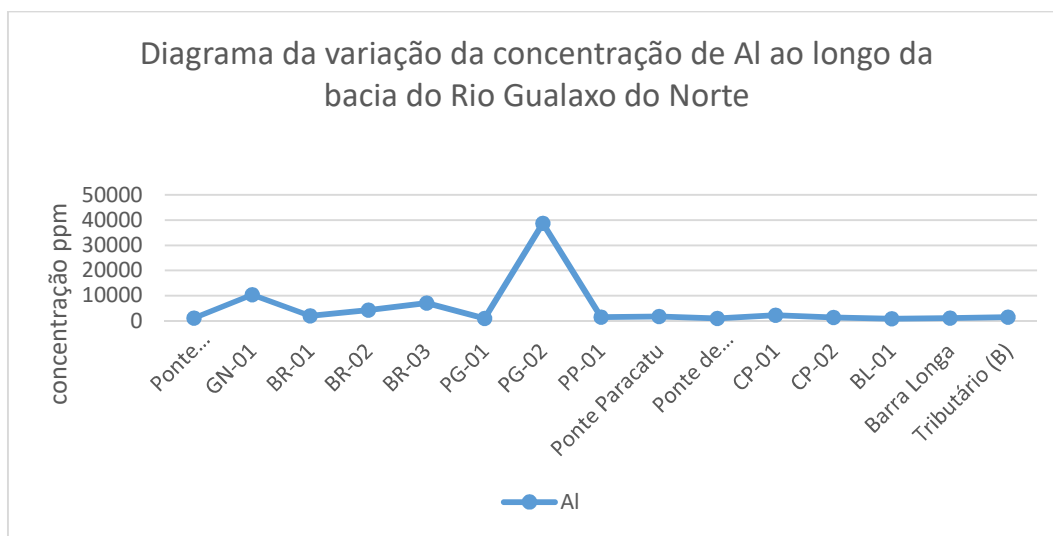


Figura 4.6-Diagrama da variação da concentração de Al ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 mostram as relações existentes entre o Al e os elementos Na, Mg e Ca. Em todos os gráficos analisados o alumínio apresenta uma correlação positiva.

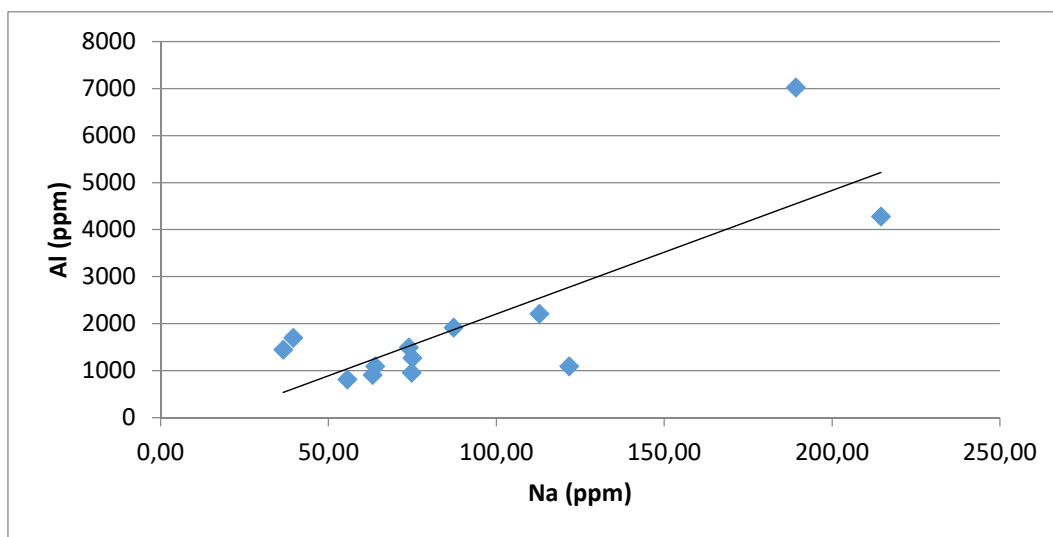


Figura 4.7-Correlação Al X Na

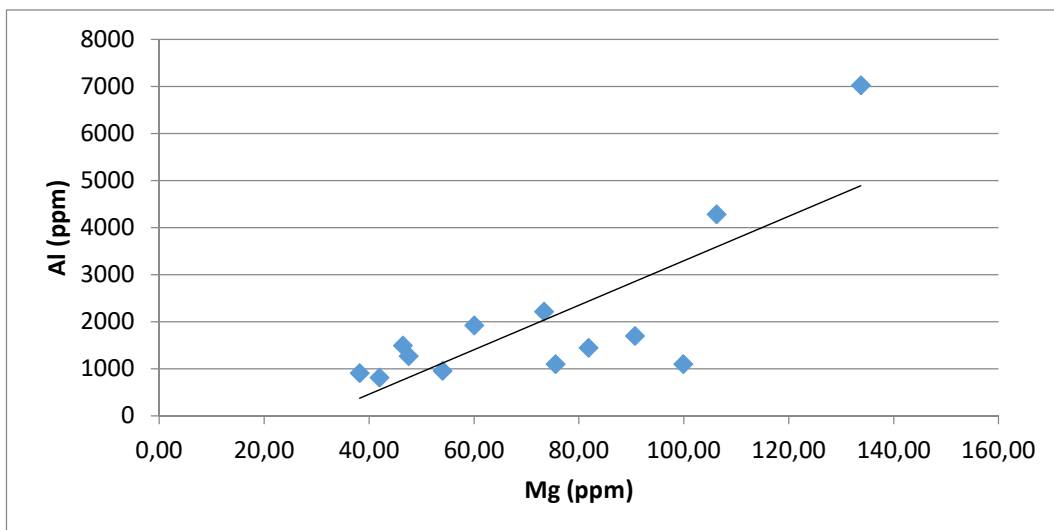


Figura 4.8-Correlação Al X Mg

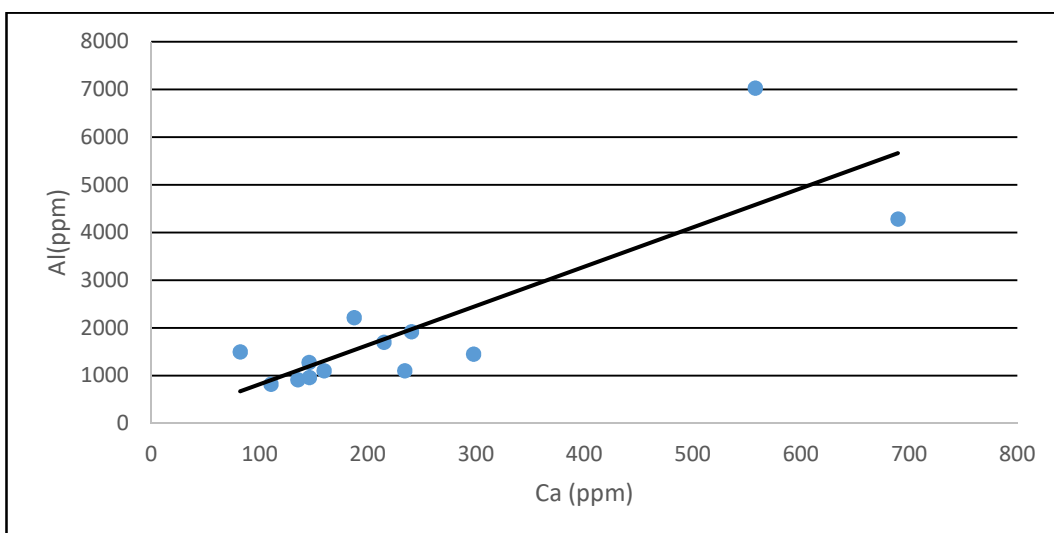


Figura 4.9-Correlação Al X Ca

4.3.4-Manganês

O manganês é um elemento muito presente na natureza, segundo Wedepohl (1978) ele se encontra em mais de 250 minerais como sulfatos, cloratos, carbonatos e óxidos, dados mais atualizados do site www.webmineral.com mostram que atualmente são mais de 750 minerais catalogados que possuem manganês em sua composição química. Costa (2001) conclui que ao longo do Rio Gualaxo do Norte o manganês se apresenta principalmente na forma de óxidos. Carvalho (1995) afirma que os elementos Ni, Co, Cu, Zn, Ba, Li, K e Pb são encontrados em teores mais elevados em formações manganesíferas e ferromanganesíferas do que em formações ferríferas.

Rodrigues (2012) analisou que no Rio Gualaxo do Norte os valores de *background* de Mn se situam em torno de 1636ppm. Com a atual análise feita, constatamos que com exceção da amostra GN-01, todos os valores de concentração desse elementos se encontraram abaixo do valor calculados por Rodrigues (2012), abaixo de 1500ppm, sendo que apenas a amostra GN-01 apresentou uma anomalia de 7340ppm, Figura 4.10.

É importante ressaltar que estudos anteriores conduzidos por Costa (2001) mostram que valores de Mn na região próxima ao ponto de coleta da amostra GN-01 já possuíam altas concentrações do elemento associadas a intervenções antropogênicas relacionadas a uma antiga mina de desativada de Mn, chamada Miguel Congo próxima ao distrito de Antônio Pereira.

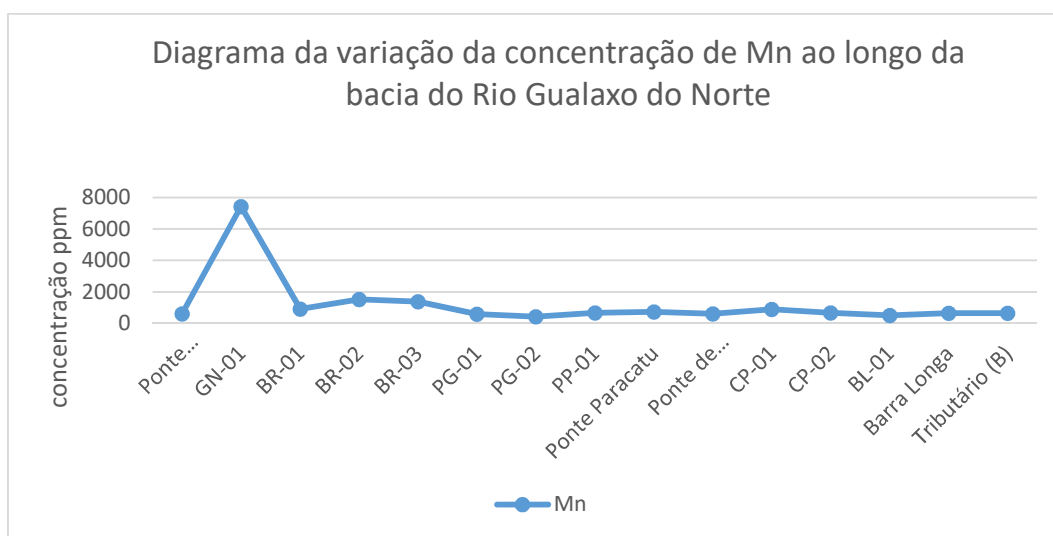


Figura 4.10-Diagrama da variação da concentração de Mn ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

As Figuras 4.11 e 4.12 mostram as correlações positivas existentes entre o Mn e os elementos Cu e Zn.

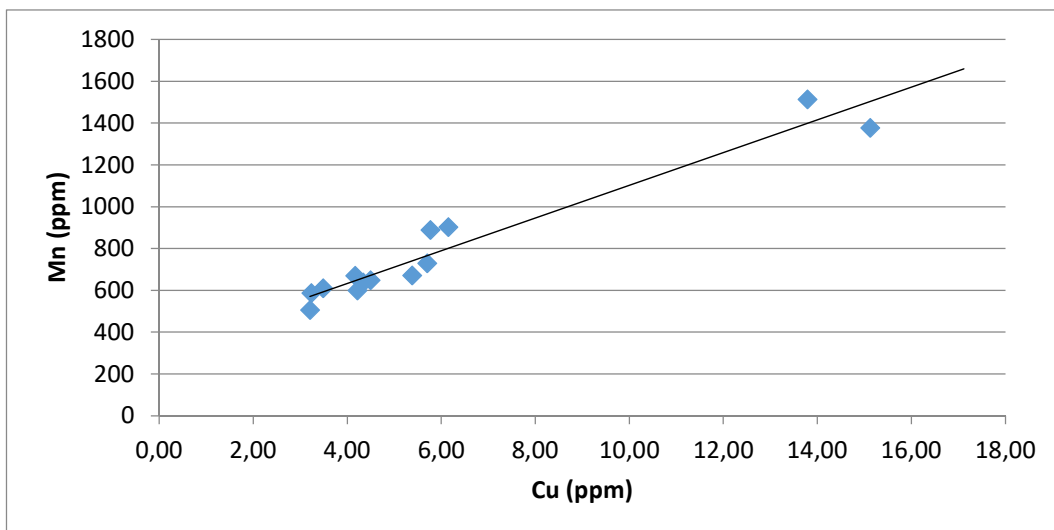


Figura 4.11-Correlação Mn X Cu

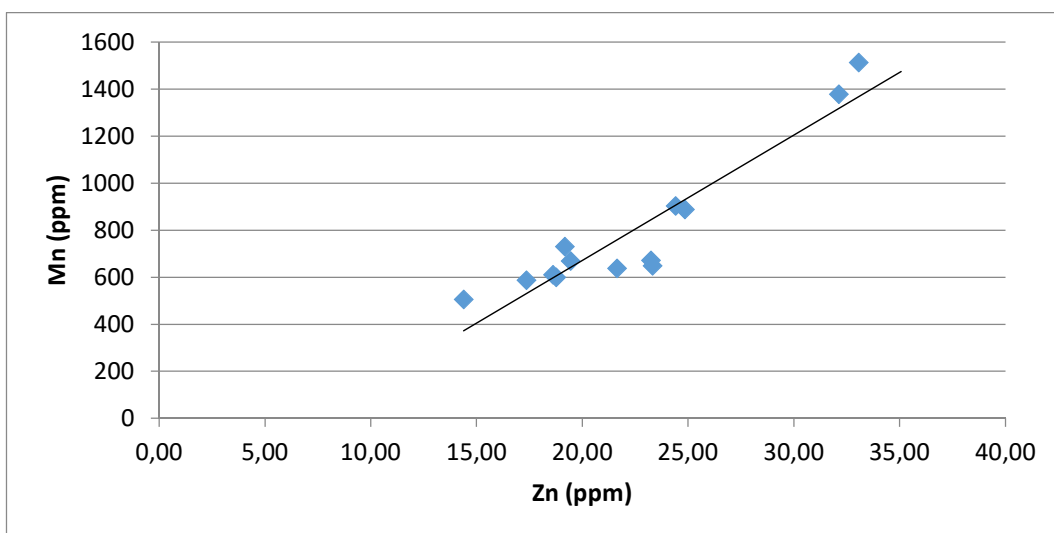


Figura 4.12-Correlação Mn X Zn

4.4-METAIS PESADOS

Allaway (1993) destaca que os metais pesados são elementos pertencentes ao grupo de transição da tabela periódica possuindo densidade acima de $4,0\text{g/cm}^3$. Os metais pesados são elementos que podem ser tóxicos aos seres vivos, e também aumentam sua concentração segundo influências antrópicas.

Muitos desses metais são essenciais para a vida de seres vivos, porém em altas concentrações podem se tornar nocivos e prejudiciais. O mesmo autor afirma que as concentrações desses elementos são associados de forma natural às litologias encontradas, porém, por ações antrópicas que levem a exposições de rochas que contenham certas

quantidades de metais pesados a solubilidade de cada um vai determinar seu grau de concentração.

Borba (2000) afirma que rochas tipo *greenstone belt* do Quadrilátero Ferrífero contêm uma concentração maior de elementos como As, Ag, Sb, Cu, Pb e Zn transportados a partir de fluidos hidrotermais associadas a mineralizações de ouro. Com ações antrópicas de mineração esses elementos têm sua mobilização e concentração acelerada.

No caso o Arsênio não se trata de um metal e sim de um semimetal do grupo dos metaloides, para essa análise o elemento é colocado na seção de metais pesados devido a sua toxicidade e por ser um elemento prejudicial aos seres vivos.

4.4.1-Bário

O bário está distribuído principalmente na estrutura de feldspatos e micas, muitas vezes substituindo o Ca. O principal mineral que possui Ba é a barita ($BaSO_4$), encontrada em depósitos hidrotermais e rochas sedimentares, sendo complexado principalmente com argilas e óxi-hidróxidos de Fe-Mn.

Os valores de do *background* encontrados por Rodrigues (2012) são de cerca de 141,4mg/kg para concentrações de Bário na bacia do Rio Gualaxo do Norte, dentre todas as amostras analisadas apenas a GN-01, localizada no alto curso do rio apresentou valores superiores ao *background*, cerca de 280,84ppm, todas as outras amostra tiveram valores inferiores a 72ppm, Figura 4.13.

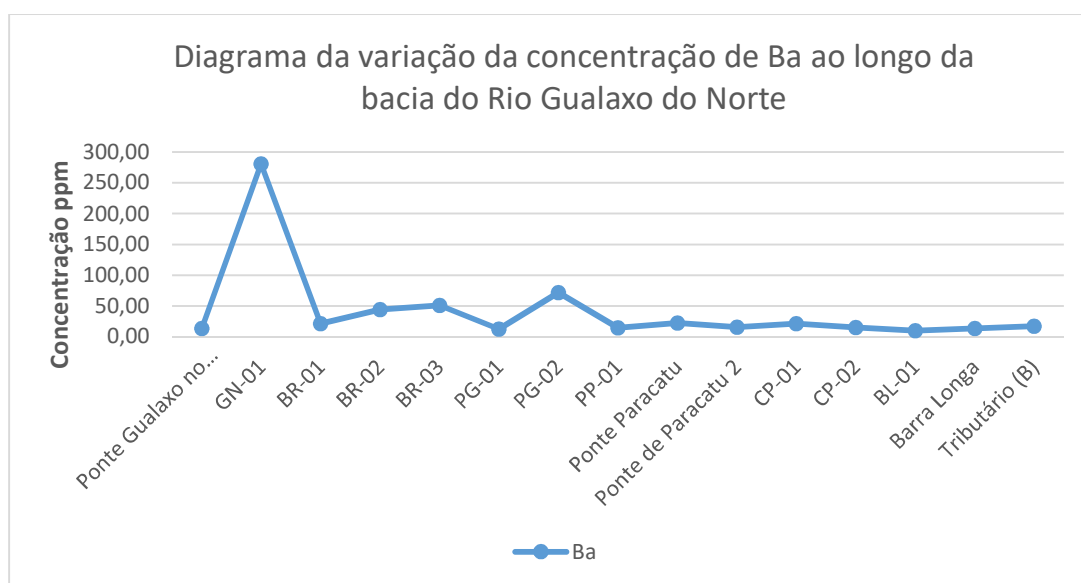


Figura 4.13-Diagrama da variação da concentração de Ba ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

A Figura 4.14 mostra uma correlação positiva entre os elementos Mn e Ba, notar que ambos os elementos possuem uma relação semelhante em concentração, com pico anômalo no ponto GN-01, que fica no Rio Gualaxo do Norte a montante de Bento Rodrigues a jusante de Antônio Pereira, local onde já ocorreu, segundo Costa (2001), minerações auríferas e manganésíferas, que podem estar associadas ao valor alto de concentração neste ponto.

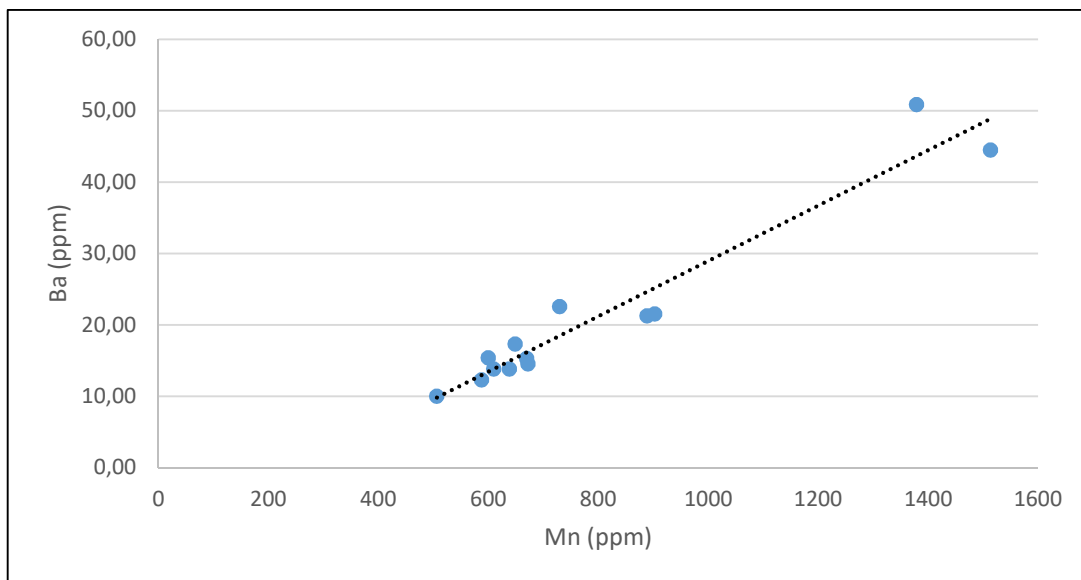


Figura 4.14-Correlação Ba X Mn

4.4.2-Arsênio

O arsênio é um elemento da classe dos metaloides encontrado na natureza na forma elementar ou na forma de compostos minerais. Sendo os minerais mais comuns a arsenopirita (FeAsS), enargita ($\text{Cu}_3\text{As}_2\text{S}_5$), auripigmentos (As_2S_3) e realgar (As_2S_3), fonte obtida pelo site www.webmineral.com. Esse elemento está naturalmente associado ao ouro e à prata em associações hidrotermais e também ao cobre, níquel, cobalto, ferro e prata em sulfetos maciços além de depósitos de urânio. Para Reimann & Caritat (1998) devido sua grande disponibilidade e associação a vários tipos de mineralização é um importante elemento na prospecção de ouro, prata, chumbo, zinco e cobre.

O arsênio é considerado um elemento extremamente tóxico, porém, também é fundamental no funcionamento biológico de diversos organismos. Reimann & Caritat (1998) afirmam que sua toxicidade varia de acordo com sua valência compostos com As^{3+} são mais tóxicos que os compostos de As^{5+} .

Adriano (1986) aponta que concentração do elemento nas rochas costuma variar entre 0,5 a 2,5ppm sendo que em sedimentos argilosos pode atingir até 13mg/kg. Rodrigues (2012)

constatou que na bacia do Rio Gualaxo do Norte o *background* geoquímico para as concentrações de As é de 64,2mg/Kg, muito maiores que o limite estabelecido pela norma CONAMA n° 344/2004.

Apesar dos estudos realizados por Rodrigues (2012) anteriores ao desastre apontarem teores altos para concentração de arsênio, apenas uma única amostra localizada fora da área de influência, GN-01, possui uma concentração anômala, de 38,5mg/Kg, como pode ser visto na Figura 4.15. Porém, ainda inferior ao padrão de *background* obtido por Rodrigues (2012), todas as outras amostras se encontram com concentrações menores que 11ppm.

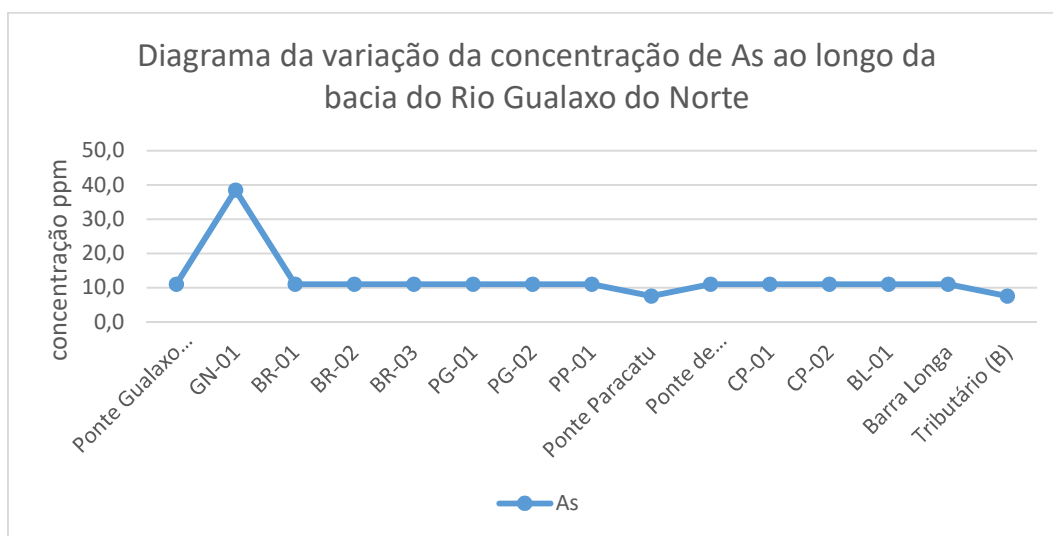


Figura 4.15-Diagrama da variação da concentração de As ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

Como já foi observado o As é um elemento que está associado a mineralizações auríferas e como assim como os elementos Ba e Mn essa amostra possui um pico anômalo na amostra GN-01 localizada a jusante do distrito de Antônio Pereira local que sofreu uma grande influência de antigas explorações de ouro e manganês, Costa (2001)

4.4.3-Cromo

O cromo é um elemento abundante na natureza, em torno de 0,0102% em massa na crosta terrestre, Grevesse *et al.* (1988), e presente em todos os tipos de rocha, mas com uma concentração maior do elemento em rochas máficas e ultramáficas.

Conforme Wedepohl (1978) o cromo é resistente a intemperismo e ocorre comumente em crostas lateríticas, chapadas de “chapéus de ferro” e *placers* ricos em metais pesados. O elemento ocorre em dois estados de oxidação Cr^{3+} e Cr^{6+} , sendo o primeiro mais estável e benéfico às formas de vida e o segundo tóxico. Sua mobilidade e interação com o meio ambiente

é semelhante ao Al^{3+} e Fe^{3+} tendendo a se concentrar como elemento residual em argilas e lateritas.

Reimann & Caritat (1998) afirmam que o principal mineral que contém cromo é a cromita ($FeCr_2O_4$) e os principais hospedeiros os piroxênios, os anfibólios, as micas, as granadas e os espinélios, além disso está comumente associados aos elementos do grupo da platina: Ni, Cu, Co e EGP's. Nas normas da CETESB (1985) o teor de cromo em sedimentos recomendado é 25ppm.

Na área de estudo foi constatado que as amostras obtidas nas proximidades com o distrito de Bento Rodrigues e também as localizadas fora da área de interferência do despejo dos rejeitos possuem teores mais elevados: 45,86ppm na amostra GN-01, 27,82ppm na amostra BR-02 e 31,75 na amostra BR-03. Já a concentração mais elevada foi na amostra PG-02 situada sobre rochas do complexo Santa Bárbara com 109,86ppm, como pode ser visto na Figura 4.16.

As amostras situadas próximas ao baixo curso do rio: PP-01, Ponte Paracatu, Ponte de Paracatu2, CP-01, CP-02, BL-01, Barra Longa e Tributário (B) obtiveram concentrações muito baixas de cromo sendo menores que 18ppm.

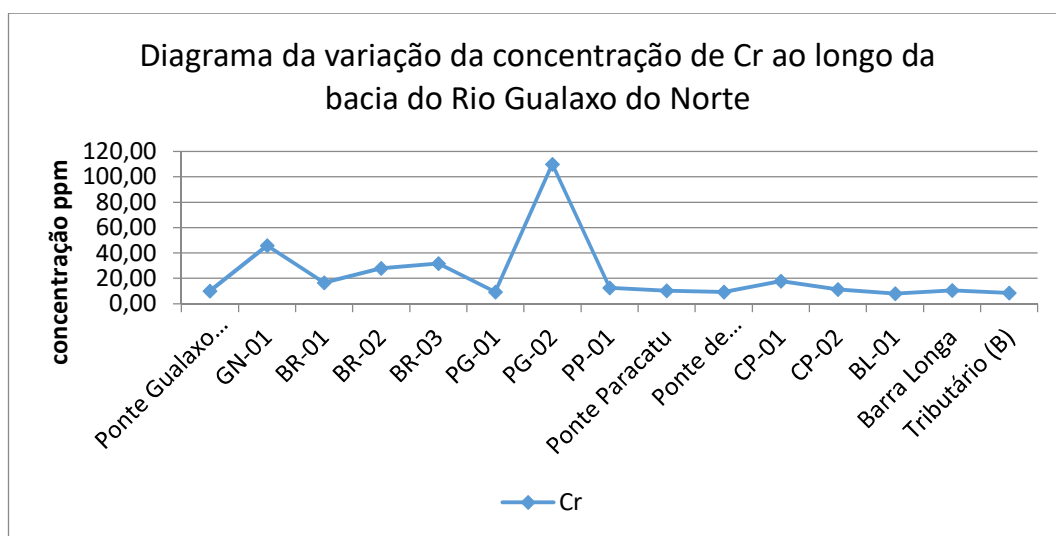


Figura 4.16-Diagrama da variação da concentração de Cr ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

4.4.4-Níquel

O níquel pertence à família dos siderófilos, se associa a minerais ferromagnesianos e sulfetos. Suas principais formas de mineralização são em sulfetos maciços em associações com Ni-Co-Fe-Cu-Ag-EGP-Se-Te-As-S, filões lenticulares de sulfuretos com Ni-Co-Fe-Cu-S, depósitos de urânio e depósitos lateríticos.

Raimann & Caritat (1998) afirma que a mobilidade do níquel é baixa em condições oxidantes e elevada em ambiente ácido, muito baixa em ambiente neutro a alcalino e redutor. A maioria dos compostos de níquel é relativamente solúvel a pH inferior a 6,5 mas insolúvel a pH superior a 6,7.

Segundo Branco (1982) os principais minerais que possuem níquel em sua estrutura são: pentlandita, polidimita (Ni_3S_4), heazlewoodita (Ni_3S_2), nicolita (NiAs), cloantita [$(\text{Ni},\text{Co})\text{As}_3$], gersdorffita, bravoíta [$(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}_2$], millerita (NiS), rammelsberguita (NiAs_2), revdanskita (silicato de Níquel do grupo das serpentinhas), nontronita (aluminossilicato básico hidratado de Fe), pirrotita e garnierita.

A resolução CONAMA 344 de 2004, os valores máximos permitidos de Ni nos sedimentos varia de 18 a 36 mg/kg, sendo que acima de 36 mg/kg possui potencial efeito adverso à biota. Na avaliação do *background* Rodrigues (2012) encontrou 39ppm de Ni nos sedimentos do Rio Gualaxo do Norte

A Figura 4.17 mostra a distribuição de níquel do alto curso até o baixo curso do Rio Gualaxo do Norte, dentre todas as amostras coletadas apenas duas ficaram com teores acima do LQ: a amostra GN-01 e PG-02. A primeira se localiza sobre rochas do Grupo Piracicaba, com concentração de 15ppm, e a segunda sobre o complexo Santa Bárbara, com concentração de 19,22ppm, ambas estão fora da região de interferência dos rejeitos da barragem de Fundão e abaixo do *background* definido por Rodrigues (2012), todas as outras amostras ficaram abaixo de 6,33ppm.

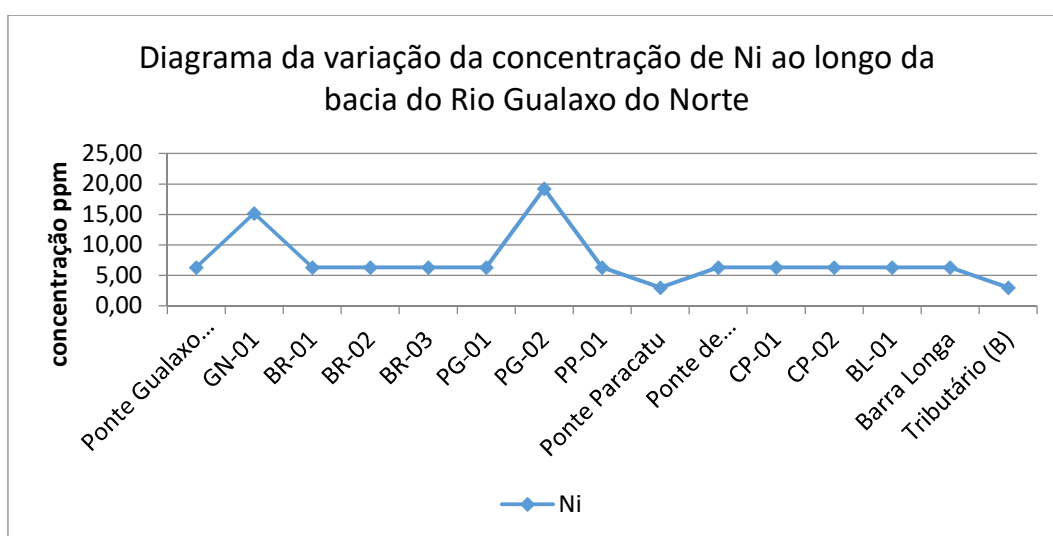


Figura 4.17-Diagrama da variação da concentração de Ni ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

4.4.5-Vanádio

Wedepohl (1978) afirma que o vanádio é um elemento que age de forma similar ao arsênio, estando associado a Pb, Cu, Zn e Mn em depósitos sulfetados, silicatados e na estrutura molecular de micas. Produtos de intemperismo, como lateritas e bauxitas, são comumente enriquecidos de V sendo que óxidos de ferro têm maior potencial de absorção do elemento.

As concentrações desse elemento ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte são mostradas na Figura 4.18 e variaram entre 4,05ppm a 83,48ppm e assim como os outros metais pesados, as maiores concentrações estão localizadas fora da área de interferência dos rejeitos da barragem de fundão, sendo as amostras GN-01 com uma concentração de 52,96ppm e a amostra PG-02 com concentração de 83,48ppm.

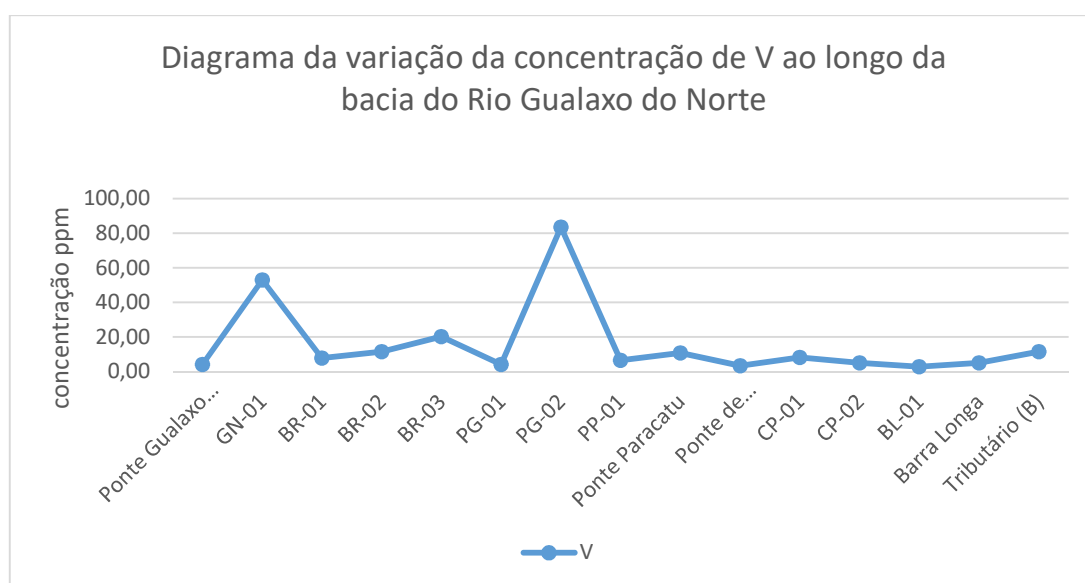


Figura 4.18-Diagrama da variação da concentração de V ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

4.4.6-Chumbo

Reimann & Caritat (1998) afirma que os principais minerais de chumbo são a galena (PbS), a anglesita (PbSO₄) e a cerussita (PbCO₃), porém, pode estar na estrutura de mais de 200 minerais conhecidos, apresentando-se em dois estados de oxidação: Pb²⁺ e Pb⁴⁺.

Segundo Koljonen *et al.* (1992) o chumbo é um elemento tóxico ao seres humanos, acumulando-se em tecidos ricos em cálcio, fígado e no sistema nervoso podendo levar a morte e a demência.

Conforme resolução do SEMA (1980) as concentrações máximas permissíveis de Pb em sedimentos são de 20ppm. Já a resolução CONAMA 344 (2004) afirma que a máxima

permissível é um acúmulo de 31 a 91,30ppm. Rodrigues (2012) definiu como *background* geoquímico a concentração de 43,8ppm.

Pela Figura 4.19 o único ponto que apresentou um valor anômalo de concentração de Zn foi o PG-02, mesmo onde a maioria dos outros metais pesados se concentraram, porém, é abaixo do *background* geoquímico determinado por Rodrigues (2012). Todos os outros pontos ficaram com concentração abaixo de 9ppm.

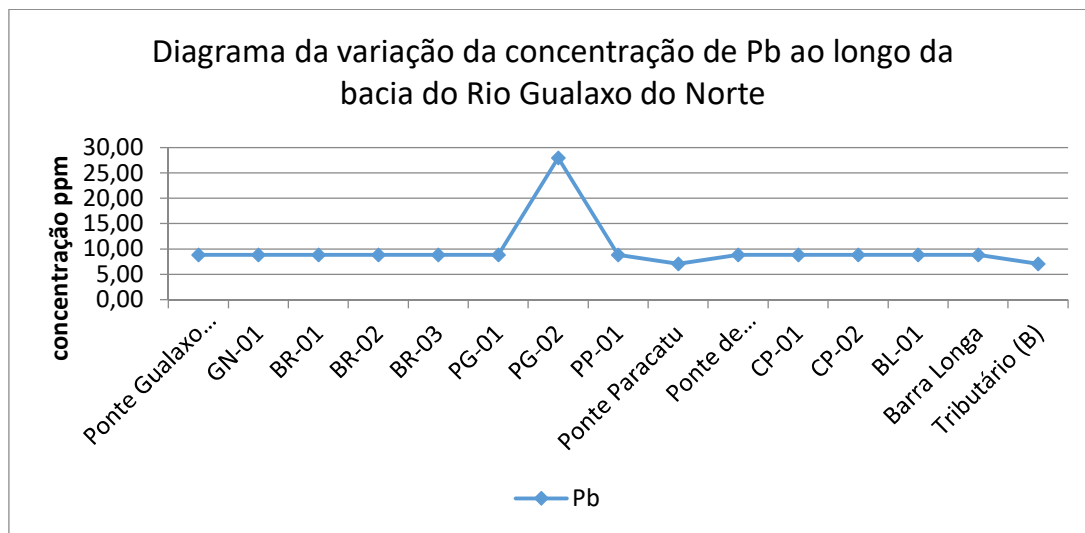


Figura 4.19-Diagrama da variação da concentração de Pb ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

4.4.7-Cobre

O cobre é um metal de transição sendo um dos elementos de grande abundância na crosta terrestre. É do grupo dos calcófilos e possui duas famílias principais de minerais: os primários representados pelos sulfetos e os secundários que são minerais oxidados, lembrando que também pode aparecer na natureza como cobre nativo.

Reimann & Caritat (1998) afirmam que os principais hospedeiros de cobre são: a calcopirita (CuFeS_2), calcocita (Cu_2S), covelita (CuS), bornita (Cu_5FeS_4), tetraedrita ($(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), enargita (Cu_3AsS_4), malaquita $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})$, azurita $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ além de cobre nativo.

Pela CETESB (1985) as concentrações em sedimentos o teor de cobre permissível é de 10ppm e em rochas associadas já de acordo com a CONAMA 344/04, os valores de referência para Cu em sedimentos são 35,7ppm a 197ppm. Estudos realizados pelo DNPM (1993) avaliam que sedimentos associados ao Supergrupo Rio das Velhas a concentração é em média de 22ppm.

Como pode ser visto na Figura 4.20 as concentrações ao longo do Rio Gualaxo do Norte variaram entre 3,2ppm a 92,63ppm e assim como os outros elementos menores analisados, as maiores concentrações também foram em áreas fora da influência dos rejeitos da barragem de Fundão que são respectivamente as amostra GN-01 e PG-02.

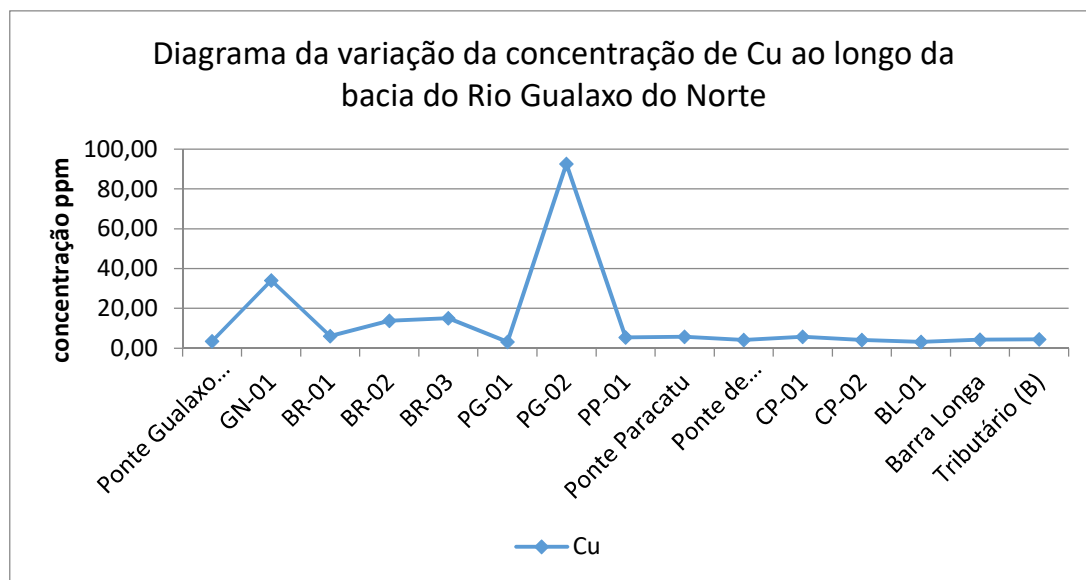


Figura 4.20-Diagrama da variação da concentração de Cu ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte
4.4.8-Zinco

Wedepohl (1978) considera que o zinco está associado normalmente com Pb, Cd, Fe e Cu, dentre os principais minerais que possuem esse elemento estão a esfarelita (ZnS), smithsonita (ZnCO₃) e a hemimorfita (Zn₄Si₃O(OH)₂). Em regiões onde há grande lançamento de esgoto doméstico no meio ambiente os teores de zinco nos sedimentos são mais elevados, também é um elemento essencial para atividades celulares dos seres vivos.

As concentrações máximas permissíveis para este elementos nos sedimentos é de 123 a 315 ppm, segundo a resolução CONAMA 344 de 2004. Os limites máximos permissíveis em sedimentos que não causam resultados nocivos aos seres humanos segundo a resolução SEMA (1980) in: CETESB (1985) é de 20ppm, os valores de *background* encontrados por Rodrigues (2012) são de 65,3ppm.

Ao longo do Rio Gualaxo do Norte a única amostra que apresentou valores acima do *background* de Zn foi a PG-02, situado sobre o complexo Santa Bárbara e fora da área de interferência dos rejeitos da barragem de Fundão, com 77,70ppm, Figura 4.21, as outras amostras ficaram com concentrações abaixo de 34ppm.

Estudos conduzidos por Amigo (1998) mostram que produtos de limpeza como o sabão em pó possui em sua formula quantidades consideráveis de elementos como Zn, Cu e Cd, o despejo sem o devido tratamento de esgotos contaminados por esses elementos acaba poluído águas e sedimentos. A concentração elevada de zinco em pontos próximos a trechos urbanos pode estar associadas a despejo de esgoto doméstico não tratado.

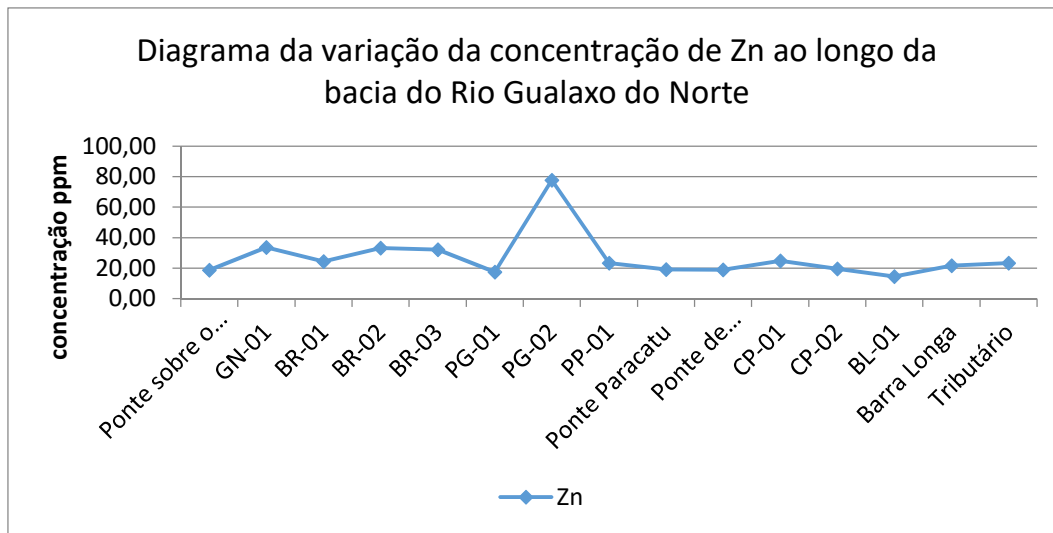


Figura 4.21-Diagrama da variação da concentração de Zn ao longo da bacia do Rio Gualaxo do Norte

5-CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1-CONCLUSÕES

Rodrigues (2012) avaliou as condições ambientais e geoquímicas da bacia do Rio Gualaxo do Norte anteriormente ao incidente ocorrido na barragem de Fundão. Com seu trabalho foi possível calcular valores de *background* que poderiam ser utilizados como referências para trabalhos posteriores. Os elementos avaliados em seu trabalho foram: Fe, As, Pb, Mn, Ba, Zn, Ni. Todos estes estavam com concentrações acima dos valores considerados seguros para o seres humanos.

O presente trabalho fez uma análise granulométrica e avaliou as concentrações de elementos maiores e metais pesados de sedimentos da bacia do Rio Gualaxo do Norte logo após o rompimento da barragem de Fundão. Foram coletadas amostras tanto em localidades afetadas pelo rejeito da barragem quanto de áreas fora da influência do incidente. Além dos elementos já avaliados por Rodrigues (2012), Fe, As, Pb, Mn, Ba, Zn, Ni, foram analisados também: Ca, Mg, K, Na, Cr, Cu, V e Al.

Vale ressaltar que a área de estudo, localizada a leste do Quadrilátero Ferrífero, possuindo uma grande diversidade litológica, e o Rio Gualaxo do Norte corta praticamente todas as unidades encontradas na região citada, logo a diversidade de elementos também é grande.

Com a análise granulométrica foi possível notar que a fração mais fina corresponde a maior parte de todo o sedimento às margens do Rio Gualaxo do Norte, o que correspondeu a mais de 50% de todo material coletado. Apenas no ponto GN-02 localizado fora da bacia em estudo o percentual de sedimentos grossos foi maior. Isso comprova uma interferência direta dos rejeitos da barragem de Fundão, que possui uma grande quantidade em massa de materiais finos, nos sedimentos da bacia do Rio Gualaxo do Norte.

O elemento Fe foi o de maior expressividade dentre os estudados. Rodrigues (2012) calculou um valor de *background* em torno de 8,2% de teor para a concentração do elemento na bacia estudada, porém, as análises do presente trabalho encontraram teores que ultrapassam os 22% e apenas a amostra PG-02 localizada fora da área afetada pelo incidente apresentou valores abaixo do *background*, cerca de 5,25%.

A respeito dos altos teores de Fe é importante ressaltar que os rejeitos provenientes do beneficiamento do minério de ferro de baixo teor feito pela Samarco, possuem uma quantidade alta de óxidos e hidróxidos de ferro em uma fração muito fina que não pode ser aproveitado e acaba sendo descartado. Com o rompimento da barragem a disposição do elemento aumentou, o que pode ser notado pelo maior percentual de Fe nos pontos próximos a barragem, ou seja, o aumento dos valores de concentração estão associados diretamente a barragem, já que a maior parte do rejeito é composta por ferro.

Al e Mn foram elementos com baixas concentrações ao longo do rio, com picos em pontos onde afloram rochas sedimentares e metaígneas, como as amostras GN-01 e PG-02, no caso do elemento Mn sua concentração está muito abaixo do valor de referência estabelecido por Rodrigues (2012), de 1636,00ppm. Já o Al apresenta apenas um ponto com percentual em torno de 40%, associado a rochas metatônicas do complexo Santa Bárbara, o que explica o alto teor na amostra GN-02.

As e Ba foram elementos que apresentaram um padrão de concentração semelhante, ou seja, muito abaixo dos valores de *background* calculados por Rodrigues (2012), 64,2ppm para As e 141,4ppm para Ba, ao longo da bacia, e com pico de concentração no ponto GN-01.

Ao analisar o elemento Zn foi possível notar que suas concentrações são maiores não apenas em zonas não afetadas pelo acidente mas também em locais com proximidade a trechos urbanos. No caso, as amostras BR-01 a 03 possuem uma quantidade mais elevada desse elemento devido a estar situada no antigo distrito de Bento Rodrigues. Isso se deve a associação de zinco a locais de despejo de esgoto, mas mesmo assim estão abaixo dos valores de referência de 65,3ppm, sendo único ponto de alto teor PG-02 com 77,70ppm.

Os outros elementos analisados, Cr, Ni, V, Pb e Cu, possuem uma dispersão semelhante, ambos ao longo da região afetada pelo incidente estão com concentrações muito abaixo de *background*, 39,0ppm para Ni e 43,8ppm para Pb, com picos nos pontos fora da área afetada, sendo que tanto o Ni quanto o Pb estão com seus valores de picos ainda menores que os valores de referência.

A amostra GN-01 coletada no trecho do Rio Gualaxo do Norte localizado a jusante do distrito de Antônio Pereira possui anomalias de Mn, Ba, As, Cr, Ni, V, Cu, Zn, Ca e Mg. O distrito possui em seu passado grande influência antrópica relacionada a mineração de ouro e manganês, esses valores elevados para esses elementos estão associados a esses anos exploração sem devidos cuidados.

Com esse estudo foi possível comprovar que ao longo do trecho do rio afetado pelo acidente as concentrações de metais pesados nocivos às formas de vida se encontravam abaixo dos valores de *background* calculados para a região. Já áreas não afetadas pelo rejeito estavam com valores de determinados elementos com concentrações iguais ou superiores aos limites calculados para a região, seja pela própria concentração natural ou mesmo por influências antrópicas influenciadas por antigas minerações auríferas e manganésíferas e despejo de esgotos não tratados

O processo de beneficiamento de minério de ferro feito pelas usinas da Samarco não usam nenhum tipo de metal pesado. Por isso os rejeitos são compostos basicamente de ferro e sílica em uma fração muito fina, e basicamente isso comprova os altos teores de Fe encontrados nos sedimentos do rio e os baixos teores de metais pesados que por vezes se encontravam até abaixo do limite de detecção dos aparelhos (LQ).

Áreas onde a concentração dos elementos são maiores é devida ao próprio *background* geoquímico já ser elevado ou possuírem influências antrópicas de outras origens não relacionadas aos rejeitos de Fundão, isso é o caso das áreas estudadas não afetadas pelos rejeitos da barragem. Em resumo não ocorreu contaminação dos sedimentos do Rio Gualaxo do Norte por metais pesados e com exceção do elemento Fe e do grande quantidade de material fino depositado no leito do rio não há aumento de concentração de outros elementos ao longo da área do Rio Gualaxo do Norte afetada pelos rejeitos da barragem de Fundão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. New York, Springer-Verlag. 533p.
- Alkmin F.F. & Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90:29-58.
- Alloway B. J. 1993. Soil Processes and the Behaviour of metals. In B. J. Alloway (Ed.) Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, London, 11-37.
- Almeida, F. F. M. de. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. 1984, *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher, 378 p.
- Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- Amigo, N. A. de. 1998. *Propriedade das Normas de Lançamento de Esgoto*. ENSP / DSSA. Fundação Oswaldo Cruz. Mato Grosso do Sul. Tese de Mestrado. 104p.
- Baltazar O.F. & Raposo F.O. 1993. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folha Mariana (SF.23X-B-I-3), escala 1:100000, Estado de Minas Gerais. CPRM. 183 p.
- Baltazar, O.F.; Pedreira, A.J., 1998. Associações litofaciológicas. In: Zucchetti, M. ; Baltazar, O.F. (eds). Projeto Rio das Velhas: texto explicativo do mapa geológico Integrado, escala 1:100.000. 2 ed, DNPM /CPRM, Belo Horizonte, p. 43-47.
- Berbert-Born M. L. C. 1998. *Geoquímica dos Sedimentos Superficiais de Lagoas da região Cástica de Sete Lagoas – Lagoa Santa (MG), e os Indícios de Interferência Antrópica*. Dep. de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 197 p.
- Borba R. P., Figueiredo B. R., Rawlins B., Matschullat J. 2000. Arsenic in Water and Sediment in the Iron Quadrangle, State of Minas Gerais, Brazil. *Applied Geochemistry*, 15 (2): 181-190.
- Branco, P. de M. 1982. *Dicionário de Mineralogia*. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2ª Edição, 264 p
- Brandalise L.A. 1991. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil – PLGB; Carta Geológica, Carta Metalogenético-Previsional da Folha de Ponte Nova (SF.23-XBII), escala 1:100.000. Belo Horizonte.
- Carvalho, I. G. Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos. Salvador: Bureau Gráfica e Editora, 1995. 239 p.
- Carvalho, N. O. 1994. Hidrossedimentologia. Rio de Janeiro: CPRM.
- CETESB 1985. Estudo Emergencial dos Níveis de Contaminação por Metais Pesados na Água, Sedimentos e Peixe do Reservatório Rio das Pedras. São Paulo. 10p.
- Christofolletti, A. 1980. Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher.
- Christofolletti, A. 2002. Modelagem de sistemas ambientais. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher. 236 p.
- CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. 2004. Resolução número 344, 25 de março de 2004. Diário Oficial da União, n.85, de 30 de março de 2004. Acesso em 03/08/2010
- Costa, A. T. 2001. *Geoquímica das águas e dos sedimentos da bacia do Rio Gualaxo do Norte, leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): estudo de uma área afetada por atividades de extração mineral*. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. 146p.
- CPRM, 1993. Levantamentos geológicos básicos do Brasil, Mariana – Folha SF.23-XB-1. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Org. por Orivaldo Ferreira Baltazar e Frederico Ozanam Raposo. Brasília, DNPM/CPRM. 196p.
- Cunha, S. B. 1996. Geomorfologia Fluvial. In: Cunha S. B. e Guerra. A. J. T. (orgs) Geomorfologia: Exercícios, técnicas e aplicações. Editora Bertrand do Brasil: Rio de Janeiro.
- Derby, O.A. 1881. *Observações sobre algumas rochas diamantíferas da Província de Minas Gerais*. Rio de Janeiro. Arc. Museu. Nac., v. IV. p. 121-132
- Derby, O.A. 1906. The Serra of Espinhaço. *Journ. Geol.* v. 14. p. 374-401

- Dias, J. A. 2004 A análise sedimentar e o conhecimentos dos sistemas marinhos. Universidade de Algarve Faro, Portugal, 80p,
- Dias, J. E. C. 2015. *A Percepção da Comunidade do Município de Mariana-Mg em Relação às Ações Sociais e Ambientais das Empresas Mineradoras que Atuam na Região*. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Dissertação de Mestrado, 108p
- Dorr II J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Washington, USGS/DNPM. 110 p.
- Dorr II J.V.N. Gair J.E., Pomerene J.B., Rynearson G.A.. 1957. Revisão da estratigrafia Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Brasil. DFPM, DNPM 81. 31p.
- Dorr II, J. V. N.; Herz, N.; Barbosa, A. L. M.; Simmons, G. C. 1959. Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, Brasil. Rio de Janeiro, DNPM, 120p. (DFPM, Publicação Especial, 1).
- Eschwege, W.L.von. 1822. Geognostisches Gemälde von Brasilien und wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten. Berlin. Weimer. 44p
- Eschwege, W.L.von. 1832. Beitrage zur gebirgskunde Brasiliens. Berlin. G. Reimer Verlag. 488p
- Eschwege, W.L.von. 1833. Pluto Brasiliensis. Berlin. G. Reimer Verlag. 622p
- Evangelista H.J.J. 1984. *Petrologische Untersuchungen im Gebiet zwischen Mariana and Ponte Nova, Minas Gerais, Brasilien*. Clausthal-Aellerfeld. Tese de Doutorado, 183p.
- Ferrantes. F. 2014. *Estudo da viabilidade para recuperação de minério de ferro em rejeitos contidos em barragens*. Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal de ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. 86p.
- Förstner U., Heise S., Schwartz R., Westrich B., Ahlf W. 2004. Historical contaminated sediments and soils at the river basin scale. Examples from the Elbe River catchment area. *Journal Soils & Sediments*, 4(4): p. 247-260.
- Gair, J. E. 1958. Age of mineralization at The Morro Velho And Raposos Mines, Minas Gerais. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v.7, n.2, p. 39-45.
- Gorceix, C.H. 1881. Estudo químico e geológico das rochas do centro da Província de Minas Gerais. Primeira parte: Arredores de Ouro Preto. *Annaes Escola de Minas de Ouro Preto*, 1. p. 1-14
- Gorceix, C.H. 1884. Bacia Terciária d'água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarella e Fonseca). *Annaes Escola de Minas de Ouro Preto*, 3. p. 75-92
- Grevesse, N., Anders, E., Waddington, J. 1988. *Cosmic Abundances of Matter*, Amer. Inst. Phys., New York, p. 1. (1988).
- Guimarães, D. 1931. Contribuição à geologia do estado de Minas Gerais. *Boletim DNPM/SGMB*, n.55, 36p.
- Harder, E.C. ; Chamberlain, R.T.A. 1915. The geology of central Minas Gerais, Brazil. *Journal of Geology*, v.23, n.4, p.341-378 / n.5, p.385-424.
- IBGE. http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/territ_doc1.shtm
- Instituto Pristino. <http://www.institutopristino.org.br/atlas/municipios-de-minas-gerais/baixar-os-arquivos-shp-e-kml/>
- Koljonen, T. 1992. Geochemical Atlas of Finland, Part 2, Till. Geological Survey of Finland. 218 p.
- Ladeira E.A. 1980. *Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Universidade Ontário, Canadá, Tese de Doutorado. 272p
- Leão, L. P. 2014. Caracterização Geoquímica de Sedimentos da Bacia do Rio Maynard, MG. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. Trabalho Final de Graduação, 93p.
- López-Sánchez JF et al. 2002. Extraction Procedures for Soil Analysis. In: Quevauviller P et al. *Methodologies for Soil and Sediment Fractionation Studies*. Cornwall, UK: MPG Books Ltd.
- Marshak S. & Alkmin F.F. 1989. Proterozoic extension/contraction of the souther São Francisco Craton, Minas Gerais, Brazil. *Tectonics*. 8(3): p. 355-571
- Maxwell, C.H., Simmons, G.C. 1958. The Batatal Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira De Geologia*, São Paulo, v.7, n.2, p. 60-61

- Moreira, R. C. A., 2002. *Referência Geoquímica regional para interpretação das concentrações dos elementos químicos em sedimentos na bacia do Lago Paranoá – DF*. Dissertação de Mestrado em Geociências – Instituto de geociências/UnB.
- Mortatti, J., Bernardes, M. C., Probst, J. L., Leleyter-Reinert, L. 2002. Composição química dos sedimentos fluviais em suspensão na bacia do rio Piracicaba: extração seletiva de elementos traço. *Geochimica Brasiliensis*, v. 16, n. 2, p. 123-141
- Nascimento, H. N. 2014. *Título: caracterização tecnológica de materiais estereis com elevado teor de PPC e P da Mina de Alegria da SAMARCO MINERAÇÃO S.A.* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Dissertação de Mestrado. 86p.
- Noce, C.M.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C., Armstrong, R., Piuzana, D. 2007. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: Implications for Brazil – Africa links in paleoproterozoic time. *Precambrian Research*. 60-78.
- OMEE – Ontário Ministry of the Environment and Energy. 1993. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontário. Toronto: Ontário Ministry of the Environment and Energy.
- Pomerene, J.B. 1958 The Tabões Quartzite. *Boletim da Soc. Brasileira Geologia*, São Paulo, v.7, n. 2, p. 66-7,.
- Reimann, C. & Caritat, P 1998. Chemical elements in the environment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 398 p.
- Renger, F.S.; Noce, C.M.; Romano, A.W.; Machado, N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, Belo Horizonte, v.2, n.1, p.1-11
- Rodrigues A. S. de L. 2012. *Caracterização da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, Mg, Brasil: Avaliação Geoquímica Ambiental e Proposição de Valores de Background*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Dissertação de Mestrado. 190p.
- Rosiere, A. C. Chemale Jr. F. 2000. Itabiritos e Minérios de Ferro de Alto Teor do Quadrilátero Ferrífero – Uma Visão Geral e Discussão. *Revista Genomos* **8** (2). 27-43
- Sá Júnior, A. 2009. *Aplicação da classificação de Koppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais*. Universidade Federal de Lavras – MG. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola.
- Santos, I. J. e Martins, J. 2003 Caracterização do rejeito da barragem de Germano visando uma concentração. Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais. P 299-306.
- Silva, A. M. da, Schulz, H. E.; Camargo, P. B. de. 2003. Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. São Carlos: RiMa, 320 p
- Soares, M. C. C. 2002. *Avaliação Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS*. Dissertação de Mestrado. 100p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- Souza Júnior, P. G. 2005. Visões da Cidade: memória, poder e preservação em Mariana-MG. *Revista Vivência*. **28** (28). 179-199
- Souza, L.A., Sobreira, F.G., Prado-Filho, J.F. 2005. Cartografia e diagnóstico geoambiental aplicados ao ordenamento territorial do município de Mariana-MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, 57(3): 189-204.
- Stevens, Herbert H., Jr e Yang, Chih Ted 1989. Summary and use of selected fluvial sediment discharge formulas. USGS, Water Resources Investigations Report 89 – 4026. Denver, CO.
- Toledo, M.C.M. Oliveira, S.M.B. De; Melfi, A.J. Cap 8 p.128-239 *Da rocha ao Solo – Intemperismo e pedogênese*. In: *Teixeira, W.; Fairchild, T.R.; Toledo, M.C.M.; Taioli, F. Decifrando a Terra*. 2ª ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. 620p.
- Vicq, R. F. C. 2012. Diagnóstico da Qualidade da Água da Microbacia do Rio Bananeiras. *Revista do VI Simpósio de Iniciação Científica da Faculdade Santa Rita*. V. 1. 75 – 80
- Wallace, H. M. 1958. The Moeda formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v.7 , n.2, p. 59-60.
- Ward, A. D.; Trimble, S. W. 1995. Environmental hydrology. 2nd ed. New York: Lewis Publishers. 475 p.

Webmineral. Fonte obtida pelo site www.webmineral.com

Wedepohl K.H. 1978 Handbook of Geochemistry. Berlin. Vol II/3.

Zucchetti, M.; Baltazar, O.F. 1998, (EDS), Projeto Rio das Velhas: texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000. 2ed. Belo Horizonte, Brazil: DNPM/CPRM. 121 p.

ANEXOS

ANEXO 1: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS RETIRADAS AO LONGO DO RIO GUALAXO DO NORTE

ANEXO 2: DADOS DE CONCENTRAÇÕES DE CADA ELEMENTO OBTIDOS ATRAVÉS DE ANÁLISES EM ICP-OES

ANEXO 3: TABELA COM OS VALORES DE MÉDIA GEOMÉTRICA, MÉDIA, MÁXIMO, MÍNIMO, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DOS ELEMENTOS ANALISADOS.

Anexo 1: Análise granulométrica das amostras retiradas ao longo do Rio Gualaxo do Norte

Amostras	Ponto	Amostra total (gramas)	Granulometria (mesh/mm)											
			18/1,00		35/0,50		60/0,250		120/0,125		230/0,0625		Fundo/<0,0625	
			Peso (gramas)	%	Peso (gramas)	%	Peso (gramas)	%	Peso (gramas)	%	Peso (gramas)	%	Peso (gramas)	%
Ponte Gualaxo no Norte	1	818,90	0,10	0,01%	0,10	0,01%	1,30	0,16%	27,10	3,31%	315,30	38,50%	462,30	56,45%
GN-01	1	915,00	19,00	2,08%	2,70	0,30%	18,20	1,99%	324,90	35,51%	418,00	45,68%	149,30	16,32%
BR-01	2	660,80	2,40	0,36%	1,00	0,15%	0,60	0,09%	4,00	0,61%	273,70	41,42%	373,80	56,57%
BR-02	2	1115,50	12,90	1,16%	198,00	17,75%	89,40	8,01%	336,40	30,16%	364,20	32,65%	171,60	15,38%
BR-03	2	829,80	52,70	6,35%	111,50	13,44%	114,00	13,74%	179,60	21,64%	202,40	24,39%	153,20	18,46%
PG-01	3	1043,10	0,30	0,03%	0,40	0,04%	4,40	0,42%	148,30	14,22%	534,10	51,20%	353,20	33,86%
PG-02	4	803,00	206,30	25,69%	242,40	30,19%	241,50	30,07%	83,60	10,41%	20,40	2,54%	6,30	0,78%
PP-01	5	848,70	12,40	1,46%	3,20	0,38%	7,40	0,87%	42,30	4,98%	306,00	36,06%	477,40	56,25%
Ponte Paracatu	5	568,60	0,30	0,05%	0,20	0,04%	0,60	0,11%	20,20	3,55%	194,00	34,12%	351,60	61,84%
Ponte de Paracatu 2	5	994,20	2,90	0,29%	3,00	0,30%	14,50	1,46%	35,90	3,61%	347,30	34,93%	578,80	58,22%
CP-01	6	962,60	0,70	0,07%	0,60	0,06%	1,50	0,16%	16,70	1,73%	464,40	48,24%	471,50	48,98%
CP-02	7	1055,30	0,70	0,07%	0,50	0,05%	5,70	0,54%	169,40	16,05%	398,50	37,76%	368,00	34,87%
BL-01	8	911,70	1,50	0,16%	11,70	1,28%	33,70	3,70%	70,80	7,77%	324,00	35,54%	470,00	51,55%
Barra Longa	8	941,10	1,20	0,13%	1,10	0,12%	7,80	0,83%	85,90	9,13%	427,10	45,38%	422,20	44,86%
Tributário (B)	8	1991,20	128,50	6,45%	47,70	2,40%	54,20	2,72%	121,60	6,11%	358,90	18,02%	378,20	18,99%

Anexo2: Dados de concentrações de cada elemento obtidos através de análises em ICP-OES

Amostra	Identificação	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Sc	Sr	Th	V	Y
	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Branco	Branco Bruno															
	TCC	11,0	1,29	6,85	0,885	5,25	0,896	2,30	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	0,800	0,210
Ponte Rio Gualaxo do Norte	TCC16 664	11,0	13,86	6,85	0,885	1,50	9,98	3,48	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	3,99	1,06
GN-01	TCC16 667	38,5	281	6,85	0,885	7,17	45,86	34,07	1,20	1,17	15,17	0,993	0,423	14,9	52,96	2,28
BR-01	TCC16 668	11,0	21,58	6,85	0,885	1,50	16,54	6,15	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	7,84	2,27
BR-02	TCC16 669	11,0	44,52	6,85	0,885	1,50	27,82	13,79	0,353	1,17	6,33	0,229	2,32	14,9	11,41	5,66
BR-03	TCC16 670	11,0	50,91	6,85	0,885	1,50	31,75	15,12	0,353	1,17	6,33	0,627	1,82	14,9	20,14	5,19
PG-01	TCC16 671	11,0	12,32	6,85	0,885	1,50	9,35	3,24	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	4,05	0,818
PG-02	TCC16 672	11,0	71,89	6,85	0,885	10,05	110	92,63	1,01	1,17	19,22	6,82	3,14	14,9	83,48	3,72
PP-01	TCC16 673	11,0	14,59	6,85	0,885	1,50	12,57	5,38	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	6,49	1,16
Ponte Paracatu	TCC16 666	11,0	15,43	6,85	0,885	1,50	9,26	4,21	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	3,38	0,965
CP-01	TCC16 674	11,0	21,30	6,85	0,885	1,50	17,86	5,77	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	8,13	2,12
CP-02	TCC16 675	11,0	15,35	6,85	0,885	1,50	11,28	4,17	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	5,08	1,13
BL-01	TCC16 676	11,0	10,06	6,85	0,885	1,50	7,88	3,20	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	2,85	0,704
Barra Longa	TCC16 665	11,0	13,86	6,85	0,885	1,50	10,47	4,34	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	4,95	1,00
LQ		11,0	1,29	6,85	0,885	1,50	0,828	2,30	0,353	1,17	6,33	0,229	0,423	14,9	0,800	0,210
Branco	Branco Bruno	7,58	0,545	4,90	0,491	1,56	1,08	1,72	2,09	1,30	3,02	0,250	0,304	4,44	0,628	0,188
Ponte Paracatu 2	TCC16 1103	7,58	22,61	4,90	0,491	1,56	10,31	5,70	2,09	1,30	3,02	0,250	0,304	4,44	10,73	0,759
Tributário (B)	TCC16 1104	7,58	17,35	4,90	0,491	1,56	8,40	4,49	2,09	1,30	3,02	0,250	0,304	4,44	11,41	0,565
LQ		7,58	0,545	4,90	0,491	1,56	1,08	1,23	2,09	1,30	3,02	0,250	0,304	4,44	0,628	0,188

Anexo2: Dados de concentrações de cada elemento obtidos através de análises em ICP-OES

Amostra	Identificação	Zn	Mn	Al	Fe	Ca	K	Mg	Na	Zr	Pb	P	S	Ti
	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Branco	Branco Bruno													
	TCC	0,48	8,93	74,85	64,67	280,97	24,86	191,11	55,15	2,54	8,88	8,40	21,13	1,82
Ponte Rio Gualaxo do Norte	TCC16 664	18,62	609,73	1097,28	292847,38	234,16	11,66	99,87	63,84	1,03	8,88	174,62	21,13	80,37
GN-01	TCC16 667	33,69	7430,35	10330,90	247650,88	414,66	66,39	359,64	98,31	6,70	8,88	253,57	56,13	822,95
BR-01	TCC16 668	24,40	902,57	1921,98	445772,00	240,37	11,66	60,04	87,20	1,90	8,88	313,22	21,46	111,08
BR-02	TCC16 669	33,07	1513,28	4283,23	488204,00	689,50	11,66	106,19	214,51	4,53	8,88	635,89	62,62	166,47
BR-03	TCC16 670	32,12	1378,36	7028,13	442933,00	557,71	267,30	133,75	189,18	1,73	8,88	582,18	53,88	152,09
PG-01	TCC16 671	17,36	587,18	909,82	250215,00	135,21	11,66	38,16	63,08	1,04	8,88	168,43	21,13	58,63
PG-02	TCC16 672	77,70	420,90	38662,93	52506,84	452,05	584,90	764,15	83,72	6,33	27,94	206,17	122,92	1791,81
PP-01	TCC16 673	23,24	672,08	1498,19	426786,00	81,99	11,66	46,44	73,87	0,85	8,88	181,49	21,13	104,80
Ponte Paracatu	TCC16 666	18,76	599,72	960,16	252531,42	145,93	11,66	54,01	74,77	1,02	8,88	176,53	21,13	56,12
CP-01	TCC16 674	24,85	888,51	2215,63	420706,00	187,42	11,66	73,33	112,79	1,56	8,88	288,42	21,13	109,53
CP-02	TCC16 675	19,45	669,45	1272,41	378659,00	145,48	11,66	47,52	74,95	1,08	8,88	198,45	21,13	74,90
BL-01	TCC16 676	14,39	506,13	815,33	223379,61	110,32	11,66	41,94	55,63	1,27	8,88	154,05	21,13	33,15
Barra Longa	TCC16 665	21,64	637,97	1096,64	404880,00	159,60	11,66	75,54	121,71	0,85	8,88	163,89	21,13	98,45
LQ		0,48	8,93	74,85	19,73	3,30	11,66	5,52	11,30	0,85	8,88	8,40	21,13	1,82
Branco	Branco Bruno	0,69	5,55	34,21	18,92	145,86	61,52	8,70	194,19	3,67	7,08	6,98	8,21	10,75
Ponte Paracatu 2	TCC16 1103	19,17	729,69	1699,53	225683,61	214,94	18,37	90,65	39,45	2,42	7,08	142,70	15,88	55,54
Tributário (B)	TCC16 1104	23,32	648,41	1448,31	259656,66	297,63	12,24	81,80	36,52	1,47	7,08	120,71	10,61	84,37
LQ		0,31	5,55	24,50	7,50	7,24	12,24	3,04	3,49	0,40	7,08	6,93	8,21	10,75

Anexo 3: Tabel com os valores de média geométrica, média, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação dos elementos analisados.

Identificação	Média geométrica (mg/kg)	Média (mg/kg)	Máximo (mg/kg)	Mínimo (mg/kg)	Desvio Padrão	Coef. Variação
As	11,40031884	12,39977321	38,53659821	7,58	7,33033845	59,12%
Ba	24,47957634	41,76527564	280,8399658	10,06076908	68,40190897	163,78%
Bi	6,550575963	6,589866667	6,85	4,899	0,686490128	10,42%
Cd	0,818141395	0,832466667	0,885	0,491	0,138635115	16,65%
Co	1,897614906	2,454368005	10,05179882	1,4975	2,558473429	104,24%
Cr	15,99786894	22,6117274	109,8570175	7,882884026	26,43433636	116,91%
Cu	7,295533011	13,71582011	92,63436127	3,204047203	23,26598882	169,63%
Li	0,520349705	0,684794434	2,09	0,3525	0,628942916	91,84%
Mo	1,186552232	1,187333333	1,3	1,17	0,045742551	3,85%
Ni	6,542869186	7,333938614	19,22197151	3,02	4,235731358	57,76%
Sc	0,342625394	0,74849212	6,817038059	0,229	1,692365161	226,10%
Sr	0,570731506	0,807488715	3,137013674	0,304	0,875729443	108,45%
Th	12,67921022	13,50546667	14,9	4,441	3,680164144	27,25%
V	8,986360169	15,79253532	83,48092651	2,847790003	22,49660903	142,45%
Y	1,490016361	1,959715198	5,660904408	0,56512177	1,64222839	83,80%
Zn	24,389442	26,78400771	77,70250702	14,39077663	15,24594788	56,92%
Mn	843,0304487	1212,954435	7430,35498	420,8996277	1746,517505	143,99%
Al	2260,715603	5016,031079	38662,92969	815,3313599	9688,562692	193,15%
Fe	289382,5234	320827,4258	488204	52506,83984	119589,322	37,28%
Ca	225,7495502	271,1310237	689,5045776	81,98693848	178,8233056	65,95%
K	21,66403391	71,05512748	584,901001	11,6625	156,7709117	220,63%
Mg	89,30852239	138,2021431	764,1519775	38,16130829	190,1225834	137,57%
Na	82,25782965	92,63483785	214,5107727	36,52083588	50,42751087	54,44%

Zr	1,731987244	2,252097052	6,697544575	0,8475	1,962277635	87,13%
Pb	9,29576478	9,906510681	27,93766022	7,08	5,027558697	50,75%
P	220,5570201	250,6866399	635,8905029	120,7147598	155,0554695	61,85%
S	27,22060925	34,16686694	122,9217148	10,60618496	29,24001143	85,58%
Ti	119,4694037	253,349735	1791,813843	33,14748001	466,8174743	184,26%
