



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DA BACIA DO RIO
CARATINGA-MG**

Carolina Coelho Soares

MONOGRAFIA nº 323

Ouro Preto, Julho de 2019

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS
DA BACIA DO RIO CARATINGA-MG**



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 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 323

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DA BACIA DO RIO CARATINGA-MG

Carolina Coelho Soares

Orientador

Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser

Co-Orientador

Dr. Eduardo Duarte Marques

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2019/01

OURO PRETO

2019

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

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: Carolina Coelho Soares

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

S676c Soares, Carolina Coelho.
Caracterização geoquímica de sedimentos da bacia do Rio Caratinga - MG
[manuscrito] / Carolina Coelho Soares. - 2019.

99f.: il.: color; graf.; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Hubert Mathias Roeser.

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

1. Geoquímica. 2. Bacias hidrográficas. 3. Sedimentos (Geologia). 4. Meio
ambiente. I. Roeser, Hubert Mathias. II. Universidade Federal de Ouro Preto.
III. Título.

CDU: 550.461

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

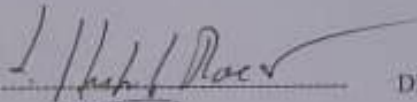
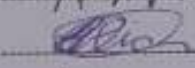
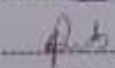
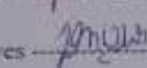
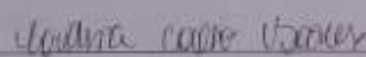
TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DA BACIA DO RIO CARATINGA

AUTORA: CAROLINA COELHO SOARES

ORIENTADOR: Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser

Aprovada em: 09 de julho de 2019

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Hubert Roeser		DEAMB/UFOP
Prof. Dra. Livia Pinto Dias		DEAMB/UFOP
MSc. Grazielle dos Santos		DEAMB/UFOP
Marineide de Freitas Gonçalves		DEAMB/UFOP
Carolina Coelho Soares		DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 09/07/2019

SUMÁRIO

SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO	xix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 JUSTIFICATIVA	4
1.4 LOCALIZAÇÃO.....	4
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	5
1.5.1 Revisão bibliográfica	5
1.5.2 Aquisição de base cartográfica	6
1.5.3 Determinação dos pontos de amostragem e trabalhos de campo	6
1.5.4 Preparação e análise dos sedimentos	8
1.5.5 Caracterização mineralógica e geoquímica.....	8
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	11
2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	11
2.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	12
2.2.1 Complexo Juiz de Fora	13
2.2.2 Complexo Mantiqueira	14
2.2.3 Complexo Pocrane	14
2.2.4 Grupo Rio Doce	14
2.2.5 Suítes Galiléia e Urucum	15
2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL	15
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
3.1 ASPECTOS FISIOGRAFICOS	17
3.1.1 Geomorfologia	17
3.1.2 Hidrografia	18
3.1.3 Clima.....	19
3.1.4 Vegetação.....	20
3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	21
3.3 Economia.....	22

4	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	24
4.1	AMBIENTES FLUVIAIS	24
4.1.1	Intemperismo e erosão.....	24
4.1.2	Transporte de sedimentos	26
4.2	GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS FLUVIAIS	27
4.2.1	Metais no sedimento	28
4.2.2	Contaminação	29
4.2.3	<i>Background</i> geoquímico.....	32
4.2.4	Fator de enriquecimento	35
5	CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS	36
5.1	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	36
5.2	<i>BACKGROUND</i> GEOQUÍMICO.....	38
5.3	DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE MINERALÓGICA	41
5.3.1	Ponto 1.....	41
5.3.2	Ponto 2.....	41
5.3.3	Ponto 3.....	42
5.3.4	Ponto 4.....	42
5.3.5	Ponto 5.....	43
5.4	CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA	43
5.4.1	Elementos maiores.....	44
5.4.2	Metais Pesados	49
5.5	Fator de enriquecimento	59
6	CONCLUSÕES.....	62
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1 -Localização da área de estudo.....	5
Figura 1.2 - Localização dos pontos de amostragem.....	7
Figura 1.3: Pesagem na balança de precisão.	9
Figura 1.4: Repouso na capela.	10
Figura 2.1 - Localização da área de estudo dentro do domínio geotectônico.....	12
Figura 2.2 - Unidades litoestratigráficas.....	13
Figura 3.1 - Domínios geomorfológicos da Bacia Caratinga	17
Figura 3.2 - Hidrografia da Bacia do Rio Caratinga.....	19
Figura 3.3 - Vegetação na área da Bacia do Rio Caratinga	21
Figura 3.4 - Uso e Cobertura do solo na Bacia do Rio Caratinga	22
Figura 4.1 -Representação esquemática de “ <i>background</i> geoquímico”.	32
Figura 4.2 - Exemplo de representação de valores de <i>background</i> geoquímico por “ <i>boxplot</i> ”	35
Figura 5.1 - Distribuição granulométrica dos sedimentos da Bacia do Rio Caratinga	37
Figura 5.2 - Distribuição dos elementos maiores	39
Figura 5.3 - Distribuição dos metais pesados	40
Figura 5.4 -Diagrama da variação de concentração de Ca, K, Mg e Na ao longo da Bacia do Rio Caratinga.....	45
Figura 5.5 - Diagrama da variação de concentração de fósforo ao longo da Bacia do Rio Caratinga.....	46

Figura 5.6 - Diagrama da variação de concentração de Ferro ao longo da Bacia do Rio Caratinga	47
Figura 5.7 - Diagrama da variação de concentração de alumínio ao longo da Bacia do Rio Caratinga	48
Figura 5.8 - Diagrama da variação de concentração de manganês ao longo da Bacia do Rio Caratinga	49
Figura 5.9 - Diagrama da variação de concentração de bário ao longo da Bacia do Rio Caratinga	50
Figura 5.10 - Diagrama da variação de concentração de bário ao longo da Bacia do Rio Caratinga	52
Figura 5.11 - Diagrama da variação de concentração de cobalto ao longo da Bacia do Rio Caratinga	53
Figura 5.12 - Diagrama da variação de concentração de cobre ao longo da Bacia do Rio Caratinga	54
Figura 5.13 - Diagrama da variação de concentração de chumbo ao longo da Bacia do Rio Caratinga	55
Figura 5.14 - Diagrama da variação de concentração de níquel ao longo da Bacia do Rio Caratinga	56
Figura 5.15 - Diagrama da variação de concentração de zinco ao longo da Bacia do Rio Caratinga	58
Figura 5.16 - Diagrama da variação de concentração de vanádio ao longo da Bacia do Rio Caratinga	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1- Descrição dos pontos de amostragem e suas coordenadas.	7
Tabela 1.2: Peneiras utilizadas no fracionamento granulométrico	8
Tabela 2.1: Litotipos do Grupo Rio Doce.	15
Tabela 5.1 – Classificação do fator de enriquecimento	60
Tabela 5.2- Fator de enriquecimento para os pontos amostrados	60

Resumo

Na Bacia do Rio Caratinga, localizada na Região Leste do estado Minas Gerais, os rios possuem grande importância, sendo utilizados pela população local tanto para uso doméstico como para agricultura. No entanto, as fontes de contaminação de sistemas fluviais na região trazem à tona a necessidade de estudos que evitem um quadro futuro de escassez das fontes de água potável. Nesse contexto, é de suma importância o gerenciamento da qualidade dos mananciais da Bacia. Para tal, análises de sedimentos são imprescindíveis, visto que os sedimentos são agentes importantes na relação água-ambiente terrestres, visto que adsorvem elementos químicos contidos nas águas, podendo muitas vezes carrear poluentes. O presente trabalho objetiva, com base nos parâmetros geoquímicos e mineralógicos, avaliar amostras de sedimentos de corrente a fim de determinar as concentrações dos elementos, os valores de background e o Fator de Enriquecimento na Bacia do Rio Caratinga. Sendo assim, coletaram-se amostras em uma campanha de campo com as quais foram realizadas análises de Difração de raios X e Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). O intuito das análises foi o de avaliar a composição geoquímica e mineralógica das amostras. Paralelamente as análises, realizou-se um estudo da literatura sobre o local para a compreensão da geologia regional e das atividades antrópicas desenvolvidas na região, que foi associado aos resultados obtidos em campo e em laboratório. Após Na região de estudo afloram os seguintes conjuntos litológicos: Complexo Juiz de Fora, Complexo Mantiqueira, Complexo Pocrane, Grupo Rio Doce, Suíte Galiléia e Suíte Urucum. A economia local gira em torno de indústrias e do setor da agropecuária e plantações de café. O background geoquímico da região determinado neste trabalho apresenta valores acima da média de concentração crustal para os elementos Fe e Mn. Os resultados obtidos nas análises geoquímicas para os elementos Cr e Zn apontam causas antrópicas para justificar suas altas concentrações. Já as concentrações elevadas de Fe, Al e Mn são justificados por fatores geogênicos. Os valores atingidos no estudo bem como as informações teóricas organizadas podem colaborar com estudos ambientais para a gestão da Bacia, de maneira que distinguem as contaminações advindas de ações antrópicas das concentrações de origem geogênica na região.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce possui, assim como diversas Bacias do estado de Minas Gerais, grande relevância histórica, econômica e social. O Rio Doce, principal rio da Bacia, possui 879 km de extensão, nascendo como Rio Piranga na serra da Mantiqueira recebendo o nome de Rio Doce da confluência com o Rio Carmo no município de Ponte Nova. Tal rio possui grande importância na história do Brasil. Várias expedições passaram por seu sistema fluvial, atravessando as montanhas de Minas e desaguando no atlântico. Também desempenhou papel importante na exploração de ouro e pedras preciosas no século XVI, onde era comum encontrar depósitos em suas cabeceiras (PIRH Doce, 2010).

A região de abrangência cobre uma área de 86.715 quilômetros quadrados, onde 86% estão localizados no estado de Minas Gerais e 14% no nordeste do Espírito Santo. Seus principais afluentes são o Rio Santo Antônio, o Rio Piracicaba, o Rio Suaçuí, o Rio Manhuaçu e o Rio Caratinga.

Estima-se que a população da Bacia do Rio Doce é de 3,5 milhões de pessoas, vivendo em 228 comunidades, sendo 26 no Espírito Santo e o restante em Minas Gerais. Aproximadamente 70% da população se encontra nas áreas urbanas, e mais de 85% das comunidades possuem até 20.000 habitantes.

A composição econômica da região é bastante heterogênea. A montante do Rio Doce há destaque para mineração, onde encontra-se minério de ferro, minas de ouro e pedras preciosas. O maior complexo de ferro e aço da América Latina insere-se na região, especificamente no vale do aço, próximo da cidade de Ipatinga, onde localizam-se as indústrias. O agronegócio também compõe a economia da Bacia, produzindo café, cana-de-açúcar (açúcar e álcool), carne bovina, suína e laticínios (PIRH Doce, 2010).

A Mata Atlântica representa 98% da Bacia do Doce, porém sua biodiversidade está em risco de extinção. Os 2% remanescentes são representados pelo Cerrado.

O Rio Doce ganhou notabilidade mundial quando, em novembro de 2015, ocorreu o rompimento da Barragem do Fundão, onde havia uma Bacia de sedimentação de minério de

ferro da empresa SAMARCO Mineração S.A. O rompimento causou um deslizamento de terra que cobriu completamente os distritos de Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo, deixando 18 vítimas fatais. Cerca de 40 milhões de metros cúbicos de sedimento manaram no Rio Doce até sua foz, no oceano Atlântico (Souza, 2019).

A Bacia do Doce abrange diversos municípios e sub-bacias, destacando-se dentre elas a Bacia do Rio Caratinga, região estudada no presente trabalho, tendo como principal polo econômico o município homônimo. De acordo com o IBGE, a economia do município de Caratinga baseia-se principalmente na agricultura e agropecuária, destacando-se na agricultura a produção de café, que gera lucro aproximado de 300 milhões de reais em suas maiores safras. A indústria se encontra em segundo lugar na geração de PIB da cidade (IGAM 2013, IBGE 2017). Quanto a recursos minerais, existem, em alguns pontos isolados, produções de rochas ornamentais advindas de rochas graníticas.

Estudos realizados em 2007 pelo IGAM mostram que a região possui uma taxa de degradação alta comparando-se aos seus ecossistemas naturais, onde mais de 75% da região é ocupada pela atividade agropecuária, com menos de 20% de cobertura vegetal remanescente.

Dentre as unidades da Bacia do Rio Doce, a Bacia do Rio Caratinga, é a que possui os maiores índices de crescimento populacional, com taxa de 8,9 % ao ano, em sua maioria nas áreas rurais. O aumento crescente e desordenado da população aumenta o desflorestamento, a poluição e o uso do solo, aumentando a susceptibilidade erosiva do local, e consequente produção de sedimentos. A susceptibilidade erosiva também aumenta com as atividades agropecuárias supracitadas da região. Acrescenta-se também, o desequilíbrio ambiental possivelmente causado pelo uso crescente de fertilizantes e pesticidas nas plantações de café, causando contaminação dos solos e rios da região (Coelho, 2009).

O sistema hidrológico fluvial, essencial à manutenção da vida, tem sido afetado, em suas condições naturais, pela contaminação ocasionada por ações antrópicas ou decorrentes de condições geológicas. No âmbito antrópico, o aumento da população resultado do crescimento econômico, o desflorestamento, o uso de agrotóxicos e o lançamento de esgoto doméstico estão entre os principais causadores da queda qualitativa dos recursos hídricos na Bacia de Caratinga (Fellenberg 1980; CBH DOCE 2008; IGAM 2013,). Kamenov (2009) elucida que tais fontes, acrescidas de atividades industriais, são responsáveis pela liberação de elementos traço, causando concentrações nos sedimentos de elementos em níveis bem acima

do esperado. Os elementos traço encontram-se presentes de forma natural no meio ambiente, mesmo que não ocorra ação antrópica. São elementos potencialmente tóxicos mesmo em baixas concentrações, pois possuem propriedades prejudiciais como, por exemplo, a bioacumulação (Santana, 2010). Todavia, o surgimento desses elementos nos solos e corpos d'água agrava-se pelas ações antrópicas supracitadas, que ocorrem expressivamente na região.

Para Grigg (1996), o gerenciamento dos recursos hídricos é capaz de controlar os fluxos de água e sua qualidade, minimizando assim os impactos negativos causados antropicamente ou naturalmente. Nesse contexto, o estudo e conhecimento da qualidade da água tornam-se essenciais para gestão de tais recursos. Moura (2008) afirma que a análise geoquímica é uma importante ferramenta para avaliar a qualidade dos sistemas fluviais, pois estuda a distribuição e comportamento dos elementos químicos no meio ambiente, possibilitando identificar alterações de origem natural e antrópica.

No que tange a avaliação geoquímica, a caracterização dos sedimentos é de extrema importância. Os sedimentos podem ser transportados como carga de fundo, suspensão e também na forma iônica. Dessa forma, conforme os sedimentos, partículas e íons são relocados de sistemas terrestres para ecossistemas aquáticos, ocorre uma ciclagem geoquímica (Meybeck, 1994; Ludwig *et.al.* 1996). Soares (2002) considera os sedimentos contaminados como maiores contribuidores para a deterioração de ecossistemas aquáticos, tornando-se um grande empecilho para preservação dos recursos hídricos. Nesse contexto, a análise de sedimentos torna-se um instrumento de suma importância para estudos ambientais, visto que configuram a junção de inúmeros processos da Bacia de drenagem, carregando assim a assinatura geoquímica da região.

Ainda dentro do âmbito geoquímico, Galuszka (2007) enfatiza que para determinar o grau de contribuição antrópica sobre os sedimentos fluviais é de suma importância a determinação dos valores de *background*, o qual definido pelo mesmo representa a concentração máxima de um dado elemento em uma região não afetada pela influência antrópica.

Diante do exposto, o presente estudo busca através de análises geoquímicas, determinação dos valores de *background* e interpretação geológica a avaliação dos impactos antropogênicos na Bacia do Rio Caratinga.

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo do presente trabalho é caracterizar a geoquímica e mineralogia dos sedimentos de corrente e aventar sobre os possíveis impactos antropogênicos em tais sedimentos dos rios e córregos da região hidrográfica D05 (Bacia do Rio Caratinga) e assim contribuir para o diagnóstico ambiental da área.

Além disso, como objetivo específico, tem-se a determinação dos valores de *background* da região de estudos, para contribuir para o aprimoramento dos estudos ambientais e compreensão do ambiente geoquímico da região.

1.3 JUSTIFICATIVA

A preservação do meio ambiente está diretamente relacionada à qualidade das águas. Os rios da região são utilizados pela população local tanto para uso doméstico como para agricultura. Além dos problemas sanitários, como a ausência de tratamento de esgoto, são observados na Bacia a influência negativa do plantio de café com todos os seus problemas, como agrotóxicos. O uso de tais substâncias se reflete muitas vezes na composição química dos sedimentos, visto que, minerais argilosos têm como característica a adsorção de elementos químicos, que trata-se da adesão de moléculas de um fluido a uma superfície sólida. Assim, a agricultura regional pode afetar diretamente a qualidade das águas e, portanto, é de fundamental importância o controle de sua qualidade, uma vez que isso afetará diretamente a população local e todo o ecossistema no entorno do rio.

Dessa forma, o presente trabalho é justificado pela escassez de pesquisas direcionadas às análises de sedimentos na Bacia do Rio Caratinga e pela necessidade da utilização dos valores de *background* em escala local, para interpretar e compreender a relação entre as ações antropogênicas e a contaminação dos sedimentos.

1.4 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se na região leste do estado de Minas Gerais, delimitada pelos meridianos 41°30'–42°30'W e 19°00'–20°00'S (**Figura 1.1**). O Rio Caratinga pertence a Bacia do Rio Doce e Sub-Bacia Rio Caratinga, que, de acordo com a divisão do IBGE,

abrange as mesorregiões Zona da Mata e Vale do Rio Doce e as microrregiões Caratinga e Governador Valadares.

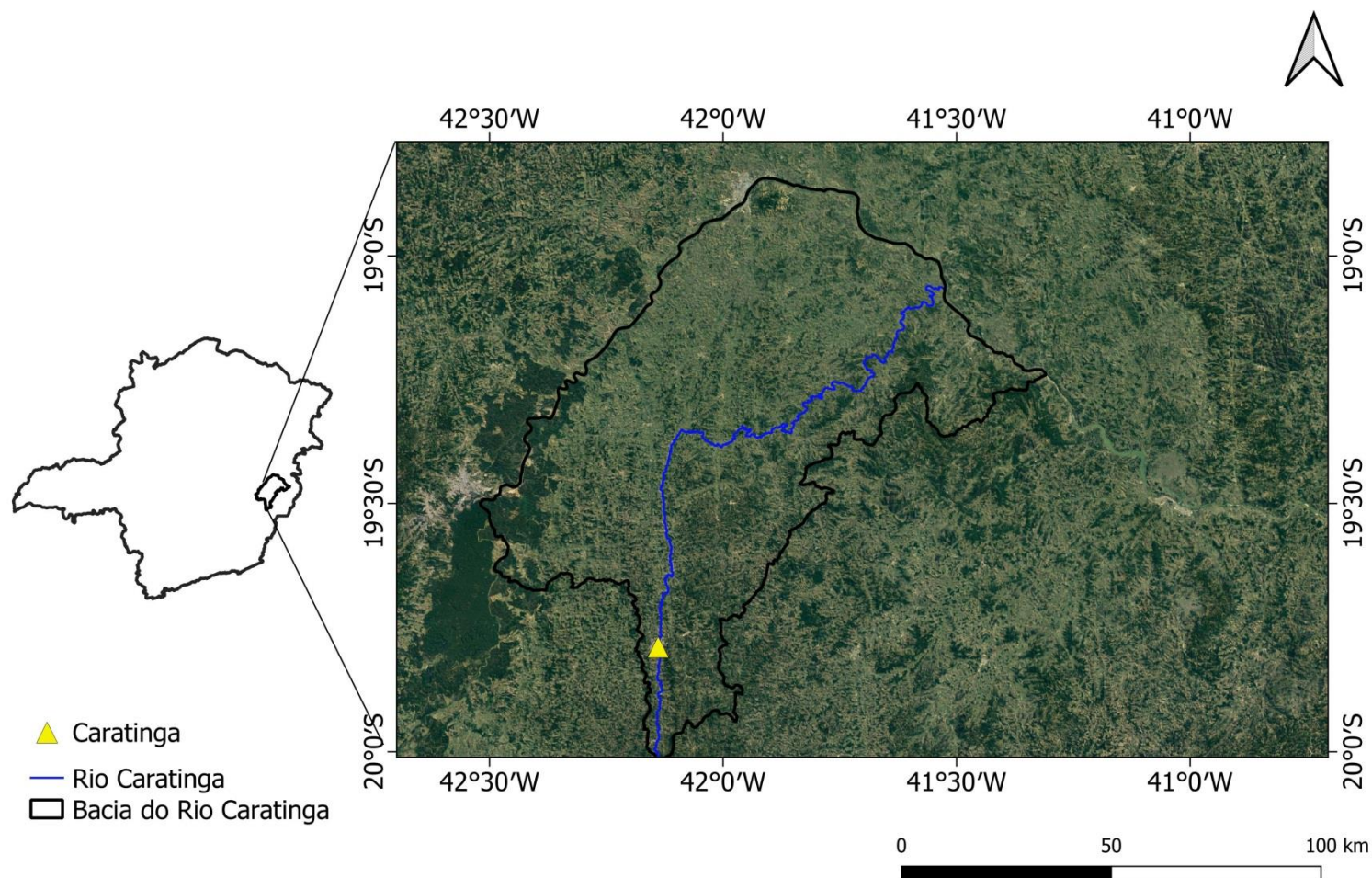


Figura 1.1-Localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do IBGE e Google Earth.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado conforme os itens descritos a seguir:

1.5.1 Revisão bibliográfica

A pesquisa bibliográfica teve finalidade de compreender melhor os princípios posteriormente empregados na realização da pesquisa, assim como revisar os conceitos e aspectos de âmbito geológico/ambiental da região de estudo. Tal pesquisa foi realizada a partir da leitura de diversos trabalhos (teses, dissertações, artigos, etc.) e livros. Ademais, houve também aquisição de dados através de sites como Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Companhia do Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG),

Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Pristino, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM).

1.5.2 Aquisição de base cartográfica

O uso de ferramentas cartográficas em estudos geológicos e ambientais tem sido amplamente utilizado por fornecer uma interpretação visual dos dados, além de auxiliar na tomada de decisões. No presente estudo, a utilização de uma base cartográfica foi crucial para a aquisição, manipulação, integração e compreensão dos elementos que definem a geomorfologia, geologia, uso e ocupação dos solos e características da Bacia na área de estudo.

Para o desenvolvimento da base cartográfica, criou-se um projeto a partir do Sistema de Informações Geográficas (SIG), no qual foram criados mapas elaborados a partir de informações geológicas, hidrográficas e topográficas contidas em diversos bancos de dados da região do município de Caratinga.

1.5.3 Determinação dos pontos de amostragem e trabalhos de campo

Os dados do presente projeto são dados secundários advindos do projeto de mestrado ainda em andamento, sob orientação do Professor Hubert Roeser. Dessa forma, a determinação dos pontos de amostragem e a coleta das amostras foram realizadas pelos responsáveis pelo projeto. Os pontos utilizados nesse trabalho foram escolhidos de forma a abranger locais de diferentes características para uma melhor conclusão e estão representados pela **Figura 1.2** e pela **Tabela 1.1**.

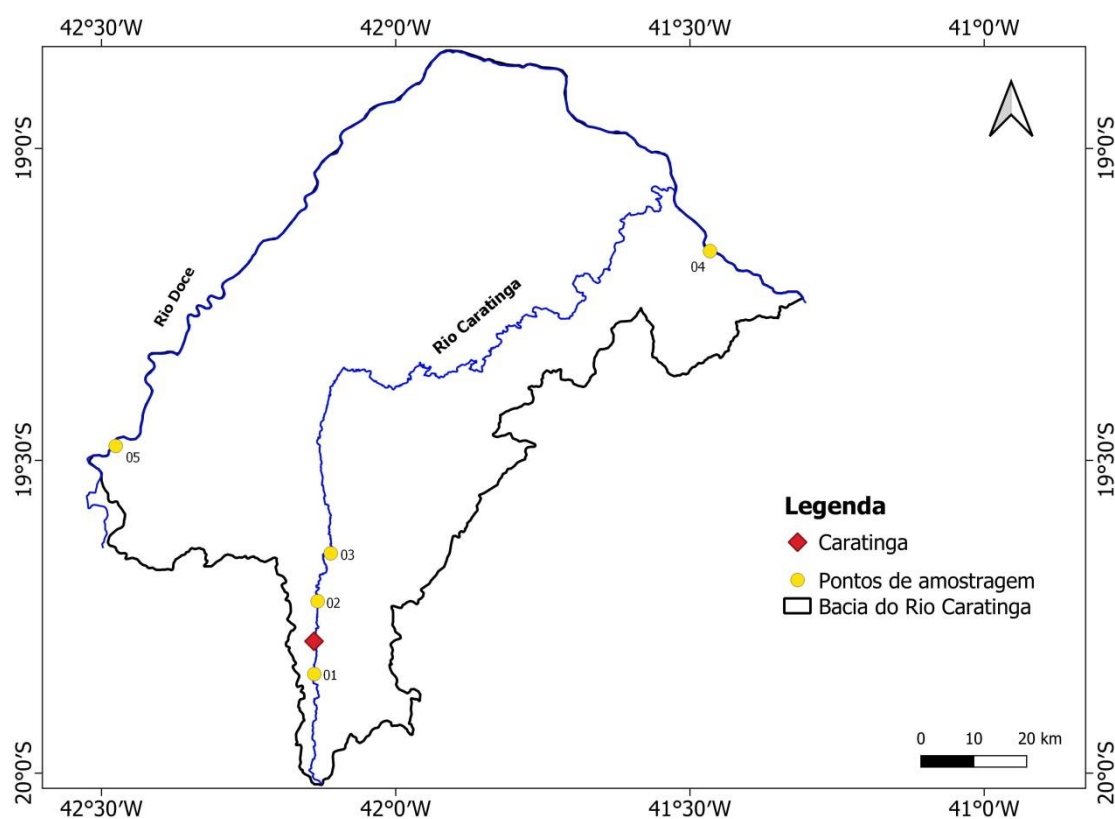


Figura 1.2- Localização dos pontos de amostragem. Fonte: Elaborado pela autora com base em dados da ANA.

Tabela 1.1- Descrição dos pontos de amostragem e suas coordenadas.

Ponto		1	2	3	4	5
Coordenadas (UTM- SAD69)	Longitude	799725	800545	7824812	7879118	7844437
	Latitude	7803492	2816357	803017	240657	764961
Localização		Rio Caratinga, antes de chegar na cidade	Rio Caratinga, norte da cidade	Rio Caratinga, antes de Ubaporanga	Rio Caratinga e Doce, Conselheiro Pena	Rio Doce, Ipatinga
Descrição do ponto		Ponto sem mata ciliar, com Eucalipto nas margens e ponte de concreto.	Próximo a BR-116, área degradada e água acinzentada.	Local com pastagem, fezes de animais na água e sem mata ciliar.	Fundo de quintal com animais (galinha e porco), lançamento de esgoto.	Embaixo de extração de areia, presença de animais (gado).

1.5.4 Preparação e análise dos sedimentos

A secagem das amostras foi realizada no Laboratório de Saneamento Ambiental DECIV/UFOP. Cada amostra foi acondicionada em tabuleiros de alumínio e secas utilizando-se uma estufa com uma temperatura média de 60°C.

Após a secagem, as amostras foram fragmentadas com o auxílio de um pistilo de porcelana e gral. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas, quarteadas e divididas em alíquotas para análises subsequentes.

Com a alíquota advinda do material quarteado, realizou-se o peneiramento com um conjunto de peneiras padrão de diferentes malhas explicitadas na **Tabela 1.2**, em um agitador de peneiras durante 15 minutos. O material retido em cada peneira foi pesado em balança analítica e colocado em sacos plásticos devidamente identificados para posterior análise de distribuição granulométrica, difração de raios X e ICP-EOS. Com o intuito de evitar possíveis interferências nos resultados de cada amostra, todas as peneiras foram devidamente lavadas e secas a temperatura ambiente após o término de cada peneiramento.

Tabela 1.2: Peneiras utilizadas no fracionamento granulométrico

Peneiras		
ABNT/Mesh	Φ(diâmetro partículas)-mm	Classificação (Wentworth,1922)
18	1	Areia muito grossa /Grânulo
35	0,5	Areia grossa
60	0,25	Areia média
120	0,125	Areia fina
230	0,625	Areia muito fina
Fundo	<0,625	Silte/Argila

1.5.5 Caracterização mineralógica e geoquímica

1.5.5.1 Análise geoquímica via ICP-OES

Após o peneiramento e determinação granulométrica, as amostras de granulometria mais fina (>63µm) foram submetidas ao método de digestão parcial proposto por Pueyo *et al.* 2001, o qual é realizado nas seguintes etapas:

- Acondicionamento das amostras em Placas de Petri devidamente identificadas
- Secagem na estufa a 100°C durante 2 horas

- Pesagem de 1g de cada amostra na balança de precisão (**Figura 1.3**)
- Acondicionamento em béqueres de 100mL
- Adição de uma pequena quantidade de água destilada (0,5 a 1 mL)
- Adição de 9,3 mL de água régia (7,0 mL de HCl 37% p/p e 2,3 mL de HNO₃ 65% p/p)
- Agitação das amostras para homogeneização
- Repouso de 16 horas na capela de exaustão em temperatura ambiente com os béqueres devidamente tampados com vidro relógio (**Figura 1.4**)
- Disposição dos béqueres na placa aquecedora com temperatura entre 90° e 100°C durante 2 horas.
- Resfriamento das amostras
- Filtragem das amostras em papel de filtro com porosidade de 0,25µm, e aferimento em um balão volumétrico de 50ml sendo o volume atingido com uso de água Mili-Q
- Acondicionamento das amostras em um recipiente plástico devidamente higienizado e selado.

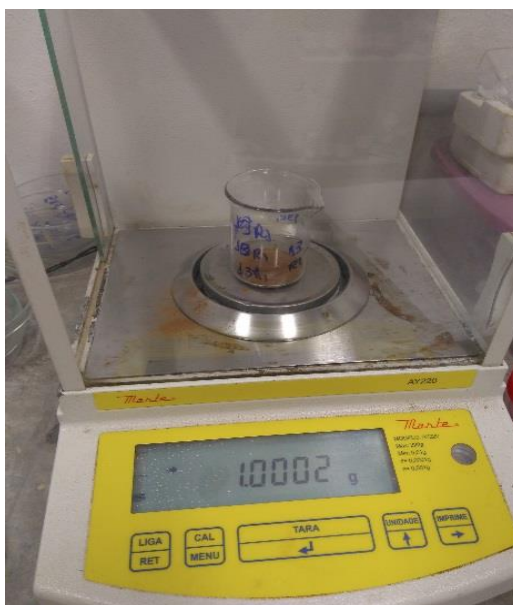


Figura 1.3: Pesagem na balança de precisão.



Figura 1.4: Repouso na capela.

Após a digestão parcial, as amostras foram levadas para medição de elementos maiores e traço via Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), marca Agiliente 725, em operação no Laboratório de Geoquímica (LGqA) do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto.

1.5.5.2 Análise por Difração de raios X

Com o auxílio de um grau e um pistilo de ágata, cerca de 1g de amostra foi pulverizada e destinada para análise de fases minerais por difração de raios X no laboratório de Difração de Raios X DEGEO/UFOP, via difratômetro *Empyrean PANalytical*, com radiação $\text{CuK}\alpha$. A interpretação dos dados foi realizada através do software *High Score X'Pert Plus*, de acordo com os padrões descritos por Brindley & Brown (1980).

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A Bacia do Rio Caratinga está inserida na porção meridional do Orógeno Araçuaí (**Figura 2.1**), tendo como integrante da porção setentrional a província geotectônica da Mantiqueira. Segundo Heilbron *et al.* (2004), o Orógeno Araçuaí não possui definição geotectônica consolidada na literatura, uma vez que o limite entre os Orógenos Araçuaí e Ribeira é questionável, em parte devido à continuidade das principais unidades litoestratigráficas no terreno e à ausência de estruturas notáveis que limitem diferentes evoluções tectônicas, mas também como resultado das diferentes abordagens adotadas.

De acordo com Pedrosa *et al.* (1992), o Cinturão Araçuaí se insere no Neoproterozóico, durante o Ciclo Brasileiro, com geração de crosta oceânica, sedimentação, metamorfismo e deformação, ocasionando um retrabalhamento de toda região. Em uma abordagem mais recente, Pedrosa *et al.* (2007) caracteriza-o como um orógeno de origem colisional que ocorreu após um orógeno acrescionário de margem continental ativa. Essa caracterização é viável devido a um conjunto de componentes geotectônicos descobertos, como depósitos de margem passiva, lascas ofiolíticas, zona de sutura, arco magmático, granitos sin-colisionais e plutonismo pós-colisional. Estruturalmente, identificam-se três fases deformacionais e as estruturas regionais representam lineamentos de direção NW, NE, NS e EW (Signorelli, 2000).

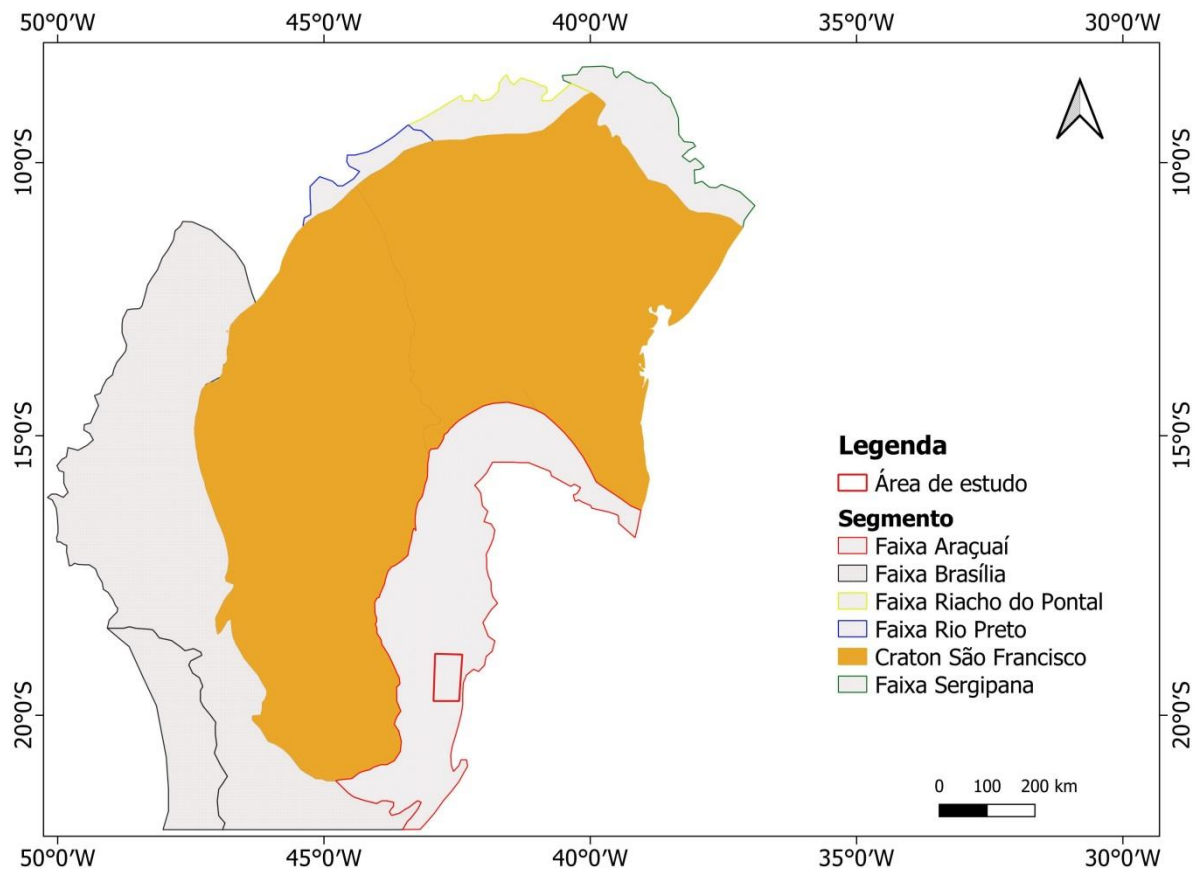


Figura 2.1 - Localização da área de estudo dentro do domínio geotectônico. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados CPRM, 2010.

2.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

No presente trabalho serão apresentadas somente as Unidades Litoestratigráficas contidas nos limites da Bacia do Rio Caratinga, indicados no mapa (**Figura 2.2**).

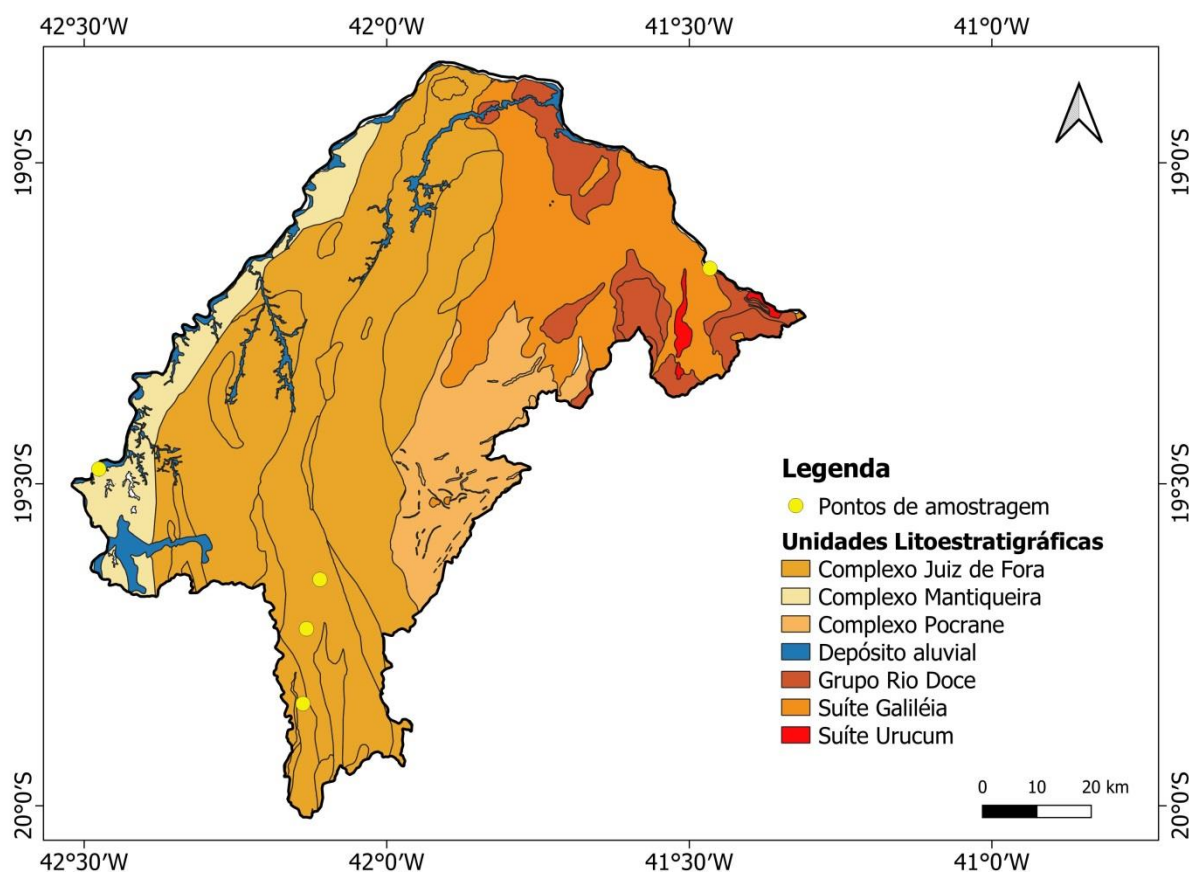


Figura 2.2 - Unidades litoestratigráficas. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da CODEMIG, 2015.

2.2.1 Complexo Juiz de Fora

O Complexo Juiz de Fora configura-se como a unidade mais relevante desse trabalho, cobrindo grande parte da Bacia do Rio Caratinga. É um complexo formado por ortognaisses predominantemente enderbíticos a granodioríticos e metabasitos (granulitos máficos), tendo como principal litotipo o ortopiroxênio-hornblenda ortognaisse de granulação fina a média, bandamento milimétrico a centimétrico e coloração esverdeada. As rochas granulíticas possuem direção NE-SW, aflorando entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Na folha Caratinga, tal complexo se restringe a rochas ortoderivadas paleoproterozóicas metamorfizadas na fácies anfibolito ou granulito (Signorelli 2000; Silva *et al* 2002; Heilbron 2003 ; Novo 2013).

Dentro do presente domínio, encontram-se também rochas de magmatismo sin- a tarditectônico e sin-tectônico representadas respectivamente pelo Tonalito Vermelho Novo e Tonalito Bom Jesus do Galho.

2.2.2 Complexo Mantiqueira

Brandalise (1991) descreve esse complexo como gnaisses predominantemente ortoderivados de composições variadas, migmatizados e/ou com intercalações de anfibolitos e metagabros. De acordo com Noce *et al.* (2007) o litotipo predominante corresponde a um biotita-anfibólio ortognaisse bandado de composição tonalítica a granítica com frequentes lentes, boundins e camadas concordantes de anfibolito.

2.2.3 Complexo Pocrane

O Complexo Pocrane foi originalmente definido e delimitado por Silva (1987) através de estudos do Projeto Radam, no qual fragmentaram o Complexo Gnaissico-Migmatítico em Gnaiss Piedade e Complexo Pocrane.

Segundo Novo (2013), o complexo é composto por ortognaisses metaluminosos, bandados, migmatíticos, associados a metassedimentos e rochas metamáficas-ultramáficas, com níveis de anfibolito.

Com base em dados radiométricos de amostras de biotita e/ou hornblenda gnaiss, Angeli (1988) descreveu a idade do retrabalhamento do material crustal como 775+-19Ma.

2.2.4 Grupo Rio Doce

Viera (2007) descreve o Grupo Rio Doce como uma cobertura metavulcano-sedimentar do arco magmático do Rio Doce. Vieira (2004) subdividiu o Grupo Rio Doce em quatro formações, estando todas presentes na área de estudo, sendo elas, descritas da base para o topo: João Pinto, Palmital do Sul, São Tomé e Tumiritinga. Os litotipos das formações citadas podem ser vistos na **Tabela 2.1**.

Tabela 2.1: Litotipos do Grupo Rio Doce.

UNIDADE	LITOTIPO
Grupo Rio Doce, Formação João Pinto	Quartzito predominante
Grupo Rio Doce, Formação Palmital do Sul	Micaxisto e Gnaiss
Grupo Rio Doce, Formação São Tomé	Metagrauvaca, Micaxisto e Metadacito
Grupo Rio Doce, Formação Tumiritinga	Micaxisto , gnaiss e rocha vulcanoclástica

2.2.5 Suítes Galiléia e Urucum

Nalini *et al.* (2005) descrevem ambas as suítes como batólitos alongados de características tectônicas pré-colisionais, associados a uma zona de cisalhamento de alto ângulo de Conselho Pena- Resplendor. As idades de U/Pb datadas em zircão das Suítes Galiléia e Urucum, são de 594 ± 2 Ma e 584 ± 2 Ma, respectivamente. A Suíte Galiléia é composta predominantemente por tonalitos e granodioritos foliados, enquanto a Urucum é representada por granada-biotita e granito foliado.

2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL

O Orógeno Araçuaí caracteriza-se por duas feições: o cinturão Araçuaí e o núcleo cristalino. O cinturão é composto por dobramentos gerados por regimes compressivos do tipo *fold-thrust belt* Almeida (1977). Os traços estruturais predominantes na região provêm do tectonismo do Ciclo Brasileiro, caracterizado por empurrões frontais e oblíquos que geraram um imbricamento de rochas de idades e níveis crustais distintos (Tuller, 2000). É possível observar na região de estudo lineamentos de direção NW, NE, NS e EW. As falhas proeminentes da região caracterizam-se por movimentos reversos e direcionais, e as foliações regionais possuem médio a alto ângulo, possuindo lineações obliquas a strike (Signorelli, 2000).

O núcleo cristalino é caracterizado pela predominância de rochas metamórficas de alto grau e granitos neoproterozóicos, sendo o embasamento composto por rochas de 1.8 Ga,

incluindo o Complexo Paleoproterozoico Juiz de Fora (Fischel, 1998; Brueckner *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2002). Os principais elementos tectônicos do núcleo cristalino são 4 grandes zonas transcorrentes dextrais, com sentido N-NE associadas a largas faixas miloníticas (Cunningham *et al.*, 1998; Peres *et al.*, 2004).

3.1 ASPECTOS FISIOGRAFICOS

3.1.1 Geomorfologia

A Bacia hidrográfica Caratinga possui sua geomorfologia caracterizada predominantemente por colinas com topos nivelados (mares de morros) e vertentes ravinadas, sendo, algumas vezes, representadas por escarpas e pontões esparsos, formados por dissecação fluvial atuante em rochas granito-gnáissicas (**Figura 3.1**). (CETEC 1983; INPE 2015). Tal domínio geomorfológico foi classificado por Azevedo (1952) como Serras Cristalinas do Planalto Atlântico, e, posteriormente, por Ross (1996) como Planaltos e Serras do Atlântico Leste e Sudoeste.

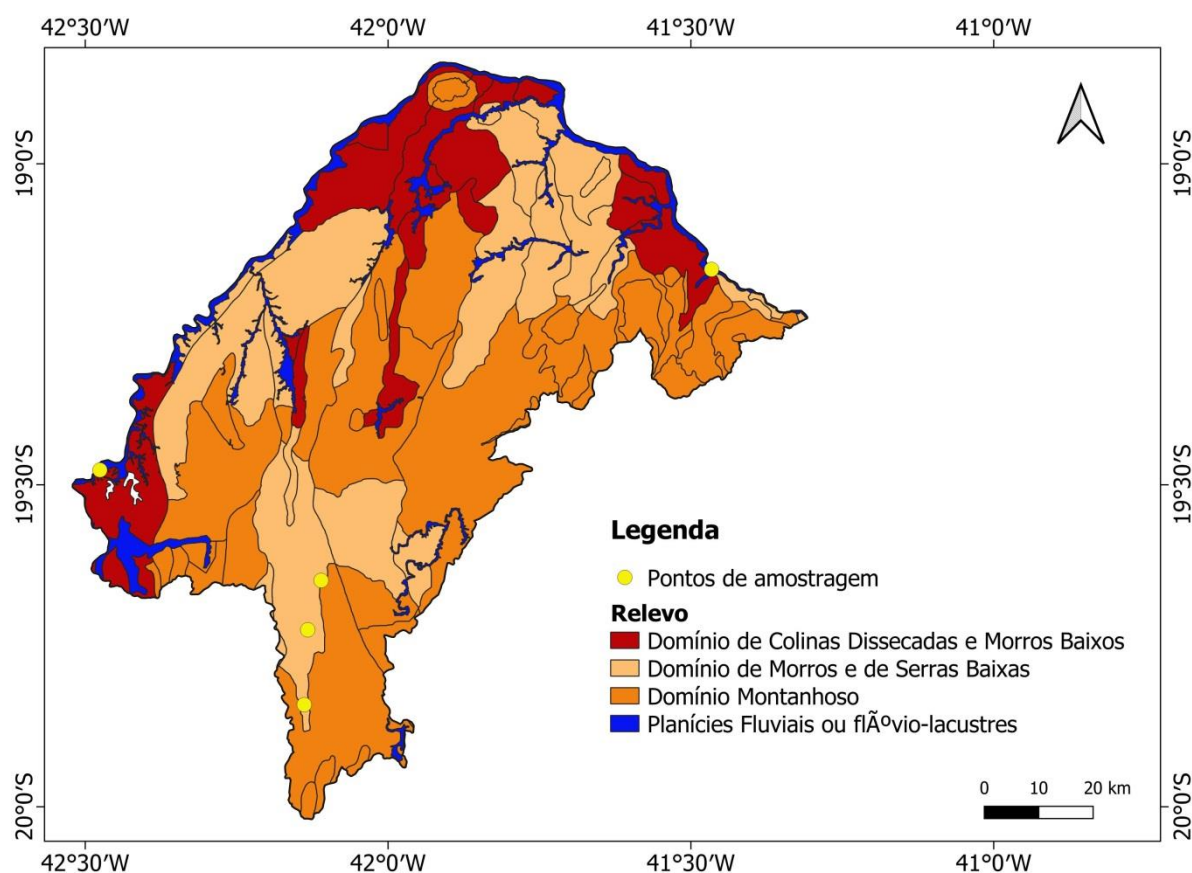


Figura 3.1 - Domínios geomorfológicos da Bacia Caratinga. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do Instituto Pristino, 2015.

No que se a refere à cidade de Caratinga, tem-se no local, um alinhamento de cristas escarpadas e íngremes, no topo das quais ocorrem diversos cursos d'água. As estruturas geológicas tipo dique controlam a drenagem do município, e por, muitas vezes formam corredeiras e cachoeiras. A altitude do município varia de 195m a 1487 m, onde sua menor cota corresponde à calha do Rio Caratinga.

3.1.2 Hidrografia

De forma genérica, uma Bacia hidrográfica pode ser descrita como a área da superfície da terra delimitada pelos divisores de água que converge todo escoamento natural de águas e diversos materiais para o rio principal, que, por sua vez, leva-os para uma saída em comum. Ela é composta por três elementos essenciais: vertentes, divisores de água e drenagem. (Silveira, 1993; Botelho, 1999).

A sub-Bacia hidrográfica do Rio Caratinga pertence, de acordo com, o IGAM à Região Hidrográfica Doce 5 (D05), estando inserida na Bacia do Rio Doce. Tal Bacia possui área de 6.557 km², abrangendo 22 municípios. O principal curso d'água é intitulado Rio Caratinga, onde sua nascente situa-se no município de Santa Bárbara do Leste, sendo sua foz no Rio Doce, na região do município de Conselheiro Pena (**Figura 3.2**).

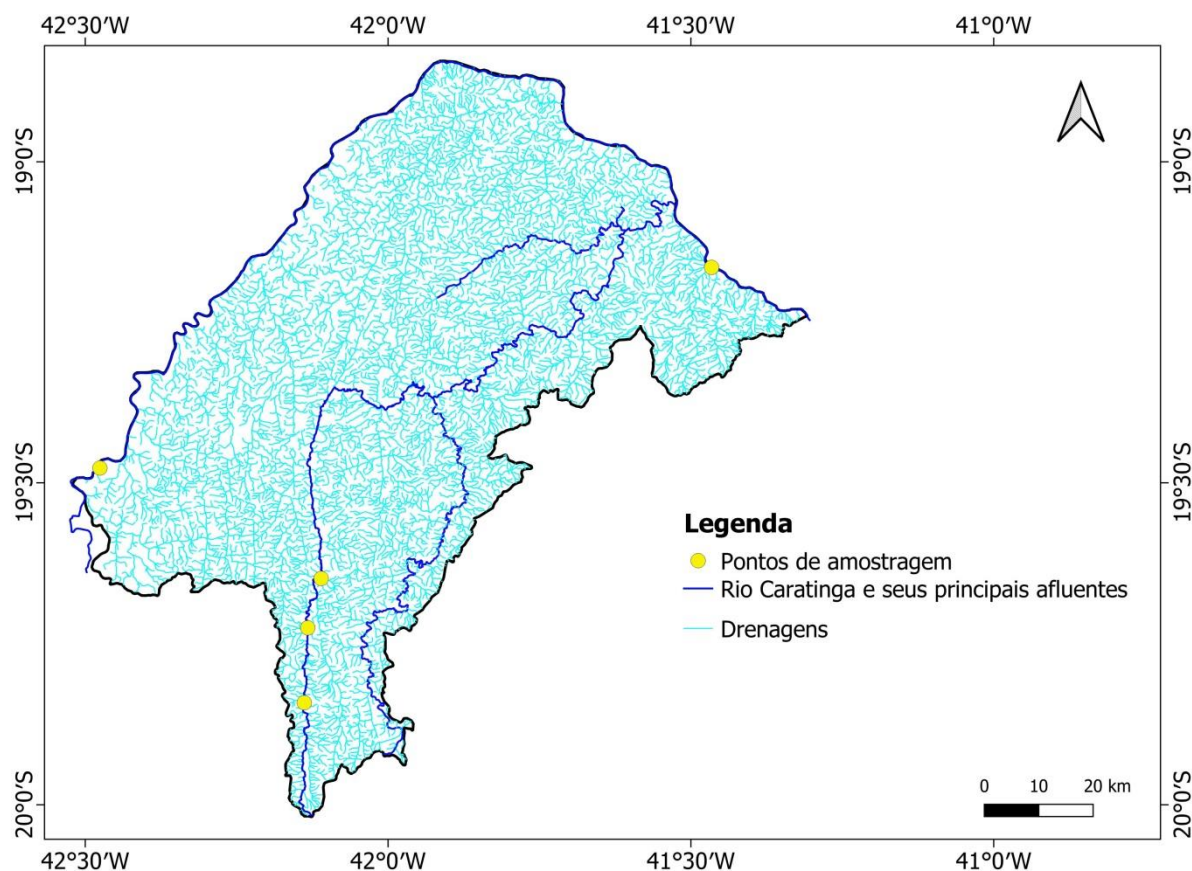


Figura 3.2 - Hidrografia da Bacia do Rio Caratinga. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do IGAM, 2013.

O município de Caratinga é drenado pelo Rio Caratinga, e outras Bacias hidrográficas de menor extensão territorial. Tais Bacias atuam como mananciais significantes para o município, sendo usados no abastecimento público e irrigações. Desse modo, há uma necessidade recorrente de políticas voltadas para preservação dos recursos hídricos do local no intuito de minimizar os impactos antrópicos gerados ao longo das últimas décadas.

3.1.3 Clima

A Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga encontra-se numa faixa climática denominada Am, conforme a classificação de Köppen. Tal clima é nomeado como tropical úmido ou subúmido, representado por duas estações, uma seca (abril a setembro) e outra úmida (outubro

a março). Segundo a classificação do IBGE, o clima da região enquadra-se no clima tropical mesotérmico brando semiúmido.

A área apresenta pluviosidade média anual de 1150 mm, e a temperatura média é 21.6°C. O período de insolação anual é de 2.300 horas e a umidade relativa do ar é relativamente elevada, em média 75% (INPE, 2019).

3.1.4 Vegetação

Como pode ser observada adiante no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 3.3), a vegetação na Bacia do Rio Caratinga vem sofrendo diversas alterações antrópicas, sendo grande parte da vegetação nativa suprimida para ceder espaço a pastagens e agropecuária. A vegetação original da região pertence ao domínio da Mata Atlântica, mais especificamente no ecossistema Florestas Estacionais Semidecíduais, variando de Submontana e Montana, de acordo com a altitude do relevo.

As reservas remanescentes ocupam aproximadamente 9% da área do município de Caratinga, podendo ser encontradas principalmente em topos de morros e áreas de maior declividade, formando “ilhas florestais” (Galindo *et al.*, 2003).

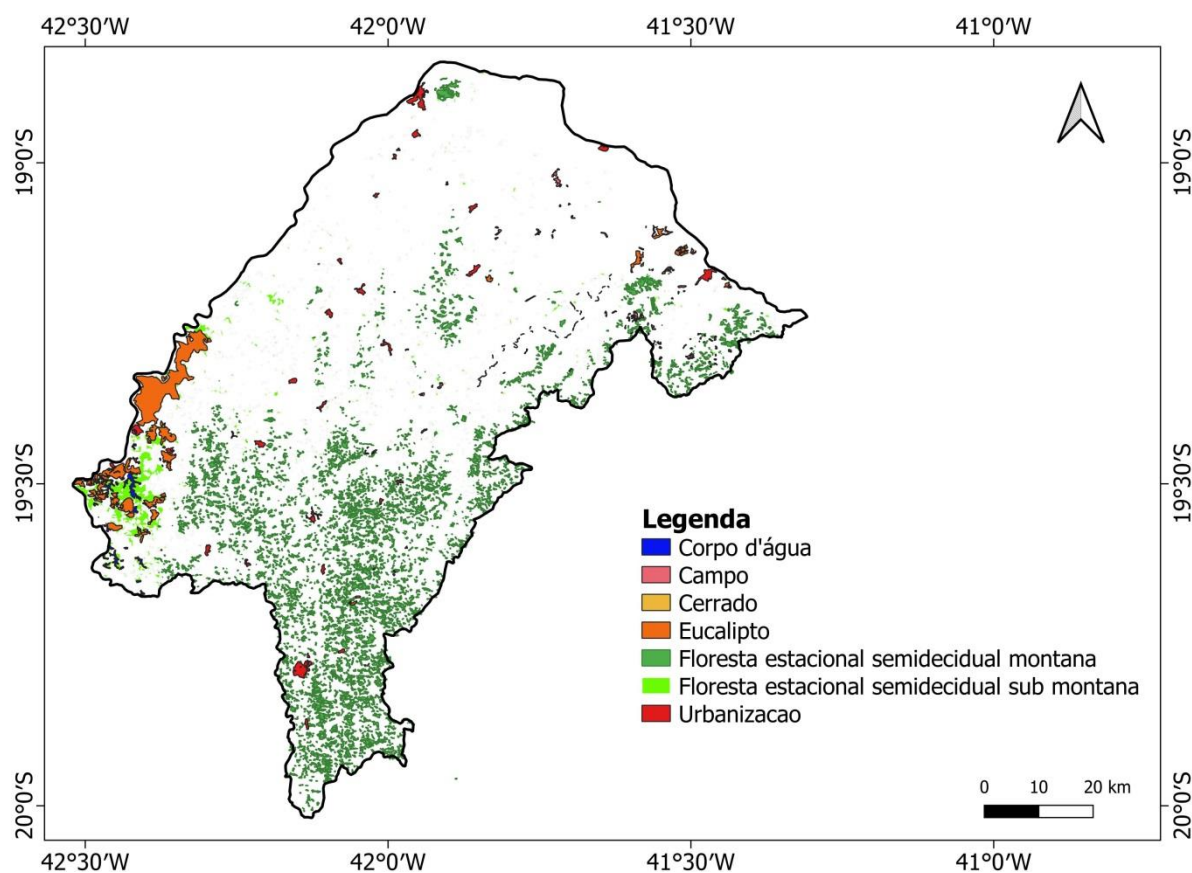


Figura 3.3 - Vegetação na área da Bacia do Rio Caratinga. Fonte : Elaborado pela autora com base nos dados do Instituto Pristino, 2012.

3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

. O uso e ocupação dos solos no entorno dos corpos d'água em uma Bacia hidrográfica possui impactos significativos sobre os recursos hídricos, exercendo influencia nos processos hidrológicos e sedimentológicos como escoamento superficial, aporte de sedimentos, erosão dos solos e propagação de poluentes (Dunne e Leopold, 1978). Tais impactos variam de acordo com o uso, aporte de nutrientes, carga orgânica, contaminantes metálicos e arraste de sedimentos, promovendo, assim, um desequilíbrio no ciclo hidrológico local e regional (Morgan, 1980). As alterações no uso e ocupação podem ser causadas por diversos motivos, destacando-se supressão da vegetação, uso agrícola e urbanização acelerada (Tucci, 2005).

Conforme ilustrado pela **Figura 3.4**, o uso e ocupação na Bacia do Rio Caratinga são marcadas por Agropecuária/pastagem (76%), Floresta Estacional Semidecidual (19%),

Reflorestamento (3%), e outros usos (2%). A agricultura representa apenas 0,34% da área da Bacia, mas possui grande representatividade no município de Caratinga, onde se destaca a produção de café.

Desse modo, analisando-se o uso e ocupação da Bacia, nota-se a degradação da Bacia em relação aos seus ecossistemas naturais, ameaçando assim, a qualidade dos corpos hídricos.

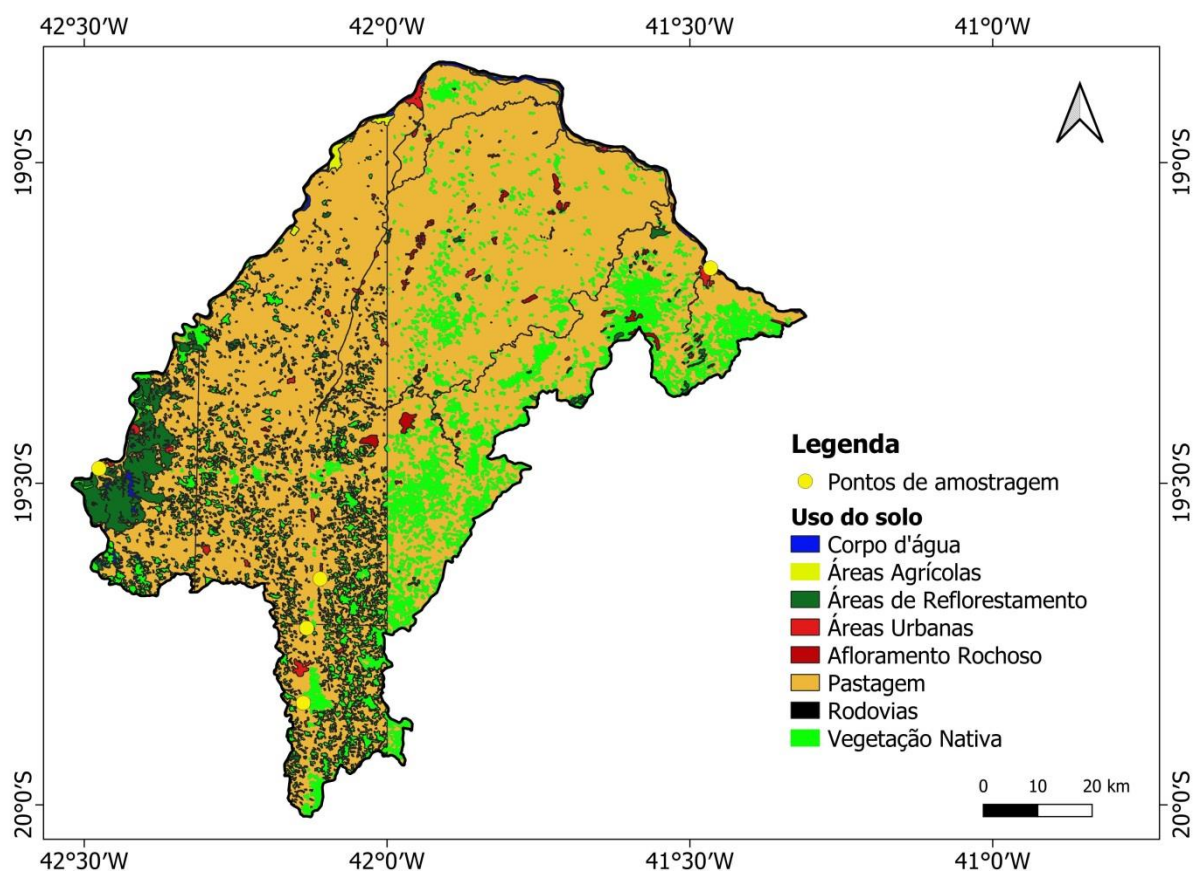


Figura 3.4 - Uso e Cobertura do solo na Bacia do Rio Caratinga. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do Instituto Pristino, 2015.

3.3 Economia

A Bacia do Rio Doce abriga o maior complexo siderúrgico da América Latina. Devido a isso, a mineração e siderurgia são os destaques quanto a economia da região exercendo um importante papel para o desenvolvimento econômico do local, fortalecido pelas exportações de minério de ferro, celulose e aço (CBH DOCE , 2014).

De acordo com o IBGE, as principais atividades econômicas do município de Caratinga são Indústria e Prestação de Serviços (maiores geradoras de PIB). O ramo industrial é bem diversificado, podendo-se notar a presença de indústrias de tecido, móveis, manipulação de minerais não metálicos, entre outras. Destaca-se também a extração de eucalipto para produção de celulose.

Além da indústria, a atividade agropecuária exerce relevante papel para a economia local, destacando-se a produção de café, favorecida pelos aspectos fisiográficos da região como clima, solo fértil e declividade. A região possui cerca de 30 mil hectares de plantação, gerando sempre novos postos de emprego e com um lucro aproximado de 300 milhões de reais em suas maiores safras. A agropecuária também se encontra bastante presente, contribuindo expressivamente para o PIB regional.

CAPÍTULO 4

EMBASAMENTO TEÓRICO

4.1 AMBIENTES FLUVIAIS

4.1.1 Intemperismo e erosão

A contínua exposição da crosta continental à atmosfera faz com que suas rochas aflorantes, independente de sua composição, sofram constante desagregação e decomposição, advindas de processos químicos e físicos (Bauman, 2008). O intemperismo físico pode ser descrito como o processo de fragmentação das rochas em partículas de menor granulometria, sem mudança significativa em sua composição química. Esse processo é de suma importância, visto que causa o aumento da superfície de contato do material rochoso, tornando-o mais vulnerável aos agentes de intemperismo químico como ar e água, além de favorecer a pedogênese (Andrews e Brimblecombe, 2003).

Os processos mais comuns de intemperismo físico são desagregação por termoclastia, por crioclastia e abrasão. Os dois primeiros processos ocorrem quando a pressão confinada da crosta é removida por soerguimento ou erosão, viabilizando a formação de juntas. Tais juntas podem se expandir até a compartimentação da rocha através de processos termais causados devido à variação de temperaturas (termoclastia) ou por pressão do congelamento ou degelo da água (crioclastia). O processo de abrasão ocorre pelo impacto de grãos transportados contra o substrato rochoso (Grotzinger e Jordan, 2013; Bauman 2008).

Entende-se por intemperismo químico aquele que tem como principal agente a água, que, através de reações químicas como dissolução, hidrólise, oxidação, hidratação, complexação e carbonatação causam mudança na estrutura molecular dos minerais formadores da rocha (Carvalho, 1995; Suguio, 2003). Além da água o intemperismo químico pode ser causado por gases como O_2 , SO_2 , SO_3 , NO_3 , que, associados a água podem formar fortes ácidos, ou causar oxidação, no caso do oxigênio (Andrews e Brimblecombe, 2003).

O intemperismo químico e físicos são controlados principalmente pelos seguintes fatores: clima, relevo e material parental. Quanto ao clima, podemos salientar que, o intemperismo físico é favorecido em regiões de clima temperado, onde o material erodido mantém as características químicas da rocha mãe, em contrapartida, o intemperismo químico ocorre de forma mais intensa em países de clima tropical, devido aos altos índices pluviométricos (Toledo, 2009).

Em seus estudos, Ker *et al.* (1997) aborda que no intemperismo químico podem ocorrer dois tipos de reações, as reações congruentes, onde o mineral é completamente dissolvido ou solubilizado e as reações incongruentes, onde algum ou todos os íons liberados se precipitam novamente, formando novos minerais. Andrews (2009) salienta que alguns íons e compostos dos minerais são removidos em solução percolando através do resíduo mineral alimentando aquíferos e rios. Já os grãos de granulometria fina podem ser lixiviados do manto de intemperismo, alterando quimicamente os minerais formadores do solo. Para Toledo (2009) o processo de hidrólise dissolve os minerais carbonatos e retira os elementos móveis em forma de cátions K, Na, Mg e Ca, ocasionando enriquecimento do solo em Al, Fe e Si.

As águas fluviais configuram-se como um dos mais significantes agentes geológicos no planeta, atuando como agente intempérico, condicionamento ambiental e sendo de suma importância para a vida humana (Suguio, 2003). Segundo Summerfield (1994), o transporte de sedimentos dos continentes para os oceanos são um dos processos mais importantes na formação dos solos, ciclos biogeoquímicos, evolução da crosta terrestre, atuando de forma incisiva na modelagem do relevo.

De acordo com Charlton (2008), o processo de erosão fluvial tem início quando a energia gerada pelo fluxo de água ultrapassa a resistência do material do leito e das margens do rio. Quando isso ocorre, há desprendimento do sedimento, que é carregado até uma Bacia sedimentar. A energia gerada varia de acordo com a profundidade e declividade do relevo, os quais influenciam na velocidade do fluxo. Em áreas sem vegetação, a erosão fluvial amplifica-se de acordo com a pluviosidade, gradiente de inclinação, comprimento do declive, escoamento superficial e erodibilidade do solo (Sundborg, 1986; Christofoletti, 2002). A erosão fluvial pode ocorrer de forma vertical ou lateral. A erosão vertical é causada pela ação da corrente e ocasiona rebaixamento na calha do rio, enquanto erosão lateral é originada pela ação concomitante da corrente e das ondas, gerando desgaste nas margens que posteriormente entra em colapso erodindo as margens do mesmo (Alekseevskiy, 2008).

Uma Bacia hidrográfica possui distintas características morfológicas e altimétricas ao longo do seu curso, ocasionando diferentes comportamentos em relação a erosão e transporte de sedimentos. Nas partes mais altas do relevo, ocorre grande energia potencial, gerando uma taxa de erosão superior aos trechos mais baixos da Bacia. Consequentemente, a granulometria desses trechos é maior, devido a grande energia de fluxo e proximidade da área fonte. Já nas partes mais baixas da Bacia, onde a energia de fluxo é menor e os sedimentos já foram retrabalhados durante o curso do rio, se concentram sedimentos em suspensão, de granulometrias menores e com maior taxa de deposição (Guerra, 1996).

4.1.2 Transporte de sedimentos

Segundo Kirkby (1990), o transporte fluvial de sedimentos ocorre devido um conjunto de processos que se iniciam com a precipitação incidente sobre a Bacia e que integra-se a fatores como uso do solo, tipo de rocha, cobertura vegetal, uso e ocupação antrópica no seu curso pelas vertentes.

Christofolletti (1981) relaciona a capacidade de carregamento do escoamento e a força necessária para deslocar as partículas sólidas como fatores que regem o transporte de sedimentos pela água. Desse modo, as partículas de granulometrias maiores, como areia, necessitam de maior energia que as partículas menores como argilas e siltes para serem carreadas.

As características dos sedimentos transportados por um rio podem ser influenciadas por diversos fatores, sendo eles, segundo Mortatti *et. al* (2002) , velocidade média do fluxo, tipo de material geológico, granulometria e forma da partícula, clima, cobertura vegetal da Bacia, uso do solo e topografia.

Ao longo do curso do rio, os sedimentos são submetidos as diversas condições de transporte, o que ocasiona uma diversificação na granulometria dos sedimentos que nele chegam. Dessa forma, os sedimentos de diferentes granulometrias são transportados de modos distintos. Segundo Silva (2003) o transporte de sedimentos pode ocorrer como carga sólida de arrasto, carga sólida saltante e carga sólida em suspensão. A carga sólida de arraste, carga sólida saltante e carga sólida em suspensão. A carga sólida de arraste são as partículas constituídas de sedimentos de maiores granulometrias (areias, cascalhos), e que rolam e escorregam sobre o leito dos cursos d'água. A carga sólida saltante são as partículas que pulam devido ao atrito com outras partículas e sob o efeito da correnteza. A carga sólida em

suspensão corresponde a mais de 90% de todo sedimento transportado nos rios, e são partículas de sedimentos capazes de se manter em suspensão pelo fluxo turbulento devido ao seu peso diminuto. A carga sólida de arrasto ocorre quanto às partículas estão em constante contato com o leito, rolando ou escorregando de forma transversal no rio.

A dinâmica de transporte e deposição de sedimentos carrega consigo diversas implicações como assoreamento, carregamento de poluentes agregados ou não as partículas, perda de qualidade das águas, mudanças na morfologia do canal e ainda desequilíbrio de ecossistemas causado pela turbidez. Ao longo dos anos, essas implicações se agravaram com as atividades antrópicas, como mudança de curso de rios, produção de esgoto, uso e ocupação desordenada, agricultura intensiva entre outros. Dessa maneira, a atividade humana mostra-se como fator de maior aumento da erosão e transporte de sedimentos de rio, influenciando em impactos ambientais e sociais, tornando de suma importância o conhecimento da dinâmica hidrossedimentológica no planejamento de Bacias hidrográficas. (Holeman, 1968; Kirkby 1980; Silva, 2003; Silva *et al.* 2004).

4.2 GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS FLUVIAIS

Förstner (2004) caracteriza os sedimentos como detrito rochoso, originados dos mecanismos de intemperismo e erosão atuantes em rochas e solos, operando como principal componente de uma matriz que foi ou é susceptível ao transporte pelas águas. Suas características dependem da constituição da rocha erodida, do agente de transporte, da duração do mesmo e das condições físicas da Bacia de sedimentação. São classificados de acordo com o material constituinte, grau de arredondamento e textura.

Segundo Torres (2005), a geoquímica atua como ferramenta essencial na compreensão dos processos superficiais e subsuperficiais que regem a distribuição dos elementos químicos e da mineralogia. Em termos geológicos, o estudo da composição química de sedimentos viabiliza a aquisição de informações sobre as características da área fonte ou rochas parentais, e de suas condições químicas, intempéricas, climáticas e tectônicas dominantes.

No âmbito fluvial, os sedimentos são parte integral, essencial e dinâmica das Bacias hidrográficas, atuando como fontes de recursos energéticos para a biota, que através dos ciclos biogeoquímicos atuam de forma expressiva no comportamento dos metais aportados para os rios. Constituem-se também, como importantes depósitos e fontes potenciais de

liberação de elementos traço no ambiente aquático, disponibilizando-os para incorporação pela biota (Apitz e White, 2003; Vicq, 2012).

Em seus estudos, Förstner (1989) afirma que os sedimentos possuem significativa relevância na avaliação da forma e intensidade dos impactos gerados sob os ecossistemas aquáticos, visto que realizam contínuas trocas de nutrientes e outras substâncias poluentes ou não com a coluna d'água. Ademais, Carvalho (1994) cita que, através da análise de sedimentos superficiais e estudo das relações entre elementos traços nele contidos é possível estudar o histórico da ocupação da Bacia de drenagem e ainda entender a evolução de um ecossistema aquático.

Devido à capacidade dos sedimentos de estocar nutrientes e outros contaminantes (compostos orgânicos e metais) e disponibiliza-los através de ciclos biogeoquímicos para a biota e o sistema aquático, o estudo dos sedimentos é de extrema importância para avaliação da qualidade dos ecossistemas fluviais, determinação da origem dos contaminantes e entendimento dos processos geoquímicos aquáticos (Soares, 2004; Berbel, 2008).

4.2.1 Metais no sedimento

Em sua essência, sedimentos podem ser constituídos por fases sólidas de elementos dominantes, precipitados e compostos hidrolisados. As fases sólidas são representadas por metais (Fe, Al e Mn), não metais (C, S, Si e P) e elementos-traço (Cr, Cu, Pb, Zn e Ni). Os precipitados e compostos hidrolisados podem ser exemplificados como $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$; $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; ZnSiO_4 , $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ e $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ (Lemos, 2001).

Os elementos metálicos estão presentes de forma natural em inúmeros ambientes terrestres. Contudo, sua mobilidade em compartimentos ambientais é controlada pelas propriedades físico químicas do ambiente (pH e potencial de oxi-redução), pelas propriedades dos metais (valência, raio, grau de hidratação e coordenação com o oxigênio) e pela natureza do adsorvente (Hortellani *et al* 2008).

De acordo com Silva (2002), a concentração de metais em ambientes fluviais pode derivar-se de fontes litogênicas ou antropogênicas. Os metais oriundos de fontes litogênicas representam metais que se originam do intemperismo e erosão das rochas, como zircônio, rubídio e estrôncio. Já os antropogênicos, são aqueles que resultam das atividades humanas, como mineração, agricultura e lançamento de efluentes domésticos. Dentre eles podemos destacar o cromo, cobalto, níquel, cobre, zinco, cádmio, mercúrio e chumbo.

Esteves (1998) classifica os metais pesados em dois grupos: essenciais e não essenciais com relação aos seres vivos. Os do primeiro grupo correspondem a aqueles que desempenham importante papel nos processos metabólicos, bioquímicos e fisiológicos dos seres vivos. Os não essenciais, contudo, não possuem função biológica conhecida e geralmente são tóxicos para os organismos.

Os metais e outros elementos podem ser transportados pelos rios como partículas dissolvidas ou associados a partículas sólidas transportadas pelo rio, tanto em suspensão como em arraste. Em partículas sólidas, eles ocorrem como parte da estrutura cristalina dos minerais ou adsorvidos nas argilas. Os elementos adsorvidos as argilas, possuem maior reatividade comparando-se aos ligados a estrutura cristalina, devido a fraca ligação com o substrato (Smith, 1999; Santos, 2002).

4.2.2 Contaminação

Os sedimentos em meio aquático atuam como trapas para os poluentes, possuindo grande habilidade em acumular metais e compostos orgânicos (Frohener *et al.*, 2008). Para Leão (2014), os sedimentos atuam também como catalisadores, carreadores e fixadores de outros poluentes, sendo assim um dos maiores poluidores das águas. Dessa maneira, qualificam-se como instrumentos de suma importância na medição do nível de contaminação dos corpos d'água, tornando-se essenciais para o reconhecimento de impactos ambientais.

De forma isolada os sedimentos impossibilitam o uso da água em diversos compartimentos. Entretanto, diversos produtos químicos podem ser integrados aos sedimentos podendo ocasionar em trocas iônicas entre o soluto e o sedimento, fazendo com que esse componente seja um agente importante de poluição aquática. A capacidade poluidora do sedimento é acentuada devida a heterogeneidade em sua distribuição, dificultando o tratamento do ecossistema degradado (Soares, 2002).

De acordo com Porto (2009) os metais pesados no ambiente fluvial são advindos majoritariamente dos processos de intemperismo e erosão de solos e rochas ricos nestes materiais, atividades de mineração, atividades industriais, efluentes domésticos e águas superficiais oriundas de áreas cultivadas com adubos químicos. Já no ambiente aquático, os metais distribuem-se em seus compartimentos como solo, sedimento, plantas e animais, relembrando, que o sedimento, especificamente, funciona como um sistema de estoque de poluentes.

Odum (2007), afirma que os sedimentos contaminados por metais pesados podem impactar de modo negativo a vida aquática, corroborando para bioacumulação ou biomagnificação destes contaminantes da rede trófica. Além de tornar algumas áreas inabitáveis para a população bentônica, podem prejudicar a capacidade reprodutiva de muitos organismos, segundo Siegel (2002). O autor salienta ainda que a entrada e a saída de metais em um ecossistema são controladas em função do ambiente geológico e dos processos atuantes, os quais são mediados por fatores físicos, químicos, biológicos ou antrópicos.

Os primeiros registros de análise da qualidade dos sedimentos foram produzidos pela *Federal Water Quality Administration* e posteriormente utilizados 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. Utilizaram como critérios a presença de metais pesado, classificando o sedimento como poluído quando algum valor numérico fosse excedido. Em 1993, *Ontário Ministry of the Environment and Energy* (OMEE), desenvolveu um estudo para averiguar o grau limite de determinados elementos em sedimentos - nomeado VGQS (Valores Guia para a Qualidade de Sedimentos)- onde o grau limite representa os valores de referência de concentração de poluente que podem causar efeitos adversos à biota resultante da exposição a estes contaminantes. Nessa concepção, a concentração dos elementos foi dividida em três faixas, conforme seu efeito sobre organismos bentônicos: nenhum ou pouco efeito ; pequeno efeito e significativo ou severo efeito.

O OMEE estabeleceu, também, dois limites para as faixas citadas anteriormente. Tais limites foram nomeados de TEL e PEL, os quais podem ser compreendidos como *Threshold Effect Concentration Level* (TEL), que é o limite superior da faixa de concentração de contaminantes com nenhum ou pouco efeito adverso, ou seja, sedimentos com concentração de elementos tóxicos superiores ao valor dessa faixa são considerados como prováveis causadores de efeitos adversos para a biota. Os valores de PEL (*Probable Effect Level*) podem ser compreendidos como nível provável de efeito, que são representados pelo limite inferior da faixa de contaminantes onde podem ocorrer efeitos para os organismos bentônicos. No Brasil os limites citados acima são adotados como valores de referência pela CETESB e pelo CONAMA .

A resolução Brasileira foi estabelecida a partir de normas internacionais, como holandesa e canadense, as quais foram adaptadas de acordo com as variações elementares existentes no território brasileiro, adotando-se valores locais. A **Tabela 4.1** apresenta os

parâmetros legais para sedimento de fundo, de acordo com as normas CONAMA 454(2012) e valores guia do CCME (Conselho Canadense de Ministérios do Meio Ambiente, 2001).

Tabela 4.1 : Parâmetros legais para sedimento. Fonte: Elaborado pela autora de acordo com a resolução CONAMA 454/12 e valores guia do CCME(2001)

Elementos	Parametros legais para sedimento			
	Valor máximo da Resolução CONAMA 454/12		TEL (<i>Thershold Effect Level</i>), CCME(2001)	PEL (<i>Probable Effect Level</i>), CCME(2001)
	Nível 1	Nível 2		
Al	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-
Be	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-
Co	-	-	-	-
Cr	37,3	90	37,3	90
Cu	35,7	197	35,7	197
Fe	-	-	-	-
K	-	-	-	-
Li	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-
Na	-	-	-	-
Ni	18	35,9	18	35,9
P	-	-	-	-
Pb	35	91,3	35	91,3
S	-	-	-	-
Ti	-	-	-	-
V	-	-	-	-
Zn	123	315	123	315

4.2.3 Background geoquímico

O termo “*background* geoquímico” é oriundo da geoquímica de exploração, sendo adotado em meados dos anos sessenta com intuito inicial de distinguir as concentrações normais e anômalas nas formações rochosas mineralizadas e não mineralizadas (Remain e Garret, 2005; Rodrigues e Nalini, 2009).

Contudo, ao longo dos anos, o termo vem sendo abordado de diversas formas pelos conhecedores do assunto. Segundo Hawkes e Webb (1962), o *background* geoquímico corresponde a “abundância natural de um elemento em material estéril na crosta”. Já Gough (1993), atribui ao termo à sucessão de valores das concentrações de certos elementos em locais que sofreram influências antropogênicas. Em uma abordagem mais recente, Galuzka (2006), define *background* geoquímico como a ocorrência natural de um elemento ou substância em uma amostra, tendo em conta as variáveis de tempo e espaço da área investigada. No que condiz a perspectiva ambiental, o termo é elucidado como *background* natural, definido pela diferença entre a concentração natural do elemento ou composto e a concentração influenciada por atividades antrópicas (Matschullat 2000b).

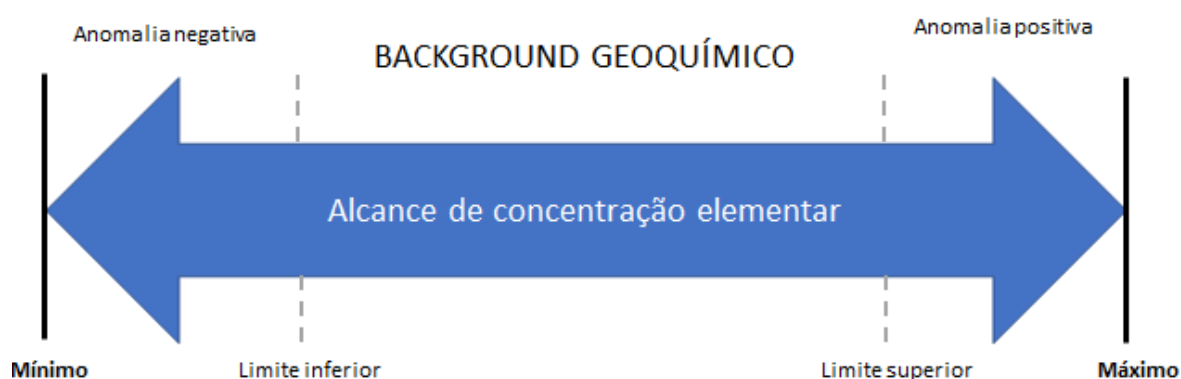


Figura 4.1 -Representação esquemática de “ *background* geoquímico”. Fonte : Adaptado pela autora a partir de dados de Galuzka (2013).

A **Figura 4.1** mostra um resumo esquemático para a definição de background geoquímico. O conceito de limites observados na figura foi criado por Garrett (1991) a fim de diferenciar os termos background e anomalia. Esses limites, mais conhecidos como *threshold* também podem ser definidos como “valor acima do qual o teor de uma dada amostra é considerado como anômalo” (Licht, 1998).

Segundo Galuszka (2011), o estudo das anomalias através do background geoquímico constitui-se primordial para pesquisas geoquímicas e ambientais. Romain e Garret (2005) e Matschullat (2000a) ressaltam que a estipulação dos valores de background geoquímico para certos metais é de extrema importância para discriminar as contribuições geogênicas de um dado ambiente (solos, plantas, sedimentos, água) das contribuições antropogênicas. Romain et al (2009) aborda, ainda, que , através da determinação dos valores de background dos elementos traço , torna-se factível a elaboração de mapas geoquímicos ambientais que posteriormente podem gerar guias de alerta para a contaminação de certas regiões.

4.2.3.1 *Determinação do background geoquímico*

Os valores de Background podem ser estabelecidos através de diversas metodologias. De acordo com Galuzka (2011), ainda não há um consenso entre os estudiosos sobre qual é o método correto. O autor afirma ainda que, hodiernamente, existem três métodos sendo usados: Direto, indireto e integrado. Crock *et al.* (1992) e Casarini (2000) citam o emprego das faixas de referência auferidas através de amostras-controles, tomadas em áreas sem influencia antrópogênica como método direto. Ademais, Wang (1994) e Tobias *et al.* (1997) classificam o método indireto como a distinção entre valores normais e anômalos, obtidos a partir de uma coleção de dados, incluindo amostras contaminadas e não contaminadas.

-Método direto

O método direto pode ser também chamado de “Método geoquímico”. Tal método fundamenta-se na análise de amostras obtidas no período pré-industrial ou coletadas em ambientes não afetados pela ação humana. (Crommentuijn *et.al.*, 2000; Baize e Sterckeman, 2001; Horckmans *et.al.*, 2005).

Nesse método, as amostras são selecionadas conforme análise de diversos parâmetros, na qual os sedimentos são analisados de modo individual. Concebe-se que o background

geoquímico deve ser entendido como um intervalo, não um valor único. Assim, os valores de referência de gênese geogênica são gerados através de valores médios de elementos traço de uma área intocada pelo homem (Costa, 2007 ; Galuzka , 2011).

Matschullat *et al.* (2000), defende as vantagens do método direto, enfatizando que os resultados gerados por esse método representam dados “reais”, não estando sujeitos a nenhum tipo de processamento . Contudo, outros estudiosos não consideram o método tão satisfatório, pois a determinação dos valores de referencia possui alto custo, e requer um conhecimento prévio muito vasto sobre o comportamento geoquímico dos elementos a serem estudados e sobre as condições ambientais da região (Remain, 2005; Costa, 2007).

-Método indireto

Diferente do método citado anteriormente, o método indireto possui baixo custo em relação a área estudada. Tal método também é conhecido como “método estatístico”, utilizando-se de técnicas gráficas e computacionais para a eliminação de dados anômalos dos resultados das análises químicas (Matschullat *et al.* , 2000).

Segundo Frizzo *et.al.* (2007), o método indireto utiliza-se de amostras finitas, as quais tem seus elementos químicos analisado a partir de operações estatísticas através de softwares computacionais, os quais são posteriormente interpretados gerando dados sobre a área estudada.

No que condiz ao método indireto, podemos dividi-lo em: Análises estatísticas e Análises espaciais, onde as análises estatísticas se destacam (Galuzka, 2011). Dentre os métodos estatísticos empregues na determinação dos valores de referência, sobressaem-se: método de Lepeltier (Lepeltier, 1969), análises de regressão linear (Selinus e Esbensen, 1995), representações por boxplots (Tobias *et.al.*, 1997) e análise fractal (Li *et.al.*, 2003).

Os métodos citados baseiam-se na geração de tabelas e gráficos, os quais relacionam frequências, amplitudes e histogramas de concentrações dos elementos sob investigação, buscando identificar e eliminar os dados anômalos.

A **figura 4.2** explana o método *boxplot*, a qual será empregada no presente estudo e baseia-se na frequência acumulada de um determinado elemento. Segundo Frizzo *et al.* (2007), por meio dos valores oriundos dessa frequência, pode-se identificar valores correspondentes a diferentes quartis (25%, 50% e 75%), vistos nas representações *boxplot* .Em tal figura, os *boxplots* representam a concentração e distribuição do elemento As em três

áreas distintas. Os círculos menores representam os valores anômalos, os quadrados a mediana (ou segundo quartil).

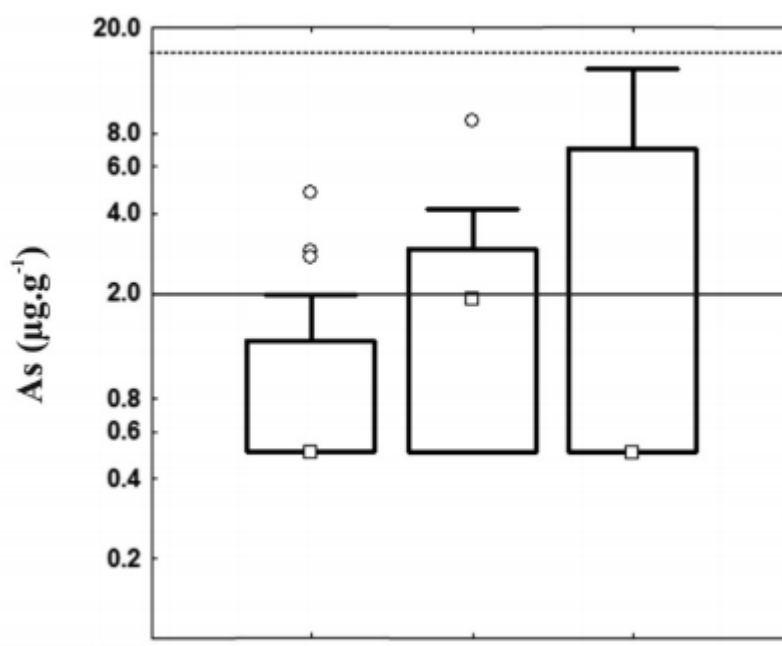


Figura 4.2 - Exemplo de representação de valores de *background* geoquímico por “boxplot”. Fonte: Silva-Filho *et al.* (2014).

4.2.4 Fator de enriquecimento

O fator de enriquecimento (FE) foi primordialmente criado em 1974, com intuito de investigar a origem dos elementos na água, precipitação ou atmosfera (Duce *et al.*, 1975). Com o tempo, seu estudo foi amplificando-se aos solos, sedimentos de lagos, turfa, rejeitos e outros materiais ambientais (Loska *et al.*, 1997)

Lu *et al.*, (2012) descreve fator de enriquecimento como um método no qual pode-se discernir entre as fontes geogênicas e antropogênicas de contaminação. Tan *et al.* (2005) ressalta a importância do fator de enriquecimento na identificação de matrizes geológicas com afinidades de adsorção de metais traço, corroborando com prospecções geoquímicas e estudo ambientais.

Os valores de FE expressam a razão entre os teores do elemento de estudo e um elemento litogênico “puro”, sem interferência antrópica relevante, relativa à relação análoga entre os dois elementos no material primário (Bowen, 1979).

CAPÍTULO 5

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS

Agudo (1987) afirma que os sedimentos são elementos muito importantes em sistemas fluviais, devido ao fato de colaborarem no balanço solúvel/insolúvel dos poluentes a manutenção de tais no corpo d'água, atuando, usualmente, como assimiladores das cargas poluentes recebidas. Costa (2001) salienta que os sedimentos são mais susceptíveis à contaminação por metais do que a água, que são mais estáveis como soluto do que como íons em solução.

Os sedimentos possuem grande capacidade de assimilação de elementos químicos, favorecendo a entrada de muitas espécies químicas sobre os mesmos, de modo que tais elementos podem ser transferidos para diversos organismos. Os minerais com maior capacidade de adsorção de outros elementos são óxidos e hidróxidos de ferro, manganês e alumínio, que atuam no acúmulo transporte e biodisponibilidade de metais traço nos ambientes aquáticos. (Carvalho, 1995; Baird, 1998; Moreira, 2002).

Por conseguinte, Baird (1998) e Silva (2003) notabilizam que em virtude da capacidade dos sedimentos de concentrar os elementos-traço e poluentes presentes na água, o estudo geoquímico dos mesmos é de suma importância para o gerenciamento da água e interpretação de assinatura geológica.

Por fim, o presente capítulo tem como finalidade correlacionar os resultados obtidos a partir da interpretação dos dados alcançados através da Análise geoquímica via ICP-OES e Difração de raios X. Tais dados quando analisados em conjunto, e comparados com os valores de Background Geoquímico, que também serão apresentados neste capítulo, permitem uma caracterização dos sedimentos da área estudada e possíveis alterações antrópicas.

5.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A distribuição granulométrica caracteriza-se como uma quantificação relativa do tamanho dos grãos constituintes de uma amostra, onde esses tamanhos são agrupados em classes. A análise granulométrica em sedimentos viabiliza estudos de transporte de

sedimentos, dissolução de partículas finas e agregação de partículas, além de ser um instrumento importante na identificação da origem de poluentes do sistema fluvial (Poletto e Merten , 2006).

As análises granulométricas realizadas nos diferentes pontos da Bacia encontram-se representada na **Figura 5.1** - onde as amostras estão intituladas como A1, A2, A3, A4 e A5- e no Anexo I, onde seus dados estão detalhados. Com a análise do gráfico (**Figura 5.1**) e da tabela (Anexo I), é possível observar que a maior parte das amostras possui mais de 50% da sua composição na granulometria areia grossa/média. É possível perceber também, a diminuição da granulometria do alto para baixo curso do Rio Caratinga (A1 a A4), isso pode ocorrer devido a mudança da hidrodinâmica, sabendo-se que a amostra A4 localiza-se na junção dos Rios Doce e Caratinga. Vale ressaltar que locais com que possuem sedimentos de granulometria mais fina possuem maior vulnerabilidade à contaminação por metais pesados.

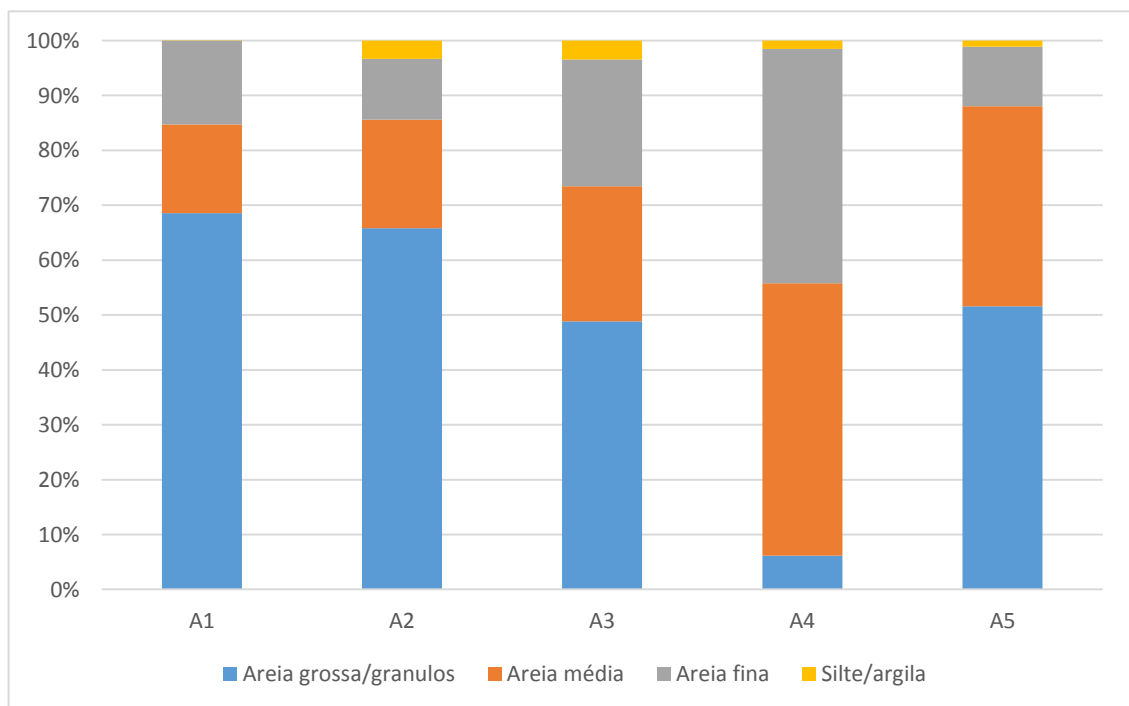


Figura 5.1 - Distribuição granulométrica dos sedimentos da Bacia do Rio Caratinga

5.2 BACKGROUND GEOQUÍMICO

Hursthouse (2001) infere em seus estudos que o não reconhecimento dos valores de background local pode acarretar em interpretações errôneas sub ou superestimando a significância dos níveis de contaminação. Dessa forma, a definição dos valores de background torna-se uma ferramenta extremamente proficiente para os estudos geoquímicos e ambientais.

O *background* geoquímico da região estudada no presente trabalho foi realizado através do método estatístico indireto, como já mencionado no capítulo anterior. Nas seguintes figuras (**Figura 5.2** e **Figura 5.3**) pode-se observar os valores de Background para cada elemento, representados através de *box-plots* que demonstram a distribuição de cada elemento na região.

Os valores de *background* são representados pela mediana (traço contínuo), enquanto as anomalias são representadas pelos pequenos círculos e os valores extremos pelo símbolo “*”. Para efeito de comparação, foram adicionados aos gráficos valores da crosta continental superior (UCC), que estão representados através das linhas tracejadas. Os valores estatísticos e de UCC encontram-se no Anexo II.

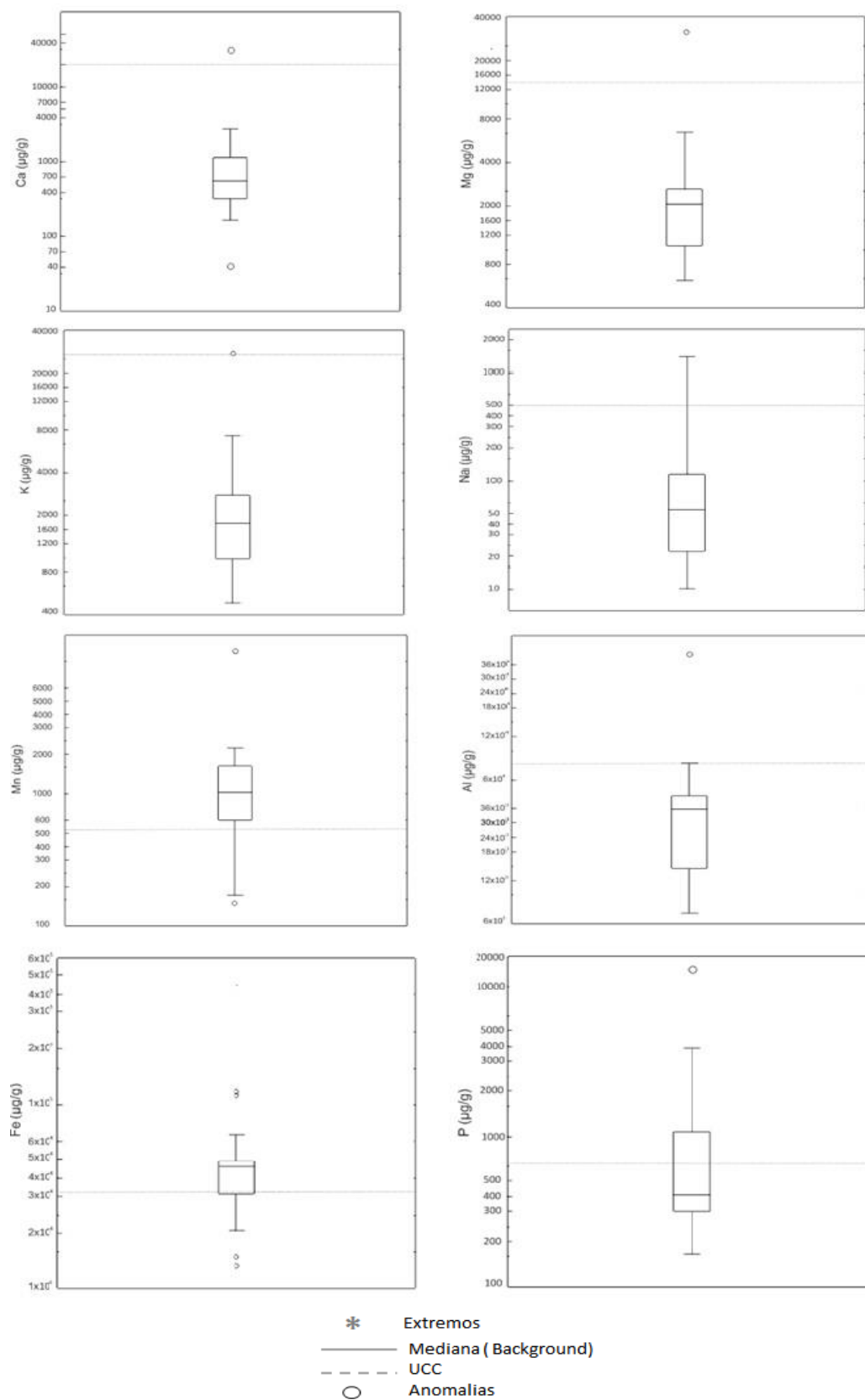


Figura 5.2 - Distribuição dos elementos maiores

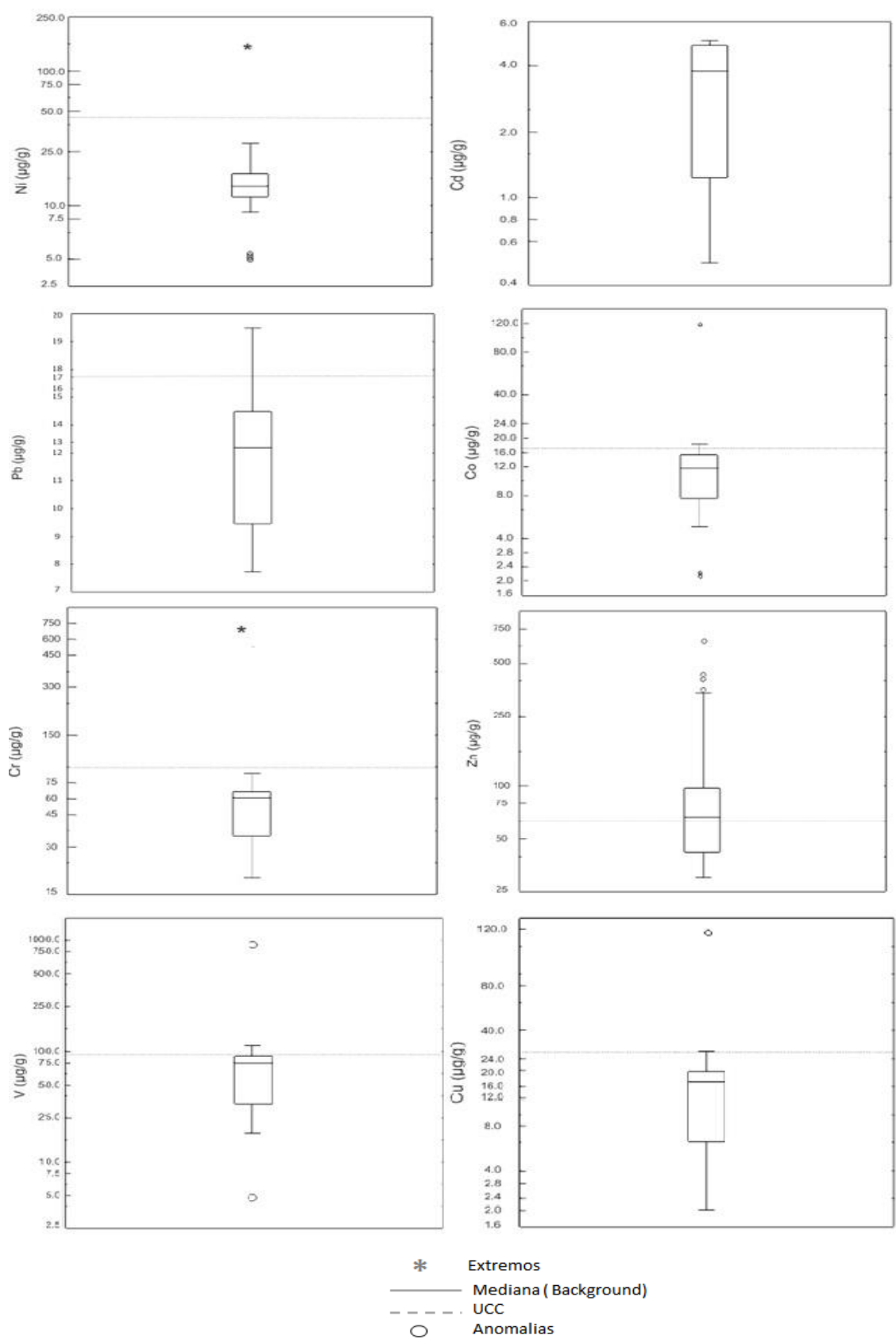


Figura 5.3 - Distribuição dos metais pesados

Com base nas figuras apresentadas acima, comparando-se os níveis crustais com o *background* pode-se perceber que dentre os elementos maiores (**Figura 5.2**), o Fe e Mn apresentam valores de fundo –*background*– acima da média crustal, enquanto os demais se encontram abaixo. Os altos níveis de Mn podem se justificar pela presença de granadas que compõem o Tonalito Bom Jesus do Galho. Pode ocorrer também pela ocorrência de uma expressiva zona de cisalhamento no local, na qual o Mn pode ter entrado com o fluido em um processo de hidrotermalismo. Os valores altos de Fe podem ocorrer devido a presença de formações ferríferas na região (Queiroga *et al.* ; 2011) .

5.3 DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE MINERALÓGICA

5.3.1 Ponto 1

O primeiro ponto representa o ponto mais próximo a nascente do Rio Caratinga. Localiza-se antes da cidade, sob o Complexo Juiz de Fora, que tem como principais litotipos ortognaisses que possuem em sua mineralogia essencial: plagioclásio, quartzo, ortopiroxênio e clinopiroxênio, sendo biotita e hornblenda são produtos de reações retrometamórficas (Noce *et al.* , 2007).

As análises realizadas pelos difratometro de raios X (Anexo III) identificam a presença das seguintes fases minerais: Quartzo, Caulinita, Gibbsita, Muscovita e Albita.

A presença de minerais secundários como Gibbsita e Caulinita indica que os solos são mais evoluídos no local. As redondezas do presente ponto apresentam áreas de agricultura e pastagem, que favorecem a erosão laminar dos minerais supracitados. Os demais minerais presentes nos sedimentos são, provavelmente, advindos dos gnaisses da região.

5.3.2 Ponto 2

Localizado no Rio Caratinga, ao norte da cidade homônima. Como o ponto anterior, também está situado sob o Complexo Juiz de Fora. De acordo com a análise dos

difratogramas (Anexo III) a mineralogia do solo amostrado no Ponto 2 tem como minerais preponderantes, a Caulinita, Muscovita, Quartzo e Ortoclásio.

De acordo com observações em campo e análise espacial por imagens de satélite, a área no entorno é composta por pastagens e plantações de café, além de uma rodovia que passa próxima ao local. Todos esses fatores supracitados contribuem significativamente para a produção de sedimentos através da erosão dos solos, aumentando a turbidez do curso d'água. As observações realizadas em campo salientam ainda que a água possui cor acinzentada, o que pode ser justificado pela presença significativa de material em suspensão, influenciado pelas atividades antrópicas na região.

5.3.3 Ponto 3

Tal ponto encontra-se no Rio Caratinga, próximo ao município de Ubaporanga-MG. Localiza-se nos domínios do complexo Juiz de Fora, citado anteriormente.

As análises realizadas pelos difratômetro de raios X (Anexo III) identificam a presença das seguintes fases minerais: Quartzo, Muscovita, Albita e Caulinita. A presença de tais fases minerais corrobora com a litologia descrita no local, uma vez que Quartzo, Muscovita e Albita são fases minerais comuns em gnaisses.

Observações realizadas em trabalho de campo apontam no local existência de pastagem e ausência de mata ciliar, o que acarreta em erosão das margens e maior formação de sedimentos. O uso e ocupação do local justifica a presença da fase mineral Caulinita, a qual tem como principal origem a erosão laminar de solos expostos como no ponto estudado.

5.3.4 Ponto 4

O ponto 4 localiza-se na foz do Rio Caratinga, em seu encontro com o Rio Doce, no Município de Conselheiro Pena-MG. Tal ponto localiza-se nos domínios do Grupo Rio Doce, Formação São Tomé. Seus principais litotipos são Metagrauvaca, Micaxisto e Metadacito, como pode ser observado na **Tabela 2.1**.

O entorno da área quase não possui vegetação, com mata ciliar inexpressiva e foram localizados canos de esgoto no local.

Os resultados das análises de difratometria apontam as seguintes fases minerais: Caulinita, Quartzo, Muscovita, Albita e Gibbsita. Tais fases corroboram com a litologia supracitada.

5.3.5 Ponto 5

O ultimo ponto localiza-se no Rio Doce, no município de Ipatinga-MG. Tal ponto difere dos demais, pois encontra-se em um local afetado pelo rompimento da barragem do fundão em 2015. Localiza-se sob as rochas do Complexo Mantiqueira, sendo composto em sua maioria por ortognaisses.

Observações feitas em campo citam a presença de uma mineração de areia no local e criação de gado, fatores catalisadores de erosão e produção de sedimentos no local.

A análise difratométrica diferenciou as seguintes fases minerais: Caulinita, Muscovita, Quartzo, Goethita, Gibbsita e Microclina. A composição das rochas do local corroboram com a presença de todos minerais supracitados, com exceção da Goethita . A constituição litológica no local apresenta hidróxidos de ferro, mas somente como minerais traços, os quais normalmente não apareceriam na análise de raio-x. Conclui-se, portanto, que a Goetita presente nos resultados da análise possivelmente provem de fontes externas, que, no caso, seria dos sedimentos do rompimento da Barragem do Fundão.

5.4 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

Agudo (1987) afirma que os sedimentos são elementos muito importantes em sistemas fluviais, devido ao fato de participarem no equilíbrio dos poluentes solúveis/insolúveis e sua maior permanência do corpo d'água, sendo, em geral, integradores das cargas poluentes recebidas. Costa (2001) salienta que os sedimentos são mais susceptíveis á contaminação por metais do que a água, que são mais estáveis como soluto do que como íons em solução.

Os sedimentos possuem grande capacidade de assimilação de elementos químicos, favorecendo a entrada de muitas espécies químicas sobre os mesmos, de modo que tais elementos podem ser transferidos para diversos organismos. Os minerais com maior capacidade de adsorção de outros elementos são óxidos e hidróxidos de ferro, manganês e alumínio, que atuam no acúmulo transporte e biodisponibilidade de metais traço nos

ambientes aquáticos. Os argilominerais (silicatos hidratados de alumínio e ferro, podendo conter outros minerais com diâmetro inferior a 2µm) também apresentam alta capacidade de adsorção, podendo ser usados como adsorventes em água e óleo (Baird, 1998; Carvalho, 1995; Moreira, 2002).

Por conseguinte, Baird (1998) e Silva (2003) salientam que, em virtude da capacidade dos sedimentos de concentrar os elementos-traço e poluentes presentes na água, o estudo geoquímico dos mesmos é de suma importância para o gerenciamento da água e interpretação de assinatura geológica.

No presente trabalho, foram analisadas em ICP-OES, a fração granulométrica <0,063mm, como já explicitado na metodologia. Os dados obtidos através dessa análise são mostrados no Anexo IV, e os valores tratados assim como seus dados estatísticos são mostrados no Anexo V.

5.4.1 Elementos maiores

Em sua definição geológica, elementos maiores são definidos como todos os elementos que compõem 95% da crosta: Si, Al, Ca, Mg, Na, K, Ti, Fe, Mn e P. Na geoquímica, são elementos de concentração maior que 1%, expressos geralmente em peso do respectivo óxido (wt %).

5.4.1.1 Cálcio, Magnésio, Potássio e Sódio

Os elementos Ca, K, Mg e Na possuem alta solubilidade e capacidade de lixiviação em clima tropicais como no Brasil, onde ocorre intemperismo intenso. O potássio possui alta mobilidade, sendo estável como elemento solúvel (Costa, 2001).

No presente estudo observa-se um padrão de distribuição dos elementos K e Mg, (**Figura 5.4**) podendo indicar uma relação mineralógica e litológica entre os dois. Observa-se também os valores ínfimos de concentrações de Na, que ocorrem devido sua alta solubilização.

As maiores concentrações dos elementos K e Mg ocorrem no ponto 4 (foz do Rio Caratinga, de encontro com o Rio Doce), podendo se correlacionar o Mg com as rochas ultramáficas da Formação São Tomé e o K aos xistos feldspáticos. Já o elemento Ca possui sua maior concentração no ponto A2, localizado na cidade de Caratinga, dentro dos domínios do complexo Juiz de Fora.

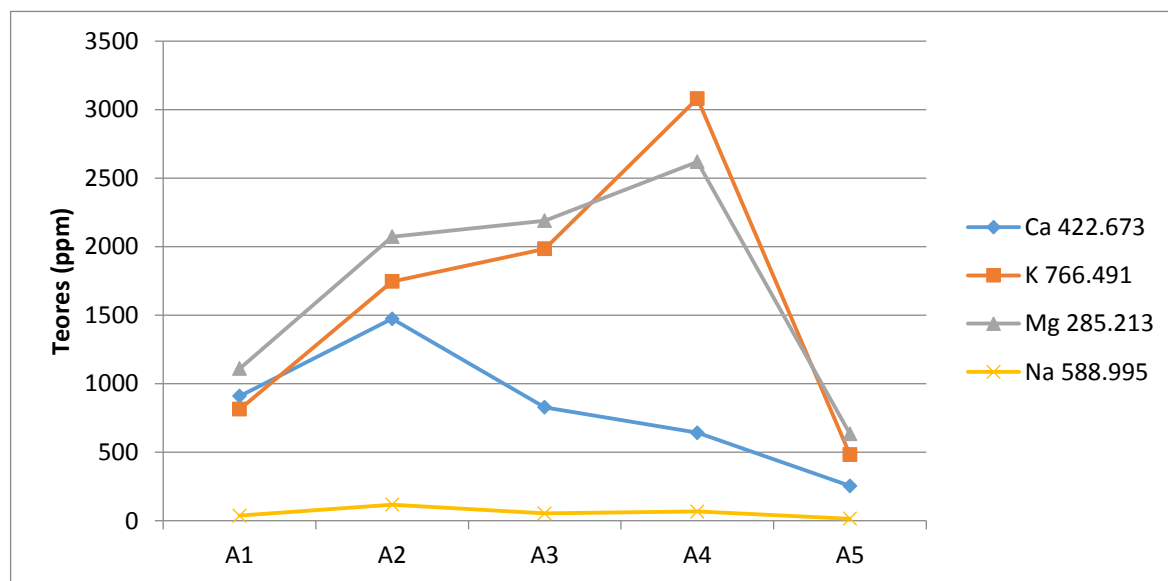


Figura 5.4-Diagrama da variação de concentração de Ca, K, Mg e Na ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.1.2 Fósforo

O fósforo é um elemento do grupo dos ametais, muito abundante na crosta terrestre. Ocorre comumente na forma de sais (fosfatos), que são compostos muito ativos ainda que em baixas temperaturas (Emsley, 1998; Souza *et. al* 2008).

Os minerais característicos de fósforo são apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$) e xenótimo (YPO_4). Os possíveis minerais hospedeiros são: a olivina, as granadas, as piroxenas, as anfíbolas, as micas e os feldspatos (Deer *et al.*, 1966; Reimann e Caritat, 1998).

Reimann e Caritat (1998) classificam o fósforo como um elemento de baixa mobilidade nos mais diversos ambientes, entretanto, quando está na forma de íon fosfato apresenta mobilidade elevada.

É considerado um elemento essencial em todos sistemas vivos, sendo tóxico quando ingerido em concentrações elevadas.

Suas fontes primordiais são as águas residuais, agricultura (fertilizantes tipo NPK) e poeiras geogênicas (Reimann e Caritat, 1998).

Na região estudada observa-se duas anomalias nos pontos A1, A2 e A3 (**Figura 5.5**), sendo a mais significativa ocorrendo no ponto A2, com a concentração de 3863 ppm. Todos os pontos de concentrações anômalas localizam-se sob o Complexo Juiz de Fora. As

anomalias podem ser explicadas por fatores antropogênicos, tendo em vista que os pontos de anomalia possuem plantações de café próximas, onde o fósforo é comumente encontrado em fertilizantes (NPK) e herbicidas (Glfosato). O ponto A2 além do mais está localizado na área urbana, a qual possui despejo de esgoto doméstico, onde o fósforo pode aparecer através do uso de detergentes.

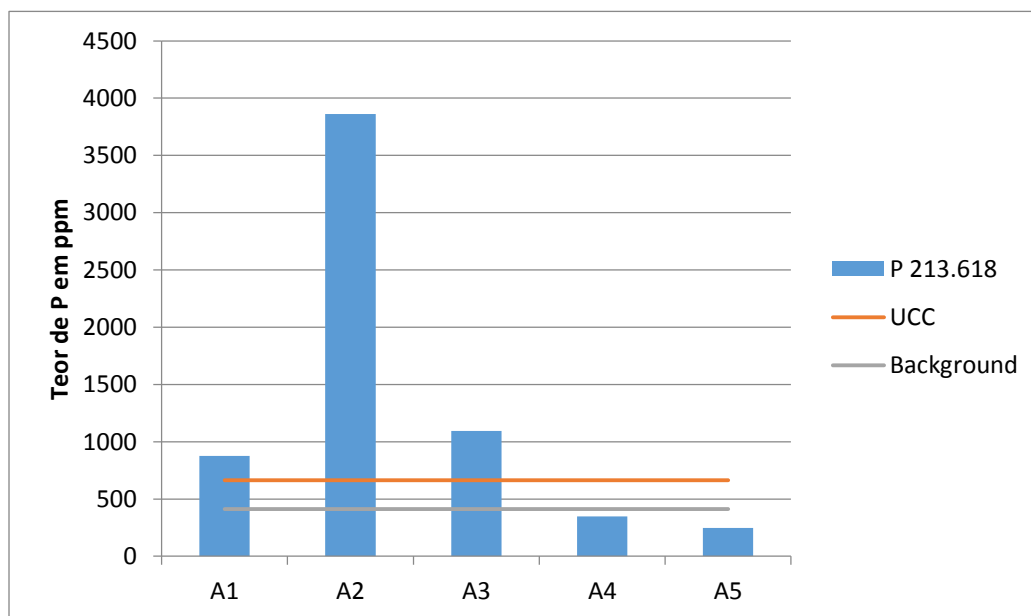


Figura 5.5 - Diagrama da variação de concentração de fósforo ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.1.3 Ferro

A biodisponibilidade dos metais nos sedimentos fluviais depende da força da interação ligante/suporte. Segundo Costa (2001), os hidróxidos de ferro, sulfetos metálicos e óxidos de manganês são importantes suportes, controlando a distribuição de metais pesados no ambiente aquático.

O Ferro é encontrado na natureza principalmente em forma de óxidos, como nos minerais Hematita (Fe_2O_3), Magnetita (Fe_3O_4) e Goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$). Tais óxidos caracterizam um grupo de materiais com uma quantidade notável de propriedades e uma química diferenciada, por consequência de suas propriedades morfológicas, elétricas, físico-químicas e magnéticas, tornando-os extremamente importantes do ponto de vista científico.

Caracteriza-se como um elemento essencial para todos seres vivos, e pode ser tóxico em doses elevadas. Em áreas com solos ricos em cálcio pode haver escassez de Ferro. Sua disponibilidade no solo varia de acordo com o pH, teor de fosfatos e do teor em outros metais (Reimann e Caritat, 1998).

Os oxi-hidróxidos de ferro possuem elevada capacidade de adsorção, sendo comumente usados na remoção de Arsênio em águas contaminadas.

Analisando-se os valores exibidos no gráfico da **Figura 5.6**, podemos observar que pelos valores de fundo determinados para o local, temos anomalias apenas nos pontos A1 e A5. O ponto A5 possui essa concentração anômala possivelmente devido aos sedimentos provenientes dos rejeitos de minério de ferro da Barragem do Fundão. Já no primeiro ponto pode-se justificar essa anomalia pelo fato de estar mais a montante, onde o elemento encontra-se mais concentrado.

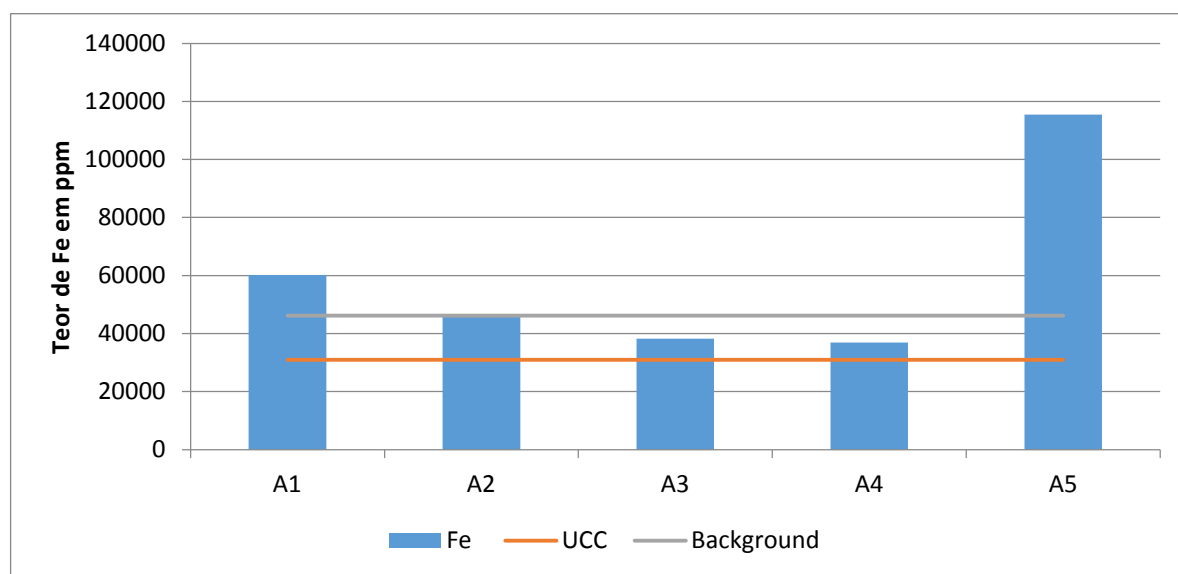


Figura 5.6 - Diagrama da variação de concentração de Ferro ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.1.4 Alumínio

O alumínio é metal mais abundante na crosta terrestre, e pode ser encontrado de diversas formas na natureza: silicatos, hidróxidos, óxidos ou combinado com outros elementos, sendo bastante comum na composição química de argilominerais, mica e

feldspatos. Devido sua baixa solubilidade, esse elemento tende a resistir a lixiviação, acidificando o solo e formando solos residuais como laterita e bauxita.

No presente estudo, as concentrações de alumínio encontram-se abaixo dos níveis crustais, como pode ser observado na **Figura 5.7**. Correlacionando as concentrações do elemento com o background obtido no estudo, observam-se picos de concentração nos três primeiros pontos, que pode ser explicado por estes estarem localizados no Complexo Juiz de Fora, de litologia granítica, associando-se a concentração anômala com a presença de feldspatos nos granitoides. No ultimo ponto, pode-se inferir que a baixa concentração de alumínio provem do soterramento causado pelos rejeitos da barragem de Fundão.

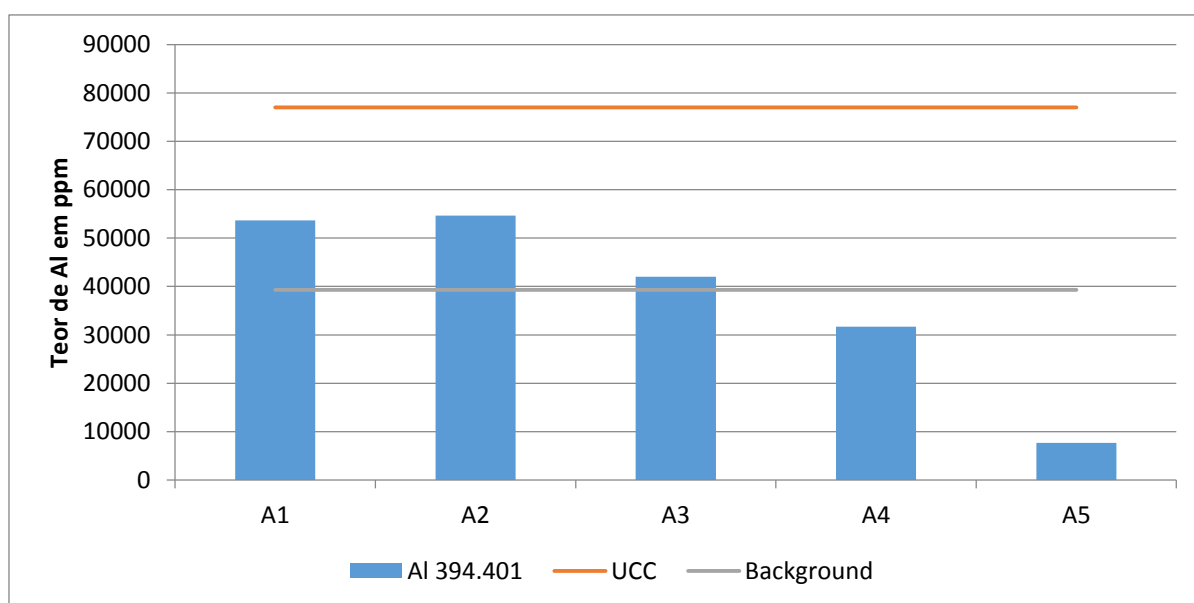


Figura 5.7 - Diagrama da variação de concentração de alumínio ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.1.5 Manganês

O elemento manganês apresenta-se com disponibilidade expressiva na natureza, encontrando-se presente em aproximadamente 250 minerais, além de carbonatos, sulfetos, óxidos entre outros (Wedepohl, 1978).

Segundo Carvalho (1995), elementos traços como Ba, Pb e K e metais de transição como Cu, Ni, e Zn estão correlacionados com teores mais altos em formações ferromanganesíferas e manganésíferas comparando-se com outras formações ferríferas.

De acordo com os estudos realizados previamente nesse trabalho, os valores de fundo para a área estão em torno de 1027 ppm. Analisando-se os pontos estudados, constata-se que com exceção do ponto A1, todos os valores de concentração encontram-se abaixo do valor de background (**Figura 5.8**). Pode se inferir que o primeiro ponto possui maior concentração de manganês devido os tonalitos que possuem granada em seu entorno. O ponto A1 encontra-se logo ao lado de uma zona de cisalhamento, a qual pode também acarretar maior concentração de manganês devido a processos hidrotermais.

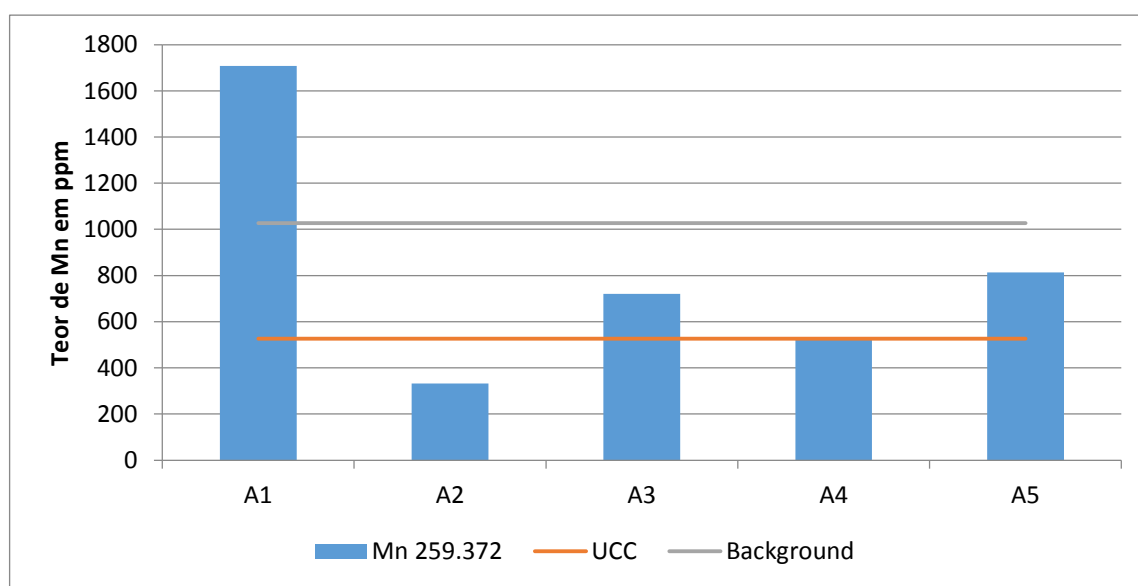


Figura 5.8 - Diagrama da variação de concentração de manganês ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.2 Metais Pesados

Denomina-se metais pesados os elementos relativos ao grupo de transição da tabela periódica que possuem densidade superior a $5,0\text{g/cm}^3$ (Alloway, 1993). Podem ser classificados como essenciais, que são aqueles que existem naturalmente nos organismos e são essenciais para os seres vivos, como Cromo, Zinco, Ferro, Cobalto, Manganês e Níquel. Outro grupo é o de não essenciais, aqueles que não existem naturalmente nos organismos, como Chumbo, Cádmio e Mercúrio. Os metais pesados podem ser tóxicos em determinadas concentrações aos seres vivos e a atividade humana tende a aumentar sua mobilidade e concentração (Costa 2001).

Em seus estudos, Allan (1993) afirma que vários metais pesados possuem papel importante para o metabolismo humano, sendo essenciais em concentrações baixas e tornando-se tóxicos em concentrações elevadas.

Borba (2002) afirma que a concentrações naturais desses elementos podem muitas vezes ser indistinguíveis das concentrações advindas de intervenções antrópicas. Isso se deve ao fato dos elementos pesados estarem presentes em altos níveis em algumas mineralizações.

5.4.2.1 Bário

O elemento Bário encontra-se comumente em micas e feldspatos- principalmente ortoclásio- substituindo, na maioria das vezes o Ca. O principal mineral formado por Ba é a Barita (BaSO_4), que é comumente presente em rochas sedimentares e depósitos hidrotermais.

Os valores de fundo definidos no presente estudo são aproximadamente 145 ppm para concentrações na Bacia do Rio Caratinga. Analisando-se a **Figura 5.9**, pode se observar que apenas as amostras dos pontos 02 e 03 possuem valores acima do background, todavia são valores praticamente ínfimos, sendo o maior deles de 174 kg/mg , contido na amostra 03.

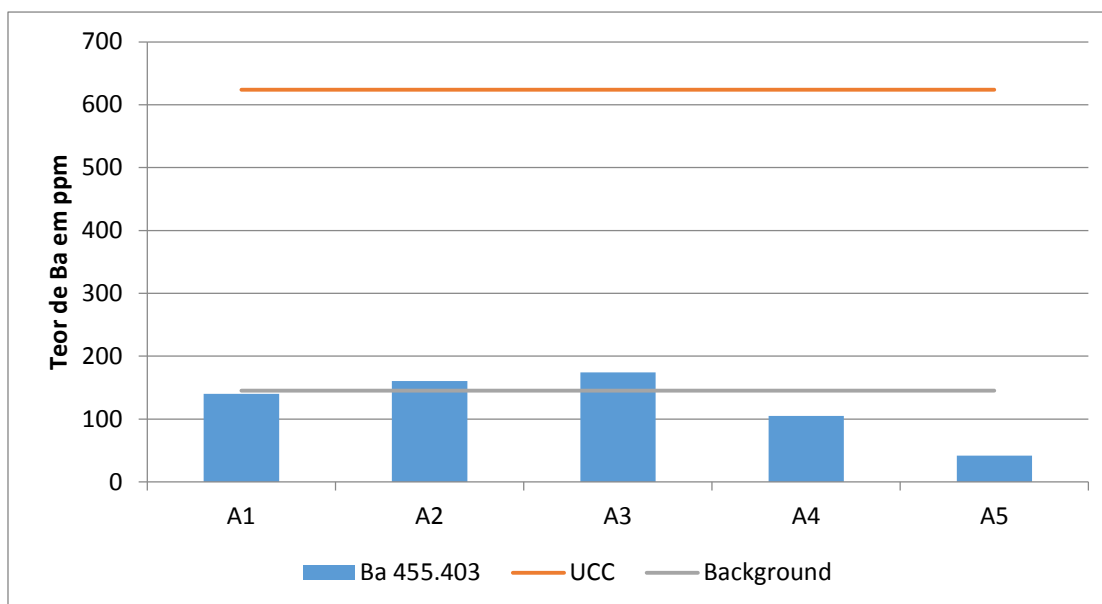


Figura 5.9- Diagrama da variação de concentração de bário ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.2.2 Cromo

O Cromo é um metal de transição (apesar de não ocorrer na natureza de forma metálica), que é encontrado de forma abundante na natureza. Tal elemento pode ser encontrado em vários tipos de minerais, encontrando-se em maiores concentrações em rochas máficas e ultramáficas. É comumente presente como mineral acessório em anfibolitos, serpentinitas e esteatitos. Minerais como micas, piroxênio e granada também podem conter o elemento Cromo. Apesar de ser encontrado em diversos minerais, sua aplicação econômica é viável somente quando ocorre no mineral de nome Cromita (FeCr_2O_4) (Grevesse *et al.* 1998, USGS).

Segundo Frei *et al.* (2014), o cromo possui baixa mobilidade, ocorrendo regularmente em crostas lateríticas e depósitos tipo placers enriquecidos em metais pesados. O elemento possui dois estados de oxidações principais Cr^{3+} e Cr^{6+} e quatro isótopos.

Wedepohl (1978) alucida ainda que durante o intemperismo, o Cromo tem comportamentos similares aos íons Al^{3+} e Fe^{3+} , ocasionando acumulação em lateritas e argilas.

Reimann e Caritat, (1998) apontam como principais fontes ambientais desse elemento a indústria química, fundição de aço, combustão de gás natural, poeiras geogênicas, fertilizantes entre outras.

O elemento cromo apresenta toxicidade variável, sendo considerado relativamente inofensivo na valência Cr^{3+} e altamente tóxico em sua forma Cr^{6+} , podendo causar diversos danos aos rins e fígado e além de ser cancerígeno.

De acordo com a Resolução CONAMA 454/2012, os valores máximos permitidos para o elemento cromo em sedimentos são de 37,3 mg/kg (Nível 01), que é o valor no qual acima há probabilidade de efeitos adversos a biota.

Na área de estudo a concentração de Cr variou de 33 mg/kg para 85 mg/kg, sendo que a maior parte dos pontos analisados ultrapassaram o limite de concentração estabelecido pela CONAMA, podendo-se inferir que a biota do local eventualmente está sendo danificada pelas anomalias positivas de Cr.

Os maiores teores foram encontrados nos três primeiros pontos de amostragem: ponto A1, ponto A2 e ponto A3 respectivamente, decaindo de montante (ponto A1) para jusante

(ponto A4). A maior concentração foi de 85ppm, no ponto A1, como pode ser observado na **Figura 5.10**. Os 3 primeiros pontos localizam-se sob o Complexo Juiz de Fora, o qual é representado em sua maioria por tonalitos, rochas félsicas, as quais não possuem cromo em abundância. A presença de cromo pode ser explicada pela sua associação com o Ferro, presente na região.

De modo geral, pode-se constatar que a presença do elemento Cromo na região se dá por fatores antrópicos, tendo em vista que as rochas da região não possuem composição compatível com o elemento. O cromo pode resultar da contaminação das águas provindas de esgotos industriais não tratados adequadamente. Caratinga possui um distrito industrial com indústrias do ramo têxtil, produção de produtos químicos, fabricação de móveis, manipulação de minerais não metálicos, entre outras. A indústria têxtil comumente utiliza o Cromo como fixador de cor e também no curtimento do couro. Na fabricação de móveis, o Cromo pode ser utilizado para tratar a madeira. Pode também ser resultante da indústria química e metalúrgica.

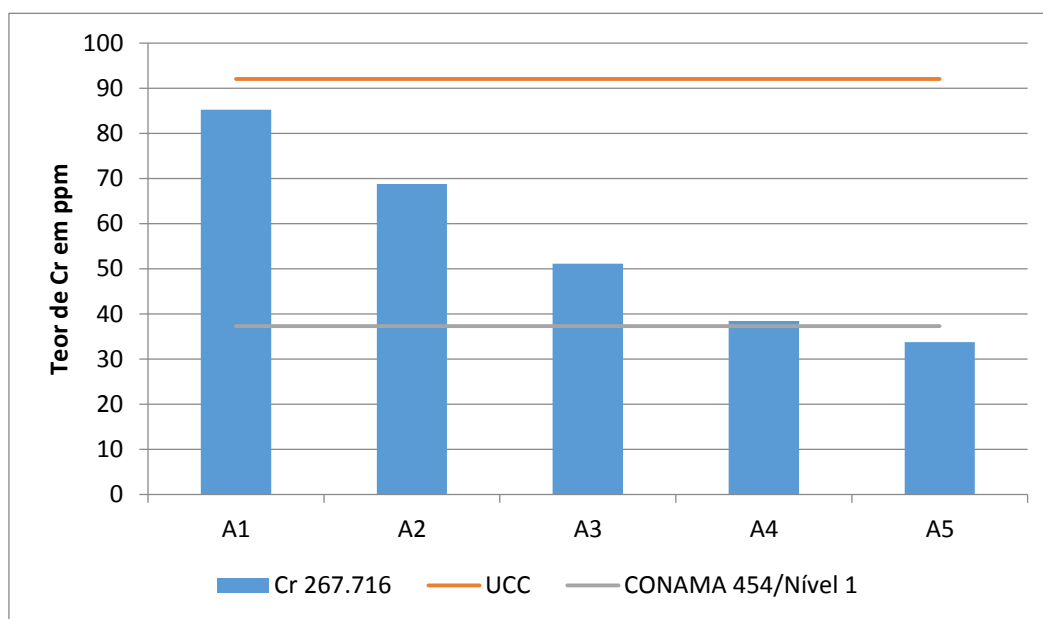


Figura 5.10 - Diagrama da variação de concentração de bário ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.2.3 Cobalto

O cobalto é um metal de transição, magnético, comumente associado com Níquel em minerais sulfetados, apresentando comportamento geoquímico semelhante ao mesmo (British Geological Survey, 2009). Em seus estudos, Reimann e Caritat, (1998) elucidam a forte correlação do elemento com Mg e Fe, e também sua ocorrência como elemento traço em rochas máficas e ultramáficas.

Possui mobilidade média em ambientes oxidantes e alta em meio ácido, tendo como maiores barreiras geoquímicas a presença de sulfuretos e variação de pH (Adriano, 1986).

No presente estudo, observa-se uma anomalia em relação aos valores de fundo somente no primeiro ponto (**Figura 5.11**), o qual possui concentração de 13,7 kg/mg. Tal concentração pode ser explicada por sua afinidade com os elementos Fe e Ni, que também ultrapassam os valores de background no ponto A1.

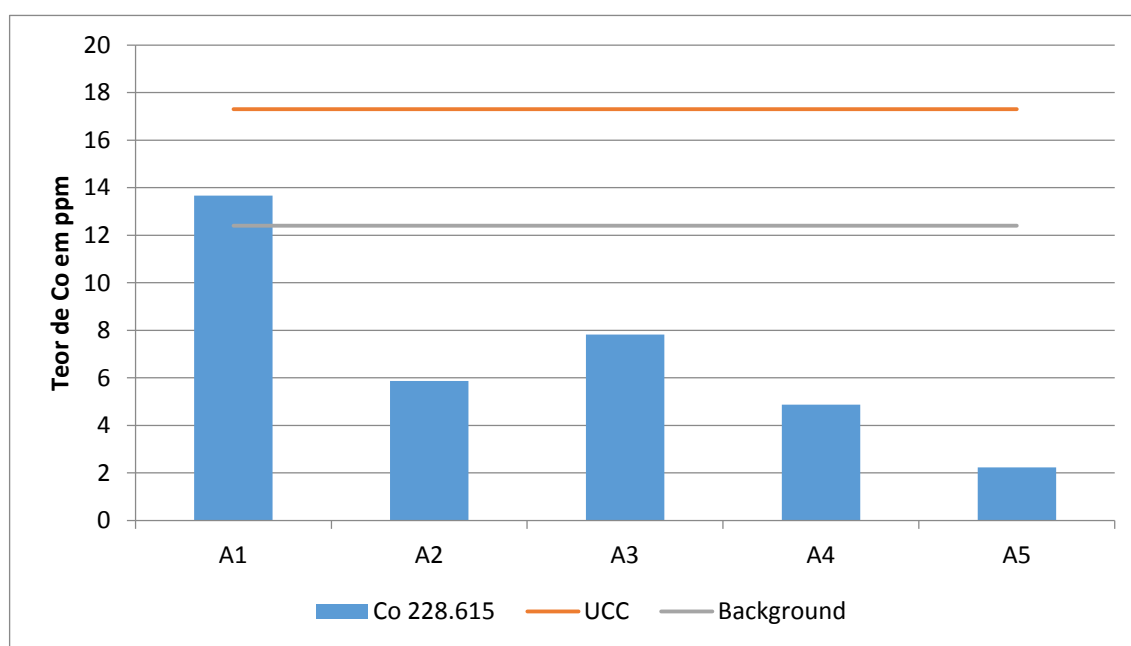


Figura 5.11 - Diagrama da variação de concentração de cobalto ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.2.4 Cobre

O cobre é classificado como um metal de transição, ocorrendo de forma abundante na crosta terrestre. Pertence ao grupo dos calcófilos e encontra-se em maiores concentrações em rochas básicas (Costa 2007). Encontra-se na natureza como cobre nativo, sulfetado ou óxidos, sendo seus minerais mais comuns a malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) e calcopirita (CuFeS_2). Pode ocorrer como elemento acessório em micas, anfibólio, piroxênios e magnetita (Reimann e Caritat, 1998).

Na área de estudo a concentração do Cu variou de 5 a 28.3 mg/kg (**Figura 5.12**), sendo o valor máximo observado no ponto 02, não ultrapassando o limite da CONAMA (35,7 mg/kg). Observa-se também, uma anomalia positiva em relação aos valores de fundo no ponto A1 e Ponto A2.

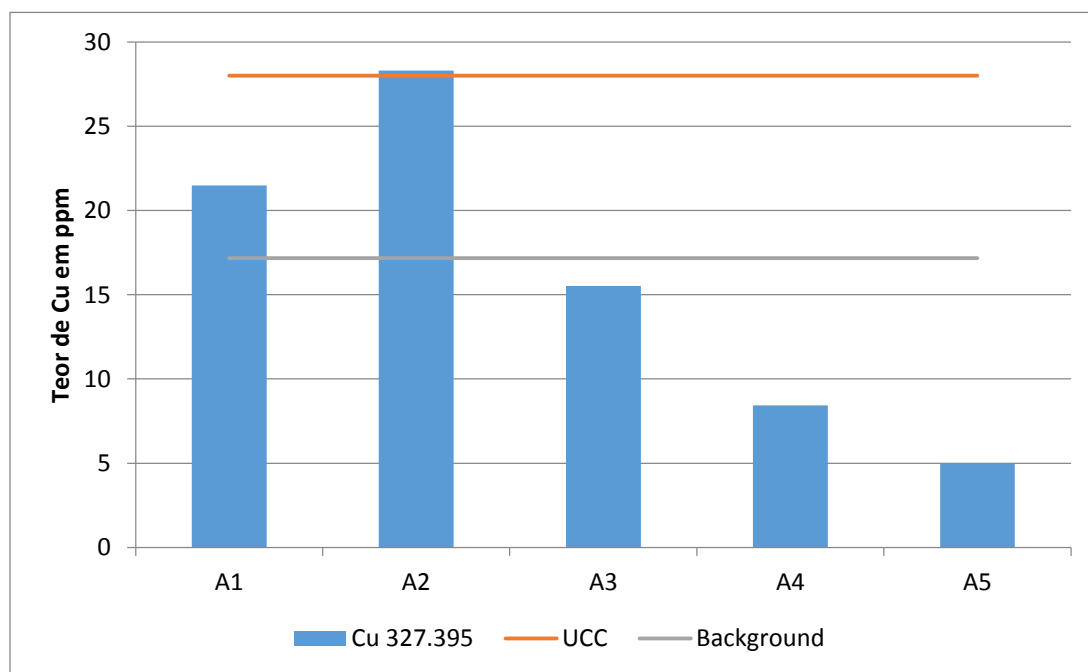


Figura 5.12 - Diagrama da variação de concentração de cobre ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.2.5 Chumbo

O chumbo é um elemento pouco abundante na crosta, e pode ser associado a todos os tipos de rocha (Costa, 2001). Os principais minerais de chumbo são a anglesita (PbSO_4),

galena (PbS), a e a cerussita (PbCO₃). É comumente encontrado em plagioclásios, magnetita, feldspatos potássicos e zircão (Deer *et.al.*, 1966;Reimann & Caritat, 1998).

Em seus estudos, Koljonen *et al.* (1992) classifica o chumbo como elemento tóxico ao seres humanos, sendo considerado um elemento não essencial para os seres vivos, e quando ingerido pode acumular em tecidos ricos em cálcio, fígado e no sistema nervoso podendo levar a morte e a demência.

Observando-se a **Figura 5.13**, pode-se concluir que todos os pontos possuem valores abaixo do background para o elemento Pb, não podendo observar nenhuma anomalia. A concentração maior ocorre no ponto A1 (12,5 ppm), a qual está abaixo dos valores limite estabelecidos pelo CONAMA (35 ppm) para o elemento em questão. Os demais pontos estudados apresentaram valores abaixo do limite de quantificação, por isso não se encontram representados no presente gráfico.

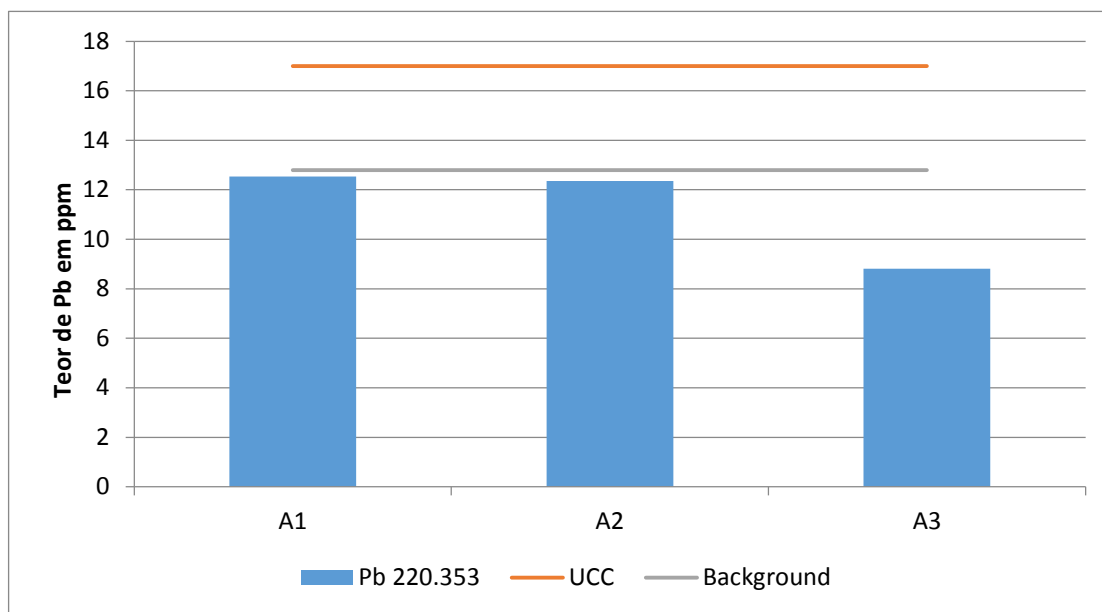


Figura 5.13 - Diagrama da variação de concentração de chumbo ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.2.6 Níquel

É um metal de transição, pertencente ao grupo VII da tabela periódica, sendo classificado como siderófilo. É um elemento que possui resistência a oxidação e corrosão, sendo mais duro que o ferro (IBRAM, 2008).

Os minérios de níquel encontram-se na natureza em forma de lateritas ou sulfetos, sendo o primeiro sua principal fonte econômica. Segundo Reimann e Caritat, (1998), o Níquel também ocorre em associações naturais em depósitos de urânio (U-Cu-Ag-Co-Ni-As-V-Se-Au-Mo) e no fundo do mar associado a nódulos de manganês ((Mn-Ni-Cu-Co).

Quanto a mobilidade, o níquel apresenta baixa mobilidade em ambientes oxidantes e alta em ambiente ácido, sendo muito reduzida em ambientes redutores e alcalinos. Sua solubilidade está relacionada a pHs ácidos, abaixo de 6,5 (Ure e Berrow, 1982).

Segundo a Resolução CONAMA 454 de 2012, os valores máximos permitidos de Ni nos sedimentos varia de 18 (Nível 1) a 35,9 mg/kg (Nível 2) , enfatizando-se que os valores acima do nível 1 já podem ser prejudiciais a biota.

A **Figura 5. 14** mostra a distribuição do elemento Níquel da montante até jusante do Rio Caratinga (com exceção do ponto A5, relativo ao Rio Doce). As concentrações variam de 9.9 kg/mg a 16,4 kg/mg , onde a mais alta está relacionada ao ponto A2. Vale ressaltar que todas concentrações estão dentro dos limites estabelecidos pelas normas do CONAMA.

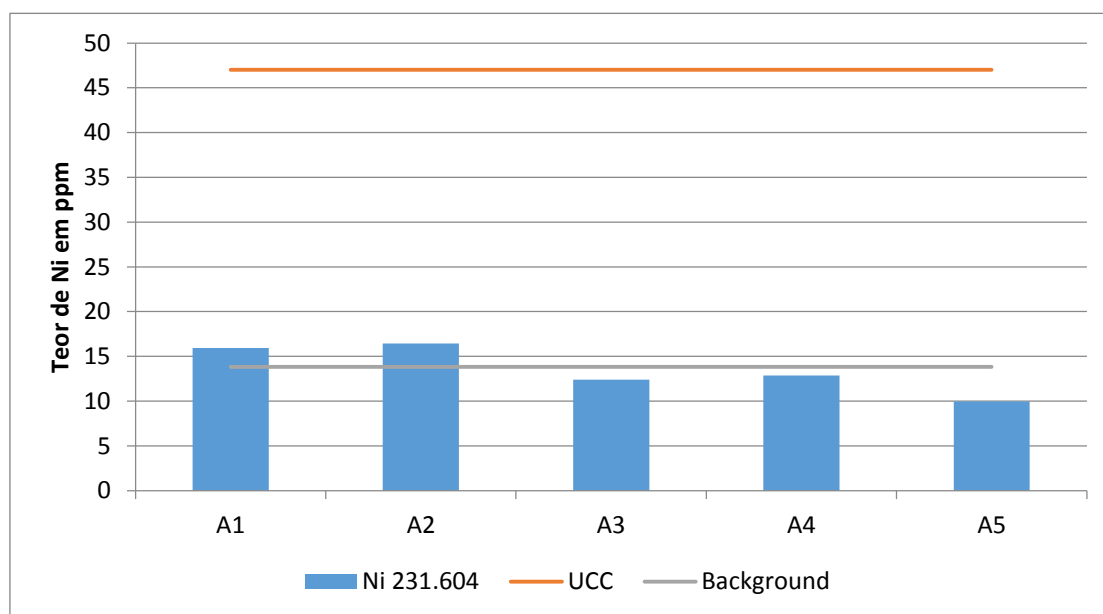


Figura 5.14 - Diagrama da variação de concentração de níquel ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.2.7 Zinco

O zinco é metal do grupo dos não ferrosos e é abundante na crosta terrestre. Na natureza, o Zinco encontra-se muitas vezes coligado a metais como Cd, Fe e Pb. Os principais minerais que possuem o zinco como componente são: esfalerita (ZnS), franklinita (ZnFe_2O_4), hemimorfita (silicato básico hidratado de Zn) e smithsonita (ZnCO_3) (Wedepohl, 1978; Sumário Mineral, 2005).

Reimann e Caritat, (1998) descrevem a mobilidade do zinco como baixa em ambientes redutores alcalinos e alta sob condições oxidativas em meio ácido. Dentre as barreiras geoquímicas, as que prevalecem para tal elemento são o pH, adsorção pelos óxidos de Fe – Mn, argilas e matéria orgânica.

Koljonen *et.al.* (1992) aponta a importância do elemento zinco, classificando-o como um elemento essencial aos organismos vivos, sendo imprescindível para diversas atividades metabólicas. Sua carência pode causar problemas dermatológicos como dermatites.

Quanto a origem geogênica, alguns tipos de rocha como argilitos e xistos apresentam teores naturais mais elevados de zinco (Reimann e Caritat, 1998). Já no âmbito antropogênico, Costa (2001), aponta esgotos domésticos como uma das principais fontes de Zn, sendo uma potencial fonte de contaminação ambiental.

As concentrações limites para este elemento nos sedimentos, segundo a resolução CONAMA 454/2012 varia entre 123 a 315 ppm. As concentrações máximas admissíveis em sedimentos que não causam resultados nocivos aos seres humanos segundo a resolução CETESB (1985) é de 20ppm, os valores de *background* encontrados no presente trabalho são de 66,9 ppm, o qual assemelha-se aos valores de UCC.

Na região estudada, a única amostra que exibiu concentrações acima do *background* de Zn foi a amostra do ponto A2, situado dentro dos limites urbanos de Caratinga, apresentando concentração de 98,6 ppm, os outros pontos apresentaram teores abaixo de 62,4 ppm. Pode-se inferir que as concentrações anômalas obtidas no ponto A2 estão relacionadas a fatores antropogênicos, pois tal ponto está situado dentro da área urbana, onde o rio recebe efluentes domésticos, uma das principais fontes de zinco.

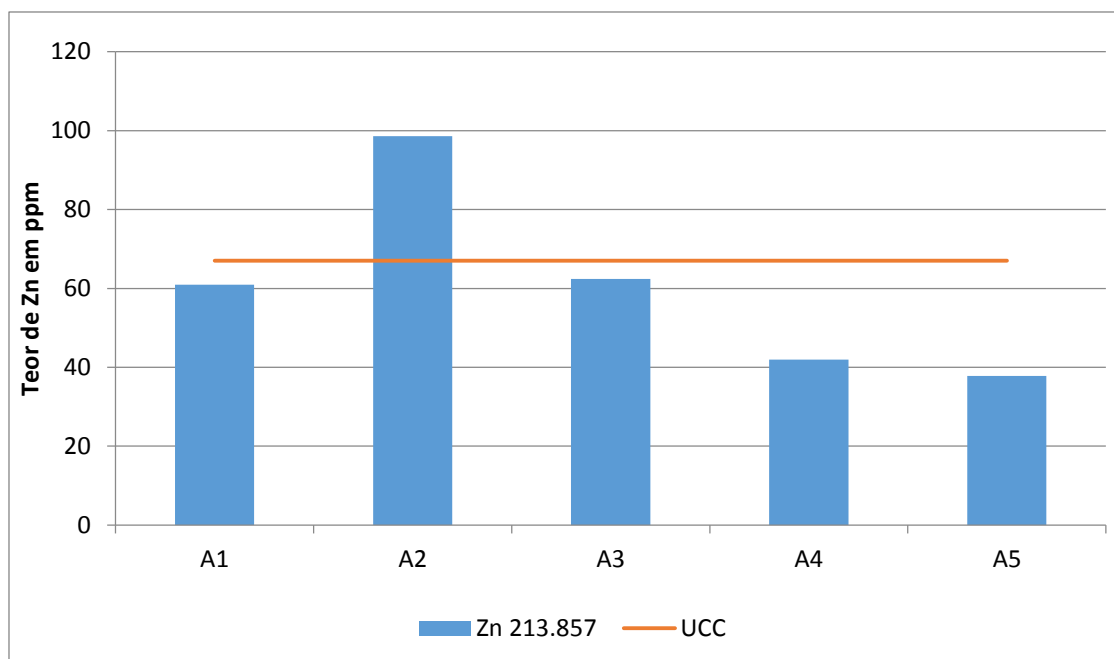


Figura 5.15 - Diagrama da variação de concentração de zinco ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.4.2.8 Vanádio

O Vanádio é um metal de transição que possui comportamento análogo ao arsênio, podendo associar-se aos Pb, Cu, Zn e Mn em depósitos sulfetados, silicatados e na estrutura molecular de micas, e possui alta afinidade com Ferro. Pode ser encontrado principalmente nos seguintes minerais: patronita (VS_4), vanadinita ($\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$), e a carnotita, ($\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Também pode ser encontrados em lateritas e bauxistas (absorção pelos óxidos de ferro), em depósitos que contêm carbono, rochas vulcânicas e argilominerais (Wedepohl, 1978; Kesler *et al*, 1994).

Os valores de *background* encontrados para tal elemento são 78,2 kg/mg para sedimentos da Bacia do Rio Caratinga. Dentre todas as amostras analisadas apenas a Amostra do ponto A1, localizado no alto curso do rio apresentou valores superiores ao *background*, cerca de 98,45 ppm, podendo-se inferir a concentração devido a afinidade com os elementos Fe e Mn, os quais também possuem valores altos no primeiro ponto. Todos os outros pontos possuem valores inferiores a 82 ppm, como pode ser observado na **Figura 5.16**.

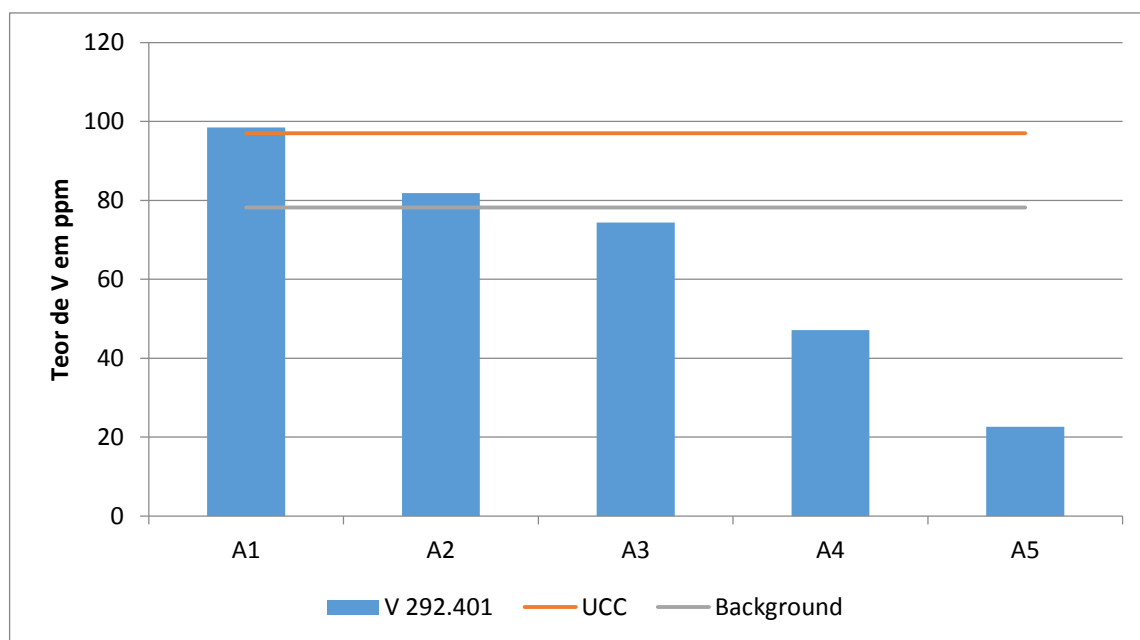


Figura 5.16 - Diagrama da variação de concentração de vanádio ao longo da Bacia do Rio Caratinga

5.5 Fator de enriquecimento

Para o cálculo de fator de enriquecimento da área analisada, utilizou-se a fórmula proposta por Yongming *et. al.*, (2006) representada abaixo pela seguinte equação:

$$EF = \left(\frac{(C_m / C_{VRL})_{Amostra}}{(B_m / B_{VRL})_{VRL}} \right)$$

Onde,

C_m é a concentração de determinado elemento no local de interesse;

C_{VRL} é a concentração do elemento de referência;

B_m é o valor do *background* do elemento em estudo;

B_{VRL} é o valor do *background* do elemento de referência.

Os valores de background utilizados foram calculados previamente neste trabalho, e estão representados graficamente na seção 5.2.

Considerando-se que o Alumínio (representado pelos argilominerais) é um dos principais agentes de adsorção dos metais nos sedimentos, e possui baixa mobilidade na natureza, tal elemento foi utilizado no presente trabalho como elemento de referência. A **Tabela 5.1** mostra a classificação de contaminação fundamentado nos valores do fator de enriquecimento (FE).

Tabela 5.1 – Classificação do fator de enriquecimento

Classes	Qualidade dos sedimentos
FE < 2	Deficiência de enriquecimento
FE = 2 – 5	Enriquecimento moderado
FE = 5 – 20	Enriquecimento significativo
FE = 20 – 40	Enriquecimento muito alto
FE > 40	Enriquecimento extremamente alto

A **Tabela 5.2** apresenta os resultados dos valores do FE para os pontos estudados no presente trabalho. O valor do $FE \leq 2$ representa contribuições geogênicas, e, por sua vez, $FE > 2$ representa influência antrópica ou de processos naturais exógenos.

Tabela 5.2- Fator de enriquecimento para os pontos amostrados

Metais	A1	A2	A3	A4	A5
Ba	0,71	0,80	1,12	0,90	1,48
Co	0,81	0,34	0,59	0,49	0,92
Cr	0,98	0,78	0,75	0,75	2,71
Cu	0,92	1,19	0,85	0,61	1,49
Fe	0,95	0,73	0,77	0,99	12,81
Mn	1,22	0,23	0,66	0,64	4,06
Ni	0,84	0,85	0,84	1,15	3,69
Pb	0,72	0,69	0,64		
V	0,92	0,75	0,89	0,75	1,48
Zn	0,67	1,06	0,87	0,78	2,90

No presente estudo, os elementos mostraram variação para o enriquecimento dos elementos com os seguintes valores mínimos e máximos: Ba (0,71 – 1,48); Co (0,34 – 0,92); Cr (0,75 – 2,71); Cu (0,61 – 1,49); Fe(0,73 – 12,81); Mn (0,23 – 4,06); Ni (0,84– 3,69) ; Pb (0,64 – 0,72) ; V (0,75 – 1,48) e Zn (0,67 – 2,90).

Nota-se, no ponto A5, um enriquecimento significativo para o elemento Fe, e um moderado para os elementos Cr, Mn, Ni e Zn. Tal resultado é explicado pela localização do ponto em uma área afetada pelo rompimento da Barragem do Fundão.

Os demais elementos não apresentam enriquecimento nos pontos analisados.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

No presente trabalho, foram realizadas análises granulométricas, mineralógicas e geoquímicas, sendo coletadas amostras ao longo da Bacia do Rio Caratinga, incluindo localidades afetadas pelo rejeito da barragem do Fundão. A maioria das drenagens estudadas possuem pouca mata ciliar, e estão localizadas próximos a áreas urbanas, estradas e locais de atividades agrícolas, o que tende a aumentar a quantidade de sedimentos produzidos e também o teor de metais pesados.

Foi possível obter um cenário geral dos teores dos elementos selecionados nos sedimentos de fundo, mensurando-se os teores de elementos maiores, menores e traço. Foi possível, também, estabelecer valores de *background* da área e compara-los com valores crustais.

Cabe salientar que a região de interesse, situada no sul do orógeno Araçuaí, possui fontes geogênicas de elementos químicos variados, pois corta diferentes unidades com diferentes litologias.

O Fe e Al apresentaram os maiores teores, mas somente os valores de fundo do Fe ultrapassam as concentrações médias da crosta. Comparando-se com os resultados de *background* obtidos no trabalho, o Fe ultrapassa os teores em dois pontos, sendo um deles o ponto afetado pelo rompimento da barragem, e o outro a montante do Rio Caratinga. O restante dos valores encontra-se abaixo dos valores de fundo. O alumínio possui grande distribuição espacial excedendo os valores de fundos em 3 pontos, localizados sob a mesma litologia (Complexo Juiz de Fora), o que determina sua fonte como geogênica.

O Mn possui concentrações médias e baixas ao longo do curso do rio, com um pico no ponto A1, associado a afloramentos de rochas metaígneas no local.

Os demais elementos maiores (Ca, Mg, K) possuem relativa distribuição espacial , sendo que K e Mg apresentam teores elevados de origem geogênica.

O elemento fósforo encontra-se distribuído de forma bastante heterogênea na Bacia, com anomalia em apenas um ponto, causada por influências antrópicas, como uso de

fertilizantes NPK e herbicidas Glifosato ($C_3H_8NO_5P$), comumente utilizados nas plantações de café da região e também despejo de esgoto doméstico não tratado adequadamente.

O Cromo possui ampla distribuição espacial é o único no presente trabalho que possui valores acima do limite estabelecido pela legislação CONAMA 454/2012. Tais valores podem ser advindos de esgotos industriais não tratados adequadamente. A região possui indústrias que usam o cromo em suas atividades, como fixador de cores e amaciante de couro na indústria têxtil, produto químico de indústrias químicas e melhorador de madeira em indústrias de móveis, podendo também ser usado nas metalúrgicas da região. Tais concentrações também podem resultar da alta capacidade do Cromo em permanecer em sedimentos e solos sem serem reduzidos por anos, quando estes são arenosos ou possuem pouca matéria orgânica.

Pb e Co apresentaram padrões de concentrações similares, com valores abaixo do *background* calculados no presente trabalho, com pico de concentração no ponto A1. Já o Ni e Ba apresentam valores baixos em relação ao índice crustal e valores bem próximos do *background*, se distribuindo de forma quase homogênea pela Bacia.

Avaliando-se o elemento Zn, foi possível notar que seus teores são maiores em áreas urbanas, obtendo-se sua maior concentração no ponto localizado dentro da cidade de Caratinga e em pontos adjacentes que possuem estradas próximas. Nesse contexto, os pontos A2 e A3 possuem uma quantidade mais alta desse elemento pois associam-se com locais de despejo de esgoto. O excesso do metal eliminado pelo organismo humano ou de animais é excretado nos esgotos. Uma das principais fontes de contaminação de zinco na agricultura é a utilização agrícola do lodo de esgoto. Neste, caso o zinco pode apresentar concentrações 100 a 200 vezes superiores à de cádmio.

Os elementos V e Cu possuem comportamentos semelhantes, com concentração diminuindo de montante a jusante e picos nos dois primeiros pontos, nos quais ultrapassam os valores de *background* estabelecidos de forma amena. Tais elementos possuem afinidade geoquímica, o que pode explicar o comportamento análogo. A diminuição da concentração de seus valores a jusante também pode ser causada pela dissolução desses elementos, através de processos como dessorção e ressolubilização.

Os valores calculados para o fator de enriquecimento comprovam a grande influência da atividade humana no ponto A5, afetado pela barragem do fundão. Os valores altos do

ponto também podem ser explicados devido a escolha do elemento de referência (Alumínio), o qual possui valores muito baixos na região, causando assim anomalias nos resultados. Todos os outros valores encontram-se abaixo do valor que evidencia influência antrópica, podendo levar a resultados conflitantes na discussão dos dados realizada anteriormente principalmente para o elemento Zn e Cr, aos quais foi atribuída anomalia por fatores antropogênicos. Tal contradição pode ocorrer comumente em áreas que não assentam-se sob a mesma formação geomorfológica e litológica, tornando a área de estudo heterogênea, podendo causar desvios nos resultados do fator de enriquecimento. Conclui-se então, a relevância do uso de múltiplas metodologias para conclusões mais adequadas, como realizado no presente estudo.

Com os resultados obtidos e as discussões apresentadas tornou-se possível comprovar que ao longo da Bacia as concentrações de metais tóxicos a biota se encontravam em sua maioria abaixo dos valores de *background* estabelecidos para a região. Nos pontos onde os valores encontram-se excedidos, nota-se grandes influências geogênicas e em sua minoria a influência antrópica causada principalmente devido agricultura e despejo de esgotos industriais e domésticos não tratados.

Ressalta-se a relevância da metodologia utilizada no presente trabalho, comprovando-se a eficiência da análise dos sedimentos de corrente para obtenção de dados geoquímicos relevantes para a área.

No âmbito ambiental, conclui-se a relevância das atividades antrópicas na Bacia na mobilização e disposição de metais no sistema fluvial. Propõe-se ações para recuperação da área, reflorestamento, tratamento adequado dos esgotos domésticos e industriais, recuperação de áreas degradadas e manutenção da mata ciliar dos rios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo E.G. 1987. Guia de coleta e preservação de amostra de água. CETESB, São Paulo, 150p.
- ALLAN, J.D. & FLECKER, A.S. **Biodiversity conservation in running waters**. BioScience, 1993.**43**(1): 32-43
- Alekseevskiy, N. I., Berkovich, K. M., & Chalov, R. S. 2008. Erosion, sediment transportation and accumulation in rivers. *International Journal of Sediment Research*, **23**(2):93-105.
- Alkmim, F. F., Marshak, S., Pedrosa-Soares, A. C., Peres, G. G., Cruz, S. C. P., & Whittington, A. (2006). Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian research*, 149(1-2), 43-64.
- Alkmim, F. F., Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., & Cruz, S. C. P. 2007. Sobre a evolução tectônica do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*, 15(1): 25-43.
- Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364
- Alves, G. 2008. Crescimento urbano e susceptibilidade ao deslizamento de encostas na microBacia do córrego São João, Caratinga-MG. Doctoral dissertation, Centro Universitário de Caratinga. Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Sustentabilidade, Caratinga.
- Andrews, J. E., Brimblecombe, P., Jickells, T. D., Liss, P. S., & Reid, B. 2013. An introduction to environmental chemistry. John Wiley & Sons.
- Andriotti, J. L. S. 2010. Interpretação de dados de prospecção geoquímica com o auxílio de estatística. CPRM.
- Angeli N. 1988. Pesquisa dos jazimentos de níquel e geologia da Folha Ipanema, MG. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 290p.
- Angeli N. 1988. Pesquisa dos jazimentos de níquel e geologia da Folha Ipanema, MG. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 290p
- Apitz, S., & White, S. (2003). A conceptual framework for river-basin-scale sediment management. *Journal of Soils and Sediments*, **3**(3): 132-138.
- Azevedo, A. 1992 Regiões e paisagens do Brasil. *Brasiliانا*
- Baggio, H., & Horn, A. H. 2011. Fonte, distribuição e características geoquímicas dos sedimentos de corrente do rio do Formoso–MG. *Geoambiente On-line*, 16: 01-13.
- Baggio, H., & Horn, A. H. 2013. Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em sedimento de corrente no Rio do Formoso, Município de Buritizeiro–MG. *Revista Geonomos*, 16(2):91-98.
- Baird, C., 1998. *Environmental Chemistry*, second ed. Bookman, Ontario, p. 622.

Soares, C. C. 2019, Caracterização geoquímica de sedimentos da bacia do Rio Caratinga

Balcerzak, M. 2002. Sample digestion methods for the determination of traces of precious metals by spectrometric techniques. *Analytical sciences*, 18(7): 737-750.

Bauman, Ammy. Núcleo e crosta terrestres. (2008) Barueri (SP): Girassol, 29 p. il. (Planeta Terra)

Berbel, G. B. B. 2008. *Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e Plataforma Continental Sudeste (Brasil) e Baía do Almirantado (região antártica) considerando suas relações biogeoquímicas* Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo

Borba, R. P. 2002 Arsênio em ambiente superficial: processos geoquímicos naturais e antropogênicos em uma área de mineração aurífera. 113p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP

Botelho, R. G. M. Planejamento ambiental em microBacia hidrográfica. In: Guerra A. J.T. et al. (Org.). *Erosão e conservação de solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 269-300.

Bragança, M. T. R. 2017. Planalto Paracatu-Urucuia: um compartimento morfoestrutural na borda do Cráton Do São Francisco. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, 1: 5956-5966.

Brandalise L.A. 1991. Folha Barbacena, SF. 23-X-C-III, 1:100.000, Estado de Minas Gerais. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos). Brasília, DNPM/CPRM. 162 p. (Texto explicativo)

Brueckner H, Cunningham WD, Alkmim FF and Marshak S. 2000. Tectonic implications of Precambrian Sm-Nd dates from the southern São Francisco craton and adjacent Araçuaí and Ribeira belts, Brazil. *Precambrian Research* 99: 255-269.

Campos, N. dos S., Oliveira, A. P. L. de, Sathler, L. A., & Silva, J. G. 2017. Estudo físico e morfológico de solos encontrados em áreas de risco na cidade de Caratinga – Minas Gerais. In *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento* (p. 4362–4370).

Carvalho, I.G. 1995 Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos. Salvador, Bureau Gráfica,. 239p.

CBH DOCE- Caracterização da Bacia. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/>. Acessado em 8 de outubro de 2017.

Casarini, D. C. P. 2000. Proposta de valores de referência de qualidade e intervenção para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. *Seminário Internacional sobre Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas*, 2:165.

Charlton, R. O. 2008. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. London: Rutledge. p.234

Coelho, A. L. N. (2009). Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada. *Geografares*, 7:131-146.

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 05/02/2018.

- Costa, A. D. (2001). Avaliação de alguns efeitos do passivo ambiental de uma metalurgia de chumbo em Santo Amaro da Purificação, Bahia (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis, Federal University of Bahia, Salvador, Bahia, Brazil)
- Costa, M., Fernandes, E. I., & Faria, A. 2009. das GA et al. Avaliação de áreas de risco à inundação no perímetro urbano de Caratinga-MG através do uso de dados altimétricos provenientes do sensor aerotransportado LIDAR. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.
- Crock, J.G., Severson, R.C., Gough, L.P , 1992. Determining baselines and variability of elements in plants and soils near the Kenai National Wildlife Refuge Alaska. Water, Air, and Soil Pollution, Netherlands, **63**:353-271
- Cunningham WD, Alkmim FF and Marshak S. 1998.A structural transect across the coastal mobile belt in the Brazilian Highlands (latitude 20°S): the roots of a Precambrian transpressional orogen. Precamb 92: 251-275.
- Esteves, F. A. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro/RJ: Interciência, 2 ed., 1998
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1966. *An Introduction to the Rock Forming*. 498p. Minerals. Longman, London
- Fellenberg, G., & Froehlich, C. G. 2003. Introdução aos problemas da poluição ambiental. Ed. Pedagógica e Universitária Ltda, 216 p.
- Fellenberg, G.; 1980. Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental, Ed. Pedagógica e Universitária Ltda.
- Ferraz, F. F. B., & Mortatti, J. (2002). Avaliação do processo erosivo mecânico em Bacia subtropical desenvolvida pela análise de sedimentos finos em suspensão. *Geociências*, **21**(1/2):113-120.
- Fischel D.P., Pimentel M.M., Fuck R.A., Costa A.G., Rosiere C.A. 1998. Geology and Sm-Nd
- Förstner, U. 2004. Sediment dynamics and pollutant mobility in rivers: An interdisciplinary approach. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, **9**(1):25-40
- Förstner, U., Salomons, W; Stigliani, W. M., 1995 In: Biogedynamics of Pollutants in Soils and Sediments eds.; Springer:Berlim, , cap. 11
- Froehner, S., & Martins, R. F. (2008). Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba. *Química Nova*, **31**(8): 2020-2026.
- Galindo-Leal, C. & I.G. Câmara. 2003. Atlantic forest hotspots status: an overview. in C. Galindo-Leal & I.G. Câmara (eds.). *The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook*. pp. 3-11. Center for Applied Biodiversity Science e Island Press, Washington, D.C

- Soares, C. C. 2019, Caracterização geoquímica de sedimentos da bacia do Rio Caratinga
- Galuszka, A. 2007a. A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. *Environmental Geology*, **52**: 861-870.
- Galuszka, A., & Migaszewski, Z. (2011). Geochemical background-an environmental perspective. *Mineralogia*, **42(1)**: 7-17.
- GERAIS-CETEC, C. T. D. M. (1983). Diagnóstico ambiental do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Grevesse, N., & Sauval, A. J. 1998. Standard solar composition. *Space Science Reviews*, **85(1-2)**:161-17
- Grigg, N. S. 1996. Water resources management: principles, regulations and cases. New York, McGraw-Hill, 540 p.
- Grizio, Edinéia Vilanova, and Edvard Elias de Souza Filho, 2010. "As modificações do regime de descarga do rio Paraguai Superior." *Revista Brasileira de Geomorfologia* **11.2**
- Grotzinger, J., & Jordan, T. 2013. *Para Entender a Terra-6*. Bookman Editora.
- Guedes, J. 2012. Geoquímica e meio Ambiente. *Revista Geotemas*, **2(1)**: 145-151.
- Guerra, A.J.T. 1996. *Geomorfologia e meio ambiente*. São Paulo: Bertrand Brasil. p.337-376.
- Heilbron, M.L., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M.C., Silva, L.C., Trouw, R. & Janasi, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: V.M. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro & Brito Neves, B.B. (orgs.). *Geologia do Continente Sul-Americano*. São Paulo, Editora Beca, p. 203-234
- Holeman, J. N. 1968. The sediment yield of major rivers of the world. *Water resources research*, **4(4)**:737-747.
- Hortellani, M. A., Sarkis, J. E., Abessa, D. M. D. S., & Sousa, E. C. 2008. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do Estuário Santos-São Vicente. *Química Nova*, 10-19.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística : Cidades. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/caratinga/panorama> . Acessado em 8 de outubro de 2017.
- IGAM, 2007 Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais na Bacia do Rio Doce em 2007. Relatório Anual. Projeto “Águas de Minas”. Belo Horizonte. 171 p.
- IGAM. Instituto mineiro de Gestão das Águas. Portal dos comitês, 2013. Disponível em: <http://comites.igam.mg.gov.br> . Acessado em 8 de outubro de 2017.
- Isotopic Data for the Mantiqueira and Juiz de Fora Complexes (Ribeira Belt) in the Abre Campo-Manhuaçu Region, Minas Gerais, Brazil. In: Intern. Conf. Basement Tect., Ouro Preto, Brazil, Abstracts, **14**:21-23.

- Júnior, H. A. N., Machado, R., Bilal, E. 2015. Petrogenesis and tectonic of the Urucum granitic suite, Rio Doce Valley (Minas Gerais-Brazil): an example of syn to late collisional peraluminous magmatism associated with high-angle transcurrent shear zone. *Brazilian journal of geology*, **45(1)**: 127-141.
- Júnior, H. A. N.; Machado, R.; Bilal, E. 2016 .Geoquímica e petrogênese da Suíte Galiléia: exemplo de magmatismo tipo-i metaluminoso pré-colisional neoproterozóico da região do médio vale do Rio Doce (MG). *Revista Brasileira de Geociências*, **35**:23-34.
- Júnior, N., Arias, H., Machado, R., Endo, I., & Bilal, E. 2008. A importância da tectônica transcorrente no alojamento de granitos pré a sincolisionais na região do vale do médio Rio Doce: o exemplo das suítes. graníticas Galiléia e Urucum. *Revista Brasileira de Geociências*, **38**: 730-740.
- Kamenov, G. D, Brenner, M, Tucker, J. L. 2009. Anthropogenic Versus Natural Control On Trace Element And Sr–Nd–Pb Isotope Stratigraphy In Peat Sediments Of Southeast Florida (USA), 1500 AD to Present. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **73**:3549–3567
- Kirkby, M. J. *Drainage basins and sediment transfer*.1990. In: Geomorphology in environmental management (Cooke, R. U. e Doornkamp, J. C. org.).178-200. Oxford: Clarendon Press
- Lacerda, F. M., & Roeser, H. M. P. 2014. Análise geoquímica e ambiental para descrição da Bacia do Rio Oratórios (MG). *Geochimica Brasiliensis* **28(2)**: 227-236.
- Lapworth, D. J., Knights, K. V., Key, R. M., Johnson, C. C., Ayoade, E., Adekanmi, M. A., ... & Everett, P. A. 2012. Geochemical mapping using stream sediments in west-central Nigeria: Implications for environmental studies and mineral exploration in West Africa. *Applied Geochemistry*, **27(6)**: 1035-1052.
- Leão, L. P. 2014. Caracterização Geoquímica de Sedimentos da Bacia do Rio Maynart, MG. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. Trabalho Final de Graduação, 93p
- Lemos, M. M. G. 2001. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, p. 2001. 73 p.
- Leopold, L. B., & Dunne, T. 1978. Water in environmental planning. New York, 818p.
- Liccardo, A., Evangelista, H. J. 2000. Ocorrências de coríndon na porção leste de Minas Gerais. *Geonomos* **8(1)**: 39-45.

- Soares, C. C. 2019, Caracterização geoquímica de sedimentos da bacia do Rio Caratinga
- Lima, L. F. D. 2006. Geoquímica de sedimentos de fundo dos rios Trairí, Ararí e da Laguna Nísia Floresta (RN) Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Ludwig, W., Probst, J. L., & Kempe, S. 1996. Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion. *Global Biogeochemical Cycles*, **10(1)**: 23-41.
- Marcuzzo, F. F. N., Romero, V., Cardoso, M. R. D., & Pinto, R. D. F. 2011. Detalhamento hidromorfológico da Bacia do Rio Doce.
- Matschullat, J., Ottenstein, R., & Reimann, C. 2000. Geochemical background—can we calculate it?. *Environmental geology*, **39(9)**: 990-1000.
- Melo, A., Coutinho, R., & Cruz, J. V. (2014). Caracterização geoquímica dos sedimentos de fundo e em suspensão dos principais cursos de água na ilha de São Miguel (Açores, Portugal). *Comunicações Geológicas*, **101**:687-691.
- Meybeck, M. 1994. Origin and variable composition of present day riverborne material. *Material Fluxes on the Surface of the Earth*. National Academy of Sciences, 61-73.
- Moreira, A. P. Minelli, A. L. Cordeiro V., 2017. “Tendências climáticas e anomalias de precipitação em Caratinga-MG”. In *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, Instituto de Geociências - UNICAMP, 2000–2009.
- Moreira, R. C. A., & Boaventura, G. R. 2003. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da Bacia do Lago Paranoá–DF. *Química Nova*, **26(6)**:812-820.
- Morgan, R. P. C. 1980. Soil erosion and conservation in *Britain*. *Progress in Physical Geography*, **4(1)**:24-47.
- Moura, L. H. A. 2008. Estudo geoquímico da Bacia do gama e avaliação da qualidade de água. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Brasília, Brasília, 129 p.
- Nalini; H. A. Machado, R.; Bilal, E. 2016. Geoquímica e petrogênese da Suíte Galiléia: exemplo de magmatismo tipo-i metaluminoso pré-colisional neoproterozóico da região do médio vale do Rio Doce (MG). *Revista Brasileira de Geociências*, **35**:. 23-34,

- Neto, R. T. et al 2000. Mapeamento Geológico e Cadastramento de Recursos Minerais da região Leste de Minas Gerais, Folhas SF.24-V, SE-23-Z, SE-24-Y escala 1:500.000, Estado de Minas Gerais. CPRM. 192p
- Noce, C. M., Pedrosa-Soares, A. C., da Silva, L. C., Armstrong, R., Piuze, 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*, **159(1-2)**:60-78.
- Novo, T. A. 2013. Caracterização do Complexo Pocrane, magmatismo básico mesoproterozóico e unidades neoproterozóicas do Sistema Araçuaí Ribeira, com ênfase em geocronologia U Pb (SHRIMP e LA ICP MS). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 211p.
- Odum, E. P., Ortega, A., & Teresatr, M. 2006. *Fundamentos de ecologia*. Cengage Learning, 632p.
- PARH Caratinga- Plano de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Caratinga. . 2010. Volume I- Relatório Final. Consórcio Ecoplan- Lume
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Vidal Ph., Monteiro R.L.B.P., Leonardos O.H. 1992. Towards a new tectonic model for the LateProterzoic Araçuaí (SE Brazil) - West Congolian (SW Africa) Belt. *J. S. Am. Earth Sci.*, **6**: 33-47
- Poleto, C., & Merten, G. H. 2006. Qualidade dos sedimentos. ABRH.
- Peres G. G. 2000. *O Grupo Dom Silvério na região leste de Minas Gerais: arcabouço estrutural e evolução tectônica*. MSc thesis, Universidade Federal de Ouro Preto, 125 p.
- Pimenta, S. M., Boaventura, G. R., Ribeiro, T. G., & Peña, A. P. 2015. Estudo dos sedimentos da corrente em drenagens inseridas na área rural e na área urbana do município de formosa-go. *Revista de Ciências Ambientais*, **9(2)**:87-105.
- PIRH Doce. Plano integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e dos Planos de ações de Recursos Hídricos para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce. 2010. Volume I- Relatório Final. Consórcio Ecoplan- Lume
- Porto, L. C. S. 2009. *Avaliação de metais pesados e micronúcleos em peixes da Bacia hidrográfica Butuí-Icamaguã e análise da água* (Master's thesis). Centro Universitário Univates, Lajeado, Rio Grande do Sul, 102p.

- Soares, C. C. 2019, Caracterização geoquímica de sedimentos da bacia do Rio Caratinga
- Queiroga, G., Novo, T., Pedrosa-Soares, A. C. 2012. Mapeamento Geológico da região da Serra dos Turvos, Caratinga (MG), Setor Sul do Orógeno Araçuaí. *Revista Geonomos*, **20(1)**:23-31.
- Reimann, C., & Garrett, R. G. 2005. Geochemical background—concept and reality. *Science of the total environment*, **350(1-3)**:12-27.
- Rodrigues, A. S. D. L., & Nalini Júnior, H. A. 2009. Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. *Rem: Revista Escola de Minas*, **62(2)**: 155-165.
- Rodrigues, L. C. V. 2008. *Estudo da disponibilidade química de chumbo e arsênio em sedimentos de corrente e colunas de sedimentos no Vale do Ribeira, SP*. Tese de doutorado. Instituto de Química, Universidade federal Fluminense, Niterói, 137 p.
- Ross, Jurandyr Luciano Sanches. 1996. *Geografia do Brasil*. Edusp, 552p.
- Rudnick, R. L., & Gao, S. 2003. Composition of the continental crust. *Treatise on geochemistry*, **3** :659
- .Reimann, C., & de Caritat, P. 2017. Establishing geochemical background variation and threshold values for 59 elements in Australian surface soil. *Science of The Total Environment*, **578**: 633-648.
- Santos, F. S., Amaral Sobrinho, N. M. B., & Mazur, N. 2002. Influência de diferentes manejos agrícolas na distribuição de metais pesados no solo e em plantas de tomate. *Revista brasileira de ciência do solo*, **26(2)**: 535-543.
- Schwertmann, U.; Cornell, R. M.; *Iron Oxides in the Laboratory*, 2nd ed., VCH: Weinheim, 2000.
- Siegel F.R. 2002. *Environmental geochemistry of potentially toxic metals*. Springer, Berlim, 218 p.
- Silva J.M.R., Lima M.I.C., Veronese V.F. et al. 1987. Geologia. In: Projeto RADAMBRASIL: Folha Rio Doce – SE.24. Rio de Janeiro, IBGE, V.34, Cap.1, p. 23-17
- Silva M.A., Paes V.J.C., Cardoso F.J.M. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos Pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte II: Orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geociências* **32**: 161-176.
- Silva, A. M. da, Schulz, H. E.; Camargo, P. B. de. Erosão e hidrossedimentologia em Bacias hidrográficas. RiMa, 320 p

- Silveira, A. L. L. d. 1993. "Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica." *Hidrologia – Ciência Aplicada*, C. E. M. Tucci, ed., Editora da UFRGS / ABRH, Porto Alegre, 943.
- Smith, K. S. 1999. Metal sorption on mineral surfaces: an overview with examples relating to mineral deposits. *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part B: Case Studies and Research Topics*, **6**:161-182.
- Soares, A. C. P., Noce, C. M., Alkmim, F. F. D., Silva, L. C. D., Babinski, M., Cordani, U. G., Castañeda, C. 2007. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos* **15(1)**: 1 – 16.
- Soares, M. C. C. 2002. *Avaliação Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 100p.
- Souza, L. D. R., & Carolina, P. A. A. Z. (2019). O rompimento da barragem de fundão em mariana/mg e a proteção dos deslocados ambientais: uma análise por meio de pesquisa de campo. *Revista Jurídica*, **2(55)**: 351-371.
- Suguio, K. 2003. *Geologia Sedimentar*. Edgard Blücher Ltda./EDUSP, São Paulo, SP, 400pp
- Summerfield, M. A., & Hulton, N. J. 1994. Natural controls of fluvial denudation rates in major world drainage basins. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **99(B7)**: 13871-13883.
- Sundborg, Å., & Rapp, A. 1986. Erosion and sedimentation by water: problems and prospects. *Ambio*, 215-225.
- Tobías, F. J., Bech, J., & Algarra, P. S. 1997. Establishment of the background levels of some trace elements in soils of NE Spain with probability plots. *Science of the Total Environment*, **206(2-3)**: 255-265.
- Toledo, M. C. M. ; Oliveira, S. M. B. (2009). Da rocha ao solo: intemperismo e pedogênese. In: *Decifrando a Terra* [S.l: s.n.].
- Torres, A. M., Bastos, M. L. L., Boaventura, G. R., Licht, O. A. B., Kern, D. C., Junior, (2005). Geoquímica dos sedimentos e solos. Souza, C.R.G.; Suguio, K.; Oliveira, A.M.S.; Oliveira, P.E. Quaternário do Brasil. E. da USP, São Paulo, Cap, 14, 298-320

Soares, C. C. 2019, Caracterização geoquímica de sedimentos da bacia do Rio Caratinga

Trindade Paixão Coelho, R. C. D., Buffon, I., & Guerra, T. 2011. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: um método para avaliar a importância da zona ripária. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, **6(1)**: 1-14.

Tucci, C.E.M. 2005. *Modelos hidrológicos*. 2.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 678 p.

Vicq, R. F. C., Ribeiro, A. C. M., Viana, A. C. A., Souza, D. P., Carneiro, G. C. A. 2012. Diagnóstico da Qualidade da Água da MicroBacia do Rio Camapuã. *Revista do VII Simpósio de Iniciação Científica da Faculdade Santa Rita*. **2**. 124 – 127

Vieira V.S., Pedrosa-Soares A.C., Silva L.C., Castañeda C. 2004. Relações entre o Grupo Rio Doce Complexo Kinzigítico e Granitogêneses Associadas no Leste de Minas Gerais e Norte do Espírito Santo. In: *Congresso Brasileiro de Geologia., Araxá, Anais*, p. 42.

Vieira, V.S. 2007. *Significado do Grupo Rio Doce no Contexto do Orógeno Araçuai*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 117p

Wang, H.K. 1994. Research methodology for determining background levels of trace elements in Chinese soils. *Environmental Geochemistry and Health, special issue*; p.397-413.

Wedepohl, K.H., 1978. *Handbook of Geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin

Anexos

ANEXO I: Tabela com dados granulométricos das amostras do presente trabalho.

ANEXO II: Estatísticas dos valores utilizados para os dados de background geoquímico

ANEXO III: Resultados das difrações de raio x.

ANEXO IV: Resultados das análises ICP- EOS

ANEXO V: Tabela com os dados estatísticos dos pontos apresentados

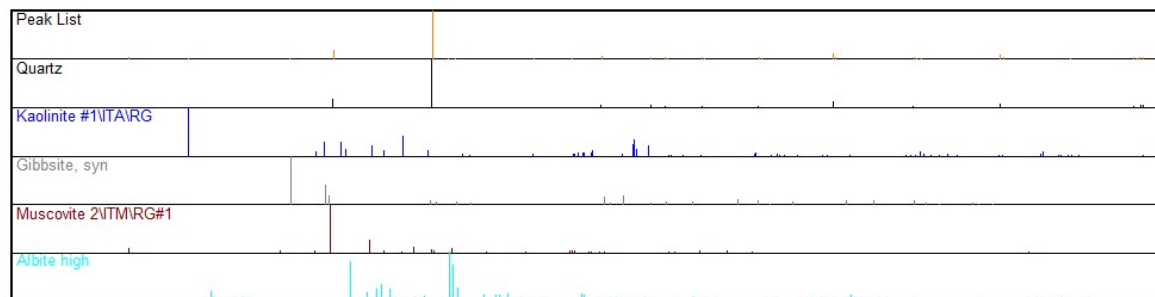
Anexo I: Tabela com dados granulométricos das amostras do presente trabalho.

Amostras	Amostra total (gramas)	Granulometria (<i>mesh</i> /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)	%
1	589,31	2	0,33%	34	5,76%	290,88	49,35%	206,27	35%	44,26	7,51%	9,18	1,50%
2	356,85	63,57	17,81%	112,92	31,64%	124,51	34,89%	37,09	10,39%	12	3,36%	3,91	1,10%
3	243,45	77,31	31,70%	40,85	16,77%	59,44	24,44%	41,42	17%	14,35	5,89%	8,41	3,45%
4	948,3	266,81	28,13%	356,95	37,64%	187,52	19,77%	64,39	6,79%	40,94	4,31%	31,69	3,34%
5	382,63	190,3	49,73%	68,17	17,81%	60,81,00	15,89%	43,99	11,49%	13,8	3,60%	0,89	0,00%

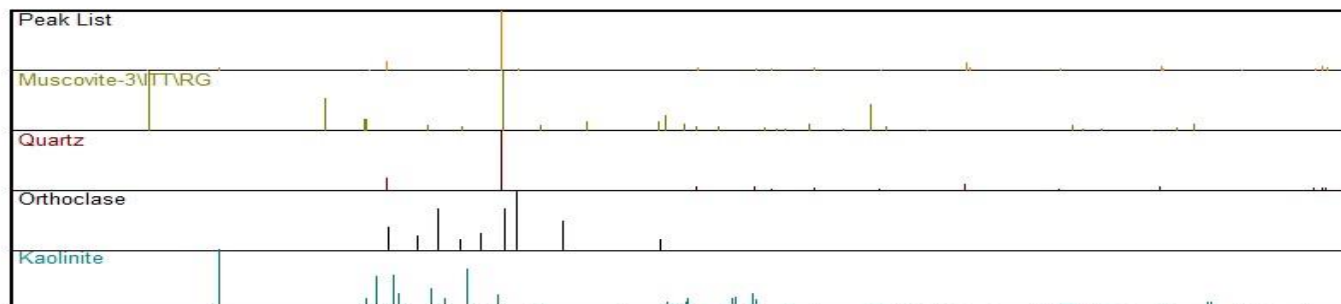
Anexo II: Estatísticas dos valores utilizados para os dados de background geoquímico

Elemento	N (número de amostras)	Média (mg/kg)	Média Geométrica (mg/kg)	Mediana (mg/kg)	Mínimo (mg/kg)	Máximo (mg/kg)	Quartil inferior(mg/kg)	Quartil superior (mg/kg)	Desvio Padrão	UCC (mg/kg)
Ba	34	200,03	130,68	144,78	33,30	2179,8	104,03	171,41	356,88	624
Cd	4	3,34	2,46	3,85	0,50	5,2	1,76	4,93	2,11	0,09
Co	31	14,99	10,92	12,35	2,17	123,4	7,55	15,22	20,62	17,30
Cr	34	71,38	55,65	63,78	20,27	575,8	36,82	69,93	91,40	92,00
Cu	34	20,03	12,91	17,16	2,13	199,8	6,40	20,38	32,63	28,00
Ni	34	18,77	14,39	13,84	4,35	150,4	11,54	17,13	24,08	13,83
V	34	90,77	59,00	78,24	4,82	927,1	33,28	89,83	151,07	97,00
Zn	34	129,03	84,27	66,90	30,31	679,9	42,00	98,01	150,31	67,00
Mn	34	1369,17	914,59	1027,12	150,83	12118,8	632,82	1622,34	1986,53	527,00
Al	34	49196,72	31536,01	39307,42	7474,18	468227,7	15244,38	48846,27	76868,20	77000,00
Fe	34	56742,31	42949,34	46182,72	13409,03	456638,4	32939,30	49538,13	73997,80	31000,00
Ca	34	1645,24	613,69	555,08	40,62	30832,3	317,71	1134,81	5196,90	29000,00
K	34	2779,78	1755,51	1745,93	482,20	27484,8	987,58	2772,62	4630,76	1746,00
Mg	34	2947,43	1877,35	2072,15	628,03	31551,2	1084,46	2627,55	5236,08	14000,00
Na	34	111,40	54,22	54,07	10,15	1389,4	22,20	116,46	235,27	500,00
Pb	23	13,02	12,46	12,87	7,71	21,1	9,41	14,95	3,99	17,00
P	34	1117,93	572,01	410,91	165,73	13079,7	317,85	1080,64	2282,73	665

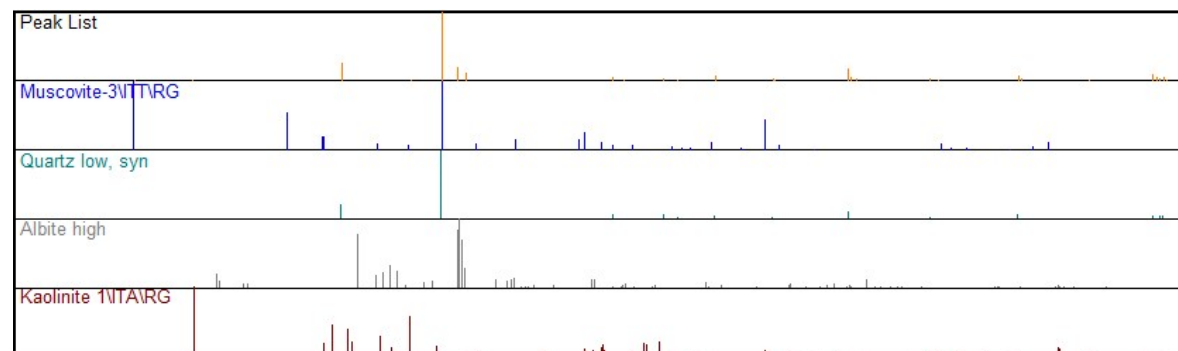
Anexo III: Resultados das difrações de raio x.



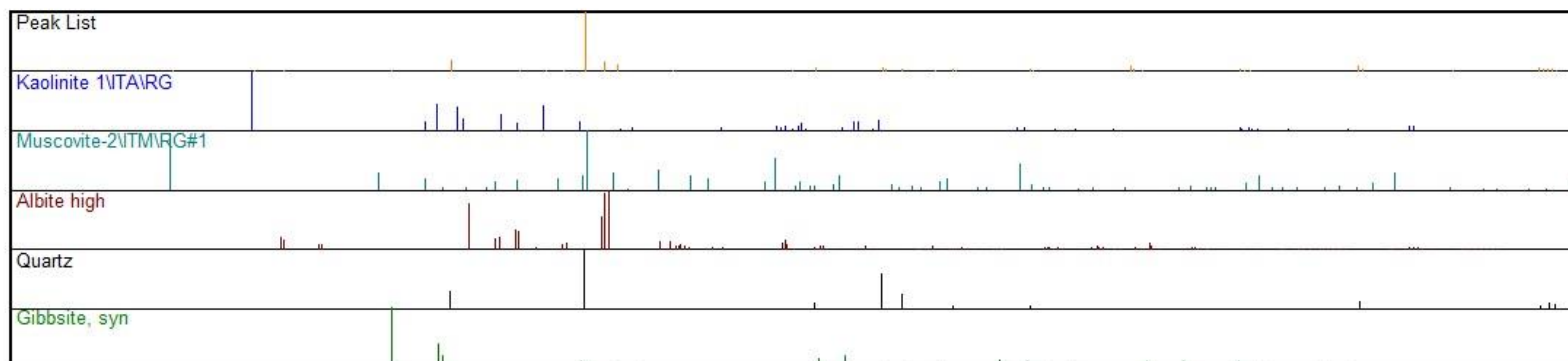
Ponto 01



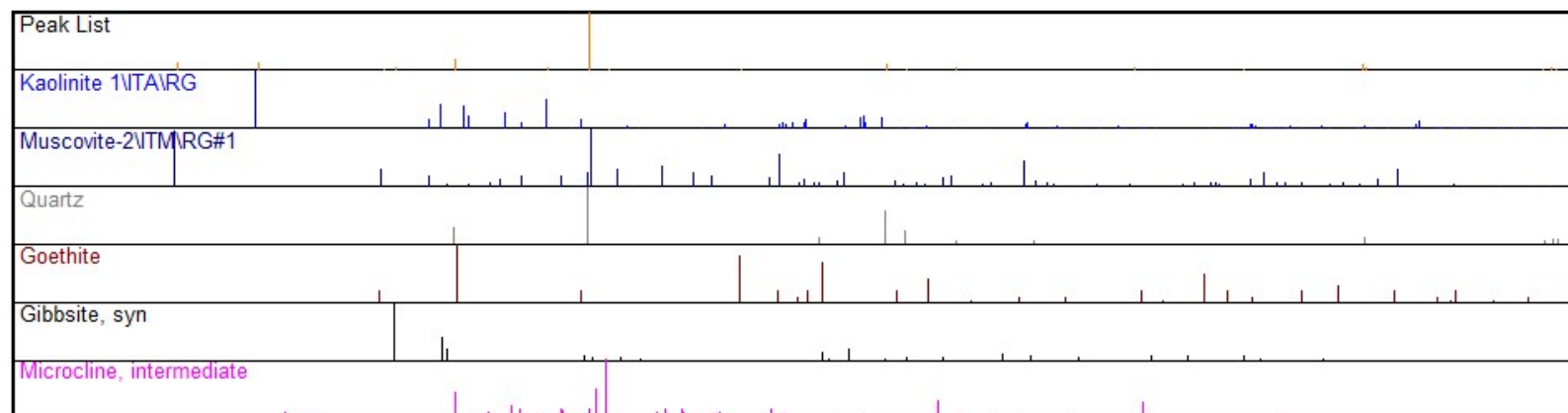
Ponto 02



Ponto 03



Ponto 04



Ponto 05

Anexo IV: Resultados das análises ICP- EOS (mg/kg)

	Ba 455.403	Co 228.615	Cr 267.716	Cu 327.395	Ni 231.604	V 292.401	Zn 213.857	Mn 259.372
Amostra 01	140,18262	13,67094	85,24777	21,48147	15,91861	98,44817	60,96352	1707,61768
Amostra 02	160,58939	5,86406	68,80200	28,30068	16,43510	81,82278	98,58488	331,64365
Amostra 03	174,42643	7,81666	51,14103	15,52048	12,39584	74,36263	62,40839	719,95416
Amostra 04	104,770786	4,871154	38,4607716	8,421482086	12,85925	47,14883	41,91995	526,6775513
Amostra 05	41,88772	2,23169	33,73083	4,98739	9,96705	22,64455	37,80247	812,91263

	Al 394.401	Fe 234.350	Ca 422.673	K 766.491	Mg 285.213	Na 588.995	Pb 220.353	P 213.618
Amostra 01	53628,69336	60177,74941	909,56871	813,68954	1110,85632	37,58678	12,53070	876,75150
Amostra 02	54643,06641	46589,94277	1473,41598	1745,92603	2072,14722	117,78836	12,35224	3862,76868
Amostra 03	42027,87500	38274,35488	827,32900	1983,64758	2189,87927	54,07131	8,80914	1094,07104
Amostra 04	31690,78223	36906,9916	642,6401443	3080,368408	2619,40564	67,31710815	<LQ	347,0496216
Amostra 05	7666,97998	115513,32363	254,78286	483,93071	635,37231	14,73555	<LQ	247,31021

Anexo V: Tabela com os dados estatísticos dos pontos apresentados

Elemento	Média(mg/kg)	Média Geométrica(mg/kg)	Mínimo(mg/kg)	Máximo(mg/kg)	Coef. Variação
Ba	124,37	111,50	41,89	174,4	42,6503
Co	6,89	5,84	2,23	13,7	62,2778
Cr	55,48	52,24	33,73	85,2	38,7143
Cu	15,74	13,17	4,99	28,3	60,2602
Ni	13,52	13,30	9,97	16,4	19,7761
V	64,89	57,70	22,64	98,4	46,2484
Zn	60,34	56,86	37,80	98,6	39,8685
Mn	819,76	705,33	331,64	1707,6	64,6200
Al	37931,48	31275,58	7666,98	54643,1	51,0072
Fe	59492,47	53960,42	36906,99	115513,3	54,8906
Ca	821,55	710,88	254,78	1473,4	53,9552
K	1621,51	1332,50	483,93	3080,4	63,3557
Mg	1725,53	1530,19	635,37	2619,4	47,6226
Na	58,30	47,33	14,74	117,8	66,2379
Pb	47,54	26,94	8,81	102,0	104,6281
P	1285,59	795,23	247,31	3862,8	115,4041