



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO
PRETO**
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS FLUVIAIS DA
BACIA DO RIO PIRANGA, MG**

Fernanda Rosa Martins Peixoto

MONOGRAFIA nº 446

Ouro Preto, agosto de 2022

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS
FLUVIAIS DA BACIA DO RIO PIRANGA, MG**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marliére 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. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Ms. Edison Tazava

MONOGRAFIA

Nº 446

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS FLUVIAIS DA BACIA DO RIO PIRANGA, MG

Fernanda Rosa Martins Peixoto

Orientador

Prof. Dr. Lucas Pereira Leão

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 2022.

OURO PRETO

2022

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: Fernanda Rosa Martins Peixoto

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

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P379a Peixoto, Fernanda Rosa Martins.

Avaliação da qualidade dos sedimentos fluviais da Bacia do Rio Piranga, MG. [manuscrito] / Fernanda Rosa Martins Peixoto. - 2022. 54 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Pereira Leão.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geoquímica. 2. Metais pesados. 3. Análise univariada. 4. Análise multivariada. I. Leão, Lucas Pereira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 550.4:519.23

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

<http://www.sisbin.ufop.br>



FOLHA DE APROVAÇÃO

Fernanda Rosa Martins Peixoto

Avaliação da qualidade dos sedimentos fluviais da bacia do rio Piranga, MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Geóloga

Aprovada em 01 de setembro de 2022

Membros da banca

Dr - Lucas Pereira Leão
Dra - Alice Fernanda de Oliveira Costa
Dr - Raphael Vicq Ferreira da Costa

Lucas Pereira Leão orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 22/09/2022



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Pereira Leão, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/09/2022, às 11:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0402731** e o código CRC **86F0129E**.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	xv
1 CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	19
1.1 APRESENTAÇÃO.....	19
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	21
1.3 OBJETIVOS.....	22
1.4 JUSTIFICATIVA	23
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
1.5.1 Revisão Bibliográfica.....	24
1.5.2 Tratamento estatístico do banco de dados.....	24
1.5.3 Índices de contaminação presentes na literatura	26
2 CAPÍTULO 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	29
2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	29
2.1.1 O Cráton São Francisco	29
2.1.2 Quadrilátero Ferrífero	29
2.1.3 Cinturão Mineiro.....	29
2.1.4 Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.....	30
2.1.5 Unidades Arqueanas	30
2.1.6 Unidades Proterozoicas.....	31
2.1.7 Unidades Fanerozoicas	32
2.2 GEOLOGIA LOCAL	32
2.2.1 Grupo Nova Lima.....	33
2.2.2 Complexo Mantiqueira.....	33
2.2.3 Complexo Ressaquinha	33

2.2.4 Intrusivas Alcalinas de Piranga ou Sienito Piranga	35
2.2.5 Aluviões Recentes.....	35
3 CAPÍTULO 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
3.1 Cobre.....	39
3.2 Arsênio.....	41
3.3 Cádmio.....	43
3.4 Cromo	45
3.5 Ferro.....	47
3.6 Manganês.....	48
3.7 Níquel	50
3.8 Chumbo.....	52
3.9 Zinco.....	54
4 CAPÍTULO 5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS	57
4.1 Fator de Enriquecimento.....	58
4.2 Fator de Contaminação	62
4.3 Classificação segundo a CONAMA 454/12	66
5 CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização da Bacia do Rio Piranga confeccionado através do aplicativo QGIS no sistema de coordenadas SIRGAS 2000.	19
Figura 1.2: Mapa de localização da Bacia do Rio Piranga confeccionado através do aplicativo QGIS no sistema de coordenadas SIRGAS 2000.	22
Figura 1.3: Mapa de localização dos pontos amostrados na sub-bacia da BRP, pertencente ao Quadrilátero Ferrífero.	23
Figura 2.1: a) Principais serras que compõe o Quadrilátero Ferrífero b) Imagem simplificada do extremo sul do Cráton do São Francisco (CSF).	30
Figura 2.2: Representação das litologias inseridas na área de estudo, contando com o mapeamento realizado no estado de Minas Gerais pela CPRM.	34
Figura 3.1: Mapa da Bacia do Piranga com as respectivas litologias associadas a cada ponto.	39
Figura 3.2: Mapa de interpolação geoquímica para o Cobre.	40
Figura 3.3: Histograma das análises estatísticas para o Cobre.	41
Figura 3.4: Mapa de interpolação geoquímica para o Arsênio.	42
Figura 3.5: Histograma das análises estatísticas para o Arsênio.	43
Figura 3.6: Mapa de interpolação geoquímica para o Cádmiio.	44
Figura 3.7: Histograma das análises estatísticas para o Cádmiio.	44
Figura 3.8: Mapa de interpolação geoquímica para o Cromo.	46
Figura 3.9: Histograma das análises estatísticas para o Cromo.	46
Figura 3.10: Mapa de interpolação geoquímica para o Ferro.	48
Figura 3.11: Histograma das análises estatísticas para o Ferro.	48
Figura 3.12: Mapa de interpolação geoquímica para o Manganês.	50
Figura 3.13: Histograma das análises estatísticas para o Manganês.	50
Figura 3.14: Mapa de interpolação geoquímica para o Níquel.	51
Figura 3.15: Histograma das análises estatísticas para o Níquel.	52
Figura 3.16: Mapa de interpolação geoquímica para o Chumbo.	53
Figura 3.17: Histograma das análises estatísticas para o Chumbo.	53

Figura 3.18: Mapa de interpolação geoquímica para o Zinco.....	54
Figura 3.19: Histograma das análises estatísticas para o zinco.	55
Figura 4.1: Mapa índices geo-ambientais: fator de enriquecimento e fator de contaminação.	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1: Categorias de contaminação com base no fator de enriquecimento segundo Sutherland (2000)	26
Tabela 1.2: Valores de CF e classificação segundo Hakanson (1980).....	27
Tabela 2.1: sigla dos litotipos com as unidades.	34
Tabela 3.1: tratamento estatístico dos dados geoquímicos na bacia do Piranga.	38
Tabela 4.1: Estatística básica de valores anômalos para cada elemento	57
Tabela 4.2: Fator de enriquecimento para o arsênio.	58
Tabela 4.3: Fator de enriquecimento para o cromo.....	59
Tabela 4.4: Fator de enriquecimento para o níquel.....	60
Tabela 4.5: Fator de enriquecimento para o manganês.....	60
Tabela 4.6: Fator de enriquecimento para o ferro.	61
Tabela 4.7: Fator de enriquecimento para Zinco.....	61
Tabela 4.8: Fator de enriquecimento para o cobre.	62
Tabela 4.9: Fator de contaminação para o arsênio.	62
Tabela 4.10: Fator de contaminação para o cobre.....	63
Tabela 4.11: Fator de contaminação para o cromo.	63
Tabela 4.12: Fator de contaminação para o cádmio.....	64
Tabela 4.13: Fator de contaminação para o ferro.....	64
Tabela 4.14: Fator de contaminação para o manganês.....	65
Tabela 4.15: Fator de contaminação para o zinco.....	65
Tabela 4.16: Fator de contaminação para o níquel.....	66
Tabela 4.17: Níveis de Classificação do material a ser dragado e a porcentagem de violação para cada elemento na região de estudo.	66

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1.1: Fator de Enriquecimento (EF).....	26
---	----

Resumo

A Bacia do Rio Piranga engloba bacias hidrográficas do rio Piranga, rio do Carmo, rio Casca e pela bacia do rio Matipó, e ocupa uma área de 17.571,37 km². Parte noroeste de seu curso está inserida na região de uma das maiores províncias minerais do mundo, o Quadrilátero Ferrífero. Tendo em vista o seu potencial hídrico e a relevância que essa bacia exerce sobre os meios que os circundam, faz-se necessário entender a qualidade dos sedimentos em relação à presença de elementos potencialmente tóxicos. Nesse sentido, e por meio do banco de dados geoquímico da CPRM, esse trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade dos sedimentos fluviais da bacia do rio Piranga em relação à presença de elementos potencialmente tóxicos. Foram realizados tratamentos estatísticos do banco de dados, utilizando os métodos univariados e multivariados e ainda foram calculados os índices de contaminação presentes na literatura (fator de enriquecimento - FE e fator de contaminação - FC). Através dessas análises foi possível comparar os resultados obtidos com a legislação vigente CONAMA 454/12, que dispõe sobre as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Foram identificadas concentrações anômalas de elementos como As, Cr e Ni. Os maiores valores de FE e FC para As se localizaram na parte central da Bacia, se estendendo até a região centro oeste, sendo observados pontos com enriquecimentos significativos e muito contaminados. Essas amostras estão sob as litologias do Complexo Ressaquinha e do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga. Para o Cr foi observado valores elevados de FC e FE ao longo de toda bacia. O Ni apresentou 6 amostras dispersas pela bacia com fator de enriquecimento muito alto e a maioria das amostras com FC considerável a elevada. Mn e Fe apresentaram as maiores concentrações no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero, o que também foi verificado para o FC e FE. Nesse contexto esse trabalho apresenta potencial de auxílio na gestão da bacia do rio Piranga, indicando os locais de maior atenção à interferência antrópica nos cursos d'água. Uma melhor gestão dos recursos hídricos tem impactos direto na saúde humana e na preservação de plantas e animais presentes no ecossistema. Além disso, as áreas com enriquecimento relacionadas ao background da região são de suma importância para se iniciar uma campanha de pesquisa mineral, para possível prospecção.

Palavras-chave: bacia do rio Piranga, mapeamento geoquímico, qualidade dos sedimentos fluviais.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A importância da água na história da humanidade é identificada quando se observa que os povos e civilizações se desenvolveram às margens de corpos d'água, como rios e lagos. É fácil perceber o quanto o ciclo hidrológico é condicionado pelas características locais, como clima, relevo, tipo de solo, uso e ocupação do solo, geologia, tipo de cobertura vegetal e rede hidrográfica (Paz *et al.* 2004).

A Bacia do Rio Piranga (BRP), região alvo desse estudo, está totalmente inserida no estado de Minas Gerais e perfaz uma área de 17.571,37 km² (Figura 1.1). É composta pelas bacias hidrográficas dos rios Piranga, do Carmo e Casca e pela bacia do rio Matipó. Além dessas, ainda é acrescida de corpos hídricos menos representativos que drenam diretamente para o Rio Doce (IGAM, 2010). Durante o seu percurso atravessa diversas cidades mineiras, dentre elas Piranga, Presidente Bernardes, Porto Firme, Guaraciaba e Ponte Nova. Parte da região NW da BRP pertence ao Quadrilátero Ferrífero (QF), descrito inicialmente por Dorr (1969), uma das maiores províncias minerais do mundo, que apresenta concentrações econômicas de ouro, ferro, manganês, alumínio e topázio, dentre outros bens minerais (Hasui 2012).

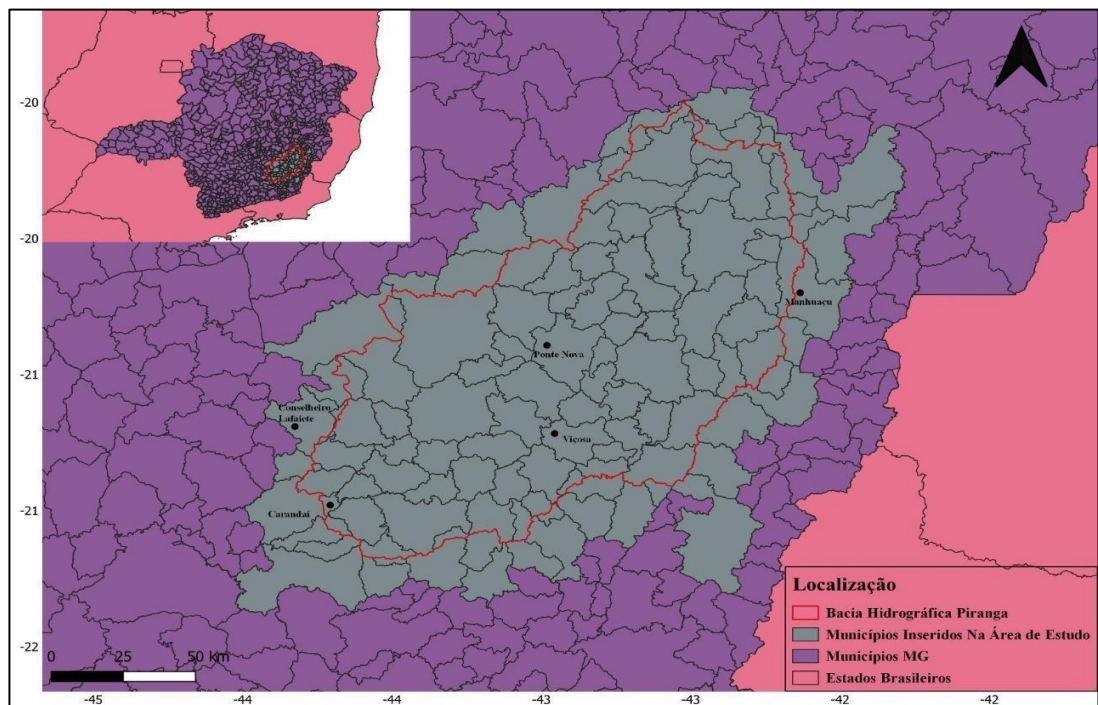


Figura 1.1: Mapa de localização da Bacia do Rio Piranga confeccionado através do aplicativo QGis no sistema de coordenadas SIRGAS 2000. Fonte: Próprio autor.

A região de estudo, pertencente ao domínio da Mata Atlântica, foi no passado alvo da exploração de ouro e atualmente tem como principais fontes de economia as atividades relacionadas a agricultura e a pecuária, e ainda, em menor escala, o extrativismo vegetal e a extração de areia. O uso e ocupação indevido do solo, vem contribuindo para uma mudança anômala na concentração de elementos químicos na água e conseqüentemente na qualidade dos recursos hídricos. O aporte de resíduos sólidos despejados de maneira indevida nos cursos d'água, a utilização de agrotóxicos, o aumento das superfícies erosivas devido á retirada da mata ciliar, seja para a construção de estradas ou mesmo de pastagens, contribuem cada vez mais para essas anomalias (IGAM – 2010).

Outro fator que se deve levar em consideração para o acréscimo de metais pesados nos cursos d'água são as características geoquímicas das unidades litológicas que compõem a bacia. À medida que essas rochas vão sendo expostas a agentes intempéricos, ficam suscetíveis a erosão e conseqüente geração de sedimentos que acabam por serem transportados. Desse modo, aliados a fatores geomorfológicos, hidrogeológicos, e climáticos, os elementos químicos presentes acabam atingindo as drenagens.

A região da Bacia do Rio Piranga está inserida litologicamente no Grupo Dom Silvério e no Complexo Mantiqueira, também há a presença de unidades litológicas do Complexo Acaiaca (Fukuzawa 2008). A maior parte da BRP está localizada na folha geológica de Rio Espera descrita por Raposo et al. 1991.

Os litotipos do Complexo Acaiaca, foram caracterizados por Raposo (1991) como quartzo-anfibóliopiroxênio-plagioclásio-gnaiss granulítico, diopsídio-anfibólioplagioclásiognaisse, hiperstênio-gabro e gabro anfibolitizado. Segundo Souza (2008), o Complexo Mantiqueira é composto por ortognaisses migmatíticos, tonalíticos e graníticos, e anfibolitos associados. De forma geral, essas rochas de composição ácida são fornecedoras dos elementos Ca, K, Na, Al e Si e tendem a ser empobrecidas em Ni, Cr, Co, Cu, Zn e As (Fukuzana 2008). Já o Grupo Dom Silvério é constituído por mica xistos, quartzitos, anfibolitos, tremolitos e gonditos, rochas que disponibilizam elementos como As, Cd, Co, Cr, Ni, V e Zn (Roeser *et al.* 1984; Polli *et al.* 1984, citado por Fukuzana *et al.* 2008).

Considerando as características geológicas da BRP, bem como os históricos de atividades econômicas na bacia, tem-se nos sedimentos fluviais um importante compartimento ambiental para o entendimento da evolução das características geoquímicas, contribuições antropogênicas e possíveis fontes de contaminação na BRP.

Os sedimentos ativos de corrente são amostras constituídas de material fino, composição mineralógica variada, preferencialmente, localizados nas porções mais ativas dos leitos das drenagens (Melo 2019).

Segundo Ferreira (2004) as vantagens de se utilizar esse método é que normalmente mostra boa representatividade da bacia de drenagem e a correlação entre a sua composição e a do “bedrock” é boa.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) realizou uma Campanha de mapeamento Geoquímico publicado no documento “Informes de Recursos Minerais – Séries Metais – Informes Gerais, nº02”. Esse projeto realizou a coleta de 3662 amostras de sedimentos ativos de corrente na área do Quadrilátero Ferrífero e seu entorno. O principal objetivo do projeto fornecer dados geoquímicos que auxiliem na escolha de áreas para intensificação da exploração mineral no estado de Minas Gerais. Foram elaborados mapas geoquímicos unielementares dos sedimentos bem como mapas fatoriais, advindo do resultado das análises de componente principal.

Neste sentido, será utilizado o banco de dados dos sedimentos fluviais de corrente realizado pela CPRM, com o intuito de avaliar a qualidade dos sedimentos fluviais da Bacia do Rio Piranga, através do tratamento estatístico do banco de dados, utilizando os métodos univariados e multivariados e ainda, aplicar os índices de contaminação presentes na literatura (fator de enriquecimento, fator de contaminação, índice de geoacumulação e diretrizes de controle de qualidade dos sedimentos).

1.2 LOCALIZAÇÃO

A bacia do rio Piranga se encontra inteiramente no estado de Minas Gerais (Figura 1.2), e ocupa as mesorregiões da Zona da Mata e Campos das Vertentes e as principais microrregiões são os municípios Ponte Nova, Viçosa, Manhuaçu, Conselheiro Lafaiete e Barbacena (IGAM 2010).

O acesso a área de estudo se dá por meio de várias rodovias que ligam a região às principais cidades. Partindo da capital mineira Belo Horizonte, pela BR-040 em sentido a cidade de Conselheiro Lafaiete, posteriormente pela BR-482 para a cidade de Itaverava, seguindo para Catas Altas, chegamos no município de Piranga. Continuando pela BR-482, seguimos pela cidade de Porto firme até a cidade de Viçosa. A partir daí, pegamos a BR-120 em direção ao município de Ponte Nova.

Saindo de Ouro Preto, seguimos pela MG-129 em sentido a Ouro Branco, posteriormente para Conselheiro Lafaiete e daí o mesmo trajeto pela BR-482. Vale salientar que o acesso pode ser feito através de várias estradas não pavimentadas, parte delas pertencentes a Estrada Real.

Grande parte da BRP está localizada na folha geológica de Rio espera (SF.23-X-B-IV), que perfaz uma superfície de 3.000 km² e foi confeccionada na escala 1:100.000. Situa-se na porção sudeste do Estado e é limitada pelos meridianos 43°00’ e 43°30’ de longitude oeste e os paralelos 20°30’ e 21°00’ de latitude sul (Raposo 1991).

Outra importante folha geológica inserida na região de estudo é a folha Ponte Nova (SF.23-X-B-II), também confeccionada por Raposo no Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil executado pela CPRM junto ao DNPM.

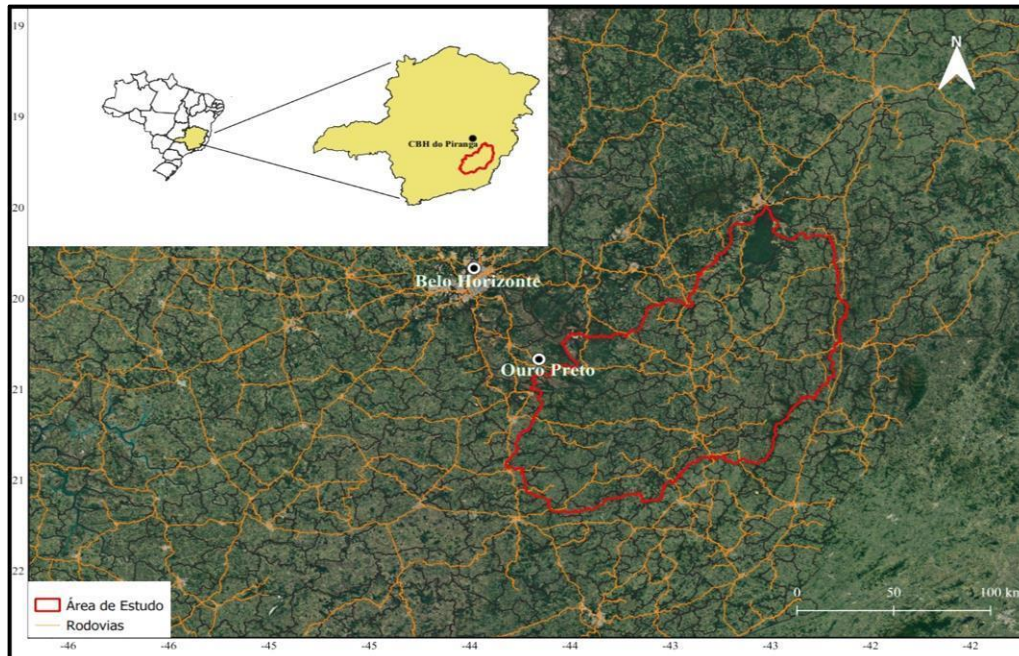


Figura 1.2: Mapa de localização da Bacia do Rio Piranga confeccionado através do aplicativo QGis no sistema de coordenadas SIRGAS 2000. Fonte: Compilação do próprio autor.

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade dos sedimentos fluviais da bacia do rio Piranga (Figura 1.3) por meio de análises estatísticas exploratórias e índices de avaliação de contaminação presentes na literatura, a fim de concluir se os altos teores de metais pesados presentes nos dados disponibilizados estão relacionados a atividades antrópicas exploratórias nas proximidades da bacia, ou se é um reflexo da composição mineralógica das rochas inseridas no contexto geológico da região.

Como objetivo específico, procura-se ainda buscar o histórico de existência de atividades exploratórias da região, como mineradoras, pedreiras e indústrias, e analisar as ocorrências de unidades máficas e ultramáficas inseridas no contexto geológico das áreas jusantes ao curso da BRP e, através dessas, diferenciar e correlacionar os resultados entre fontes naturais e antrópicas. Dessa forma, esses resultados podem ser utilizados para possíveis discussões acerca de novas áreas para prospecção mineral, além de difundir os conhecimentos geológicos, abrangendo outras áreas, tais como a Geologia Médica e Ambiental.

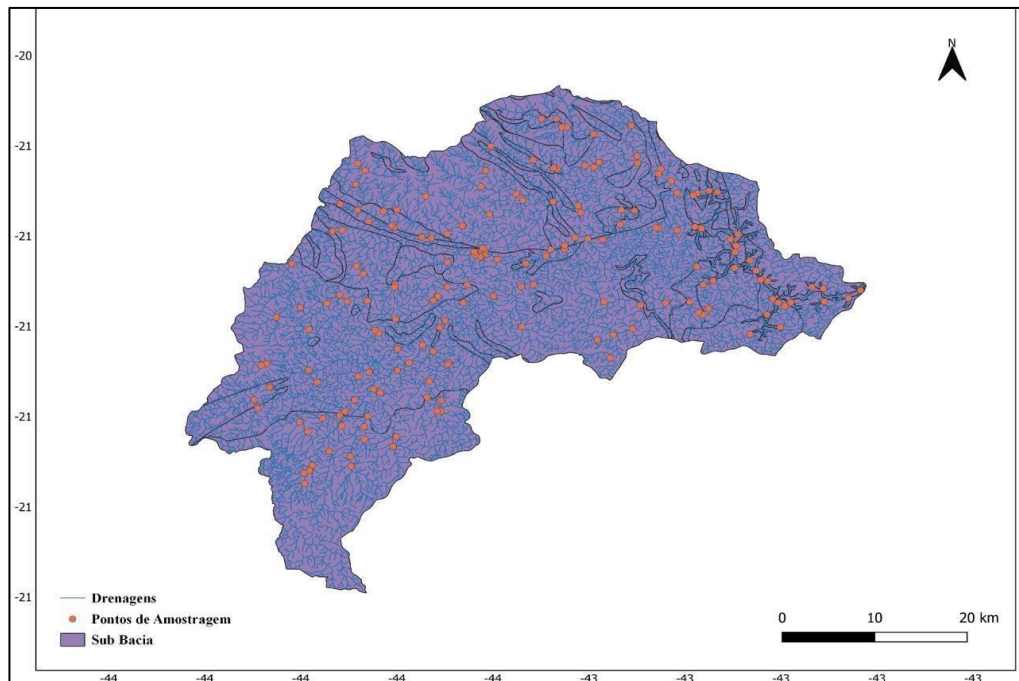


Figura 1.3: Mapa de localização dos pontos amostrados na sub-bacia da BRP, pertencente ao Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Próprio autor.

1.4 JUSTIFICATIVA

A área foco do trabalho está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero, província mineral brasileira que comporta várias atividades exploratórias, principalmente a mineração de ouro e ferro. Além disso, dados do IGAM (2010) afirmam que 69% da área da região da Bacia do Rio Piranga teve sua fitofisionomia original substituída pelo sistema antrópico, incluindo o uso desordenado do solo para atividades agropecuárias, minerárias, extrativistas e relacionadas ao crescimento urbano desordenado. O mau uso dos recursos naturais tem gerado uma escassez e impactos na qualidade da água. Esse processo pode gerar fontes de elementos como o As, Cu, Fe, Ni, Cr, Mn, Zn e Cd que acabam por atingir as drenagens e conseqüentemente os cursos d'água, contribuindo no processo de alteração geoquímica das águas da Bacia do Rio Piranga.

Aliado a isso, o método de análise de sedimentos fluviais de corrente nos traz diversas informações sobre as condições existentes no curso, tanto em âmbito regional, quanto local. Diante disso, a análise dos dados disponibilizados pela CPRM nos permite avaliar as possíveis causas dos teores anômalos nos sedimentos fluviais, correlacionando os resultados entre fontes naturais e antrópicas.

Dessa forma, o presente trabalho é justificado por gerar dados que nos permitem realizar uma caracterização geoquímica da região, possibilitando um melhor entendimento e disseminação do conhecimento acerca da influência que esses altos teores podem ocasionar na saúde humana e no ecossistema, além desses dados poderem ser utilizados para possíveis discussões acerca de novas áreas para prospecção mineral.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado conforme os itens descritos a seguir.

1.5.1 Revisão Bibliográfica

Para melhor se entender o contexto geológico, a economia da região, o uso e ocupação do solo e demais fatores que possivelmente possam interferir no índice de metais pesados no curso da bacia do Rio Piranga e ainda, melhor se entender os métodos de mapeamento geoquímico de sedimentos de bacia, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica.

1.5.2 Tratamento estatístico do banco de dados

1.5.2.1 Análise estatística univariada

Ao estudar o comportamento de apenas uma variável química, a manipulação de dados é feita através de métodos estatísticas univariados. Em um levantamento geoquímico de superfície, a enorme massa de dados adquiridos necessita de tratamento matemático adequado, de modo que os métodos estatísticos se tornam uma ferramenta indispensável para tratamento e interpretação dos dados. A determinação de valores anômalos, limiares (*threshold*) e teor de fundo (background geoquímico), indicadores básicos de uma distribuição geoquímica unielementar, são baseados na análise estatística univariada de distribuição de dados, cujos resultados definem parâmetros estatísticos básicos, tais como média, desvio padrão, variância e mediana (Mapa *et al.* 2015).

1.5.2.1 Análise estatística bi e multivariada

As características geoquímicas dependem de diversas variáveis, o seu entendimento é facilitado quando os dados adquiridos são submetidos a um tratamento qualitativo multivariado. Esses métodos são promissores para análise de dados geoquímicos, pois nos permitem manipular diversas variáveis simultaneamente (Davis *et al.* 2002 *apud* Mapa 2015). Os métodos bi e multivariados podem ser avaliados com ferramentas, tais como as Correlações de Pearson, Análise de PCA, e Análise de Cluster.

O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida de associação linear entre variáveis que, em termos estatísticos, ocorre através do compartilhamento da variância entre duas variáveis. Esse coeficiente pode variar de -1 a 1, sugerindo a força entre as variáveis, onde valores máximos e mínimos indicam uma correlação perfeita e zero indica que não há relação linear entre as variáveis. Valores

extremos (0 ou 1) dificilmente são encontrados na prática, e podem ser diferentemente interpretados de acordo com cada pesquisador (Filho *et al.* 2009).

O método de análise de componentes principais (PCA) consiste na relação entre características extraídas de dados, e tem por finalidade a redução, eliminação de sobreposições e a escolha das formas mais representativas de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais (Vasconcelos 2016).

Já o método de Análise de Cluster consiste em um agrupamento hierárquico de acordo com classes. Elas são agrupadas em clusters, com base na semelhança existente nos valores observados. Segundo Leão (2019), esse tipo de análise visa a detecção de particionamento natural de objetos, no qual agrupa observações semelhantes em subconjuntos homogêneos que podem revelar padrões relacionados ao fenômeno em estudo.

1.5.2.2 Determinação da faixa de valores referências

Os valores de referência locais ou valores de backgrounds, são inferidos para cada elemento em determinada área de estudo através de métodos geoquímicos e estatísticos, a fim de quantificar e identificar os padrões anômalos existentes na bacia e, a partir do seu entendimento, diferenciar os elementos presentes na sua forma natural, da influência de atividades antrópicas.

Segundo Matschullat (2000), quando encontramos valores anômalos positivos, pode ser a evidência de contaminação por influência antrópica. A determinação das concentrações do background geoquímico pode ser adquirida, segundo Matschullat *et al.* (2000), Reimann & Garrett 2005 e Desaulés (2012), através de métodos estatísticos ou métodos empíricos, podendo ainda, por outros autores, serem integrados (Leão 2019).

Os métodos geoquímicos e estatísticos podem ser determinados através de métodos diretos ou empíricos. Os métodos geoquímicos se referem à investigação de amostras não afetadas por atividades industriais, também conhecidas como amostras pré-industriais. Nestes, amostras de núcleo profundo ou amostras coletadas a uma certa distância de fontes de poluição antropogênicas são usadas para estabelecer os valores de background de metais pesados nos sedimentos ou solos de uma área alvo (Leão 2019). Com esse método obtemos um único valor de background. Para os métodos estatísticos, as principais metodologias utilizadas são a média + 2x desvio padrão, Mediana + 2xMAD, Boxplot, Análise fractal (Albanese *et al.* (2006), Bai *et al.* (2009) e Carranza (2009)) e análises associadas. A vantagem de ser utilizado é o amplo intervalo de ocorrências de valores e o leque de possibilidades de aplicações.

1.5.3 Índices de contaminação presentes na literatura

1.5.3.1 Fator de Enriquecimento (EF)

Nesse método utiliza-se um elemento de referência de concentração já conhecida. Através deste é possível fornecer uma visão sobre como diferenciar uma fonte antropogênica de um processo natural, além de auxiliar na determinação do grau de contaminação do metal (Leão 2019).

Existem maneiras distintas de realizar o cálculo do EF, dentre elas podemos utilizar a equação 1 definida por Sutherland (2000):

Equação 1.1: Fator de Enriquecimento (EF)

$$EF = \frac{(C_m/C_{vrl}) Amostra}{(B_m/B_{vrl}) \times Vrl} \quad (1)$$

Em que:

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 de referência local do elemento em estudo;

B_{vrl} é o valor de referência local do elemento de referência.

Os valores encontrados para o Fator de Enriquecimento podem ser interpretados de acordo com a Tabela 1.1:

Tabela 1.1: Categorias de contaminação com base no fator de enriquecimento segundo Sutherland (2000)

Valores de EF	Enriquecimento
EF < 2	SEM CONTAMINAÇÃO
2 < EF < 5	MODERADO
5 < EF < 20	SIGNIFICATIVO
20 < EF < 40	MUITO ALTO
EF > 40	EXTREMAMENTE ALTO

Fonte: Loska & Wiechuya (2003).

1.5.3.2 Fator de Contaminação (CF)

Segundo Leão (2019), o CF é o método mais simples de análise de contaminação de sedimentos, e é obtido a partir do quociente entre a concentração de cada metal e seu valor de referência local. Os valores são interpretados seguindo a metodologia de Hakanson (1980) de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 1.2: Valores de CF e classificação segundo Hakanson (1980).

Valores de CF	Nível de Contaminação
CF < 1	BAIXA
1 < CF < 3	MODERADA
3 < CF < 6	CONSIDERÁVEL
CF > 6	MUITO ALTA

Fonte: Hakanson (1980).

1.5.3.3 Legislação Vigente

Para que os trabalhos realizados mantenham um padrão de confiabilidade, foi normatizado os métodos de coleta, análise e valores de referência de acordo com a resolução CONAMA 454/12, de 1º de novembro de 2012, que dispõe sobre as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.

1.5.3.4 Confecção de Mapas Geoquímicos

Através da confecção de mapas geoquímicos representar e ilustrar as informações objetivadas nesse estudo. Esse tipo de mapa pode ser utilizado tanto para exploração mineral, quanto para análise ambiental e é uma excelente ferramenta para o entendimento da distribuição espacial de elementos químicos. A sua confecção requer alguns critérios importantes, dentre eles a escala de apresentação, a densidade amostral e o material coletado, que devem ser selecionados de acordo com os objetivos do projeto e uso final dos resultados (Sharp, 1987, citado por Leão *et al.* 2019). Na geoquímica ambiental, são necessários estudos em escala regional e local para detectar fontes de contaminação ou riscos potenciais para a saúde humana (Wilford *et al.* 2015), enquanto a prospecção geoquímica requer dados de maior resolução e investigação em escala regional para estudos táticos, a fim de identificar possíveis alvos (Lancianese & Dinelli 2014, citado por Leão *et al.* 2019).

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

2.1.1 O Cráton São Francisco

O Cráton São Francisco, formado no término do Ciclo Brasileiro, foi descrito inicialmente por Almeida (1977) e consiste em blocos arqueanos limitados por orógenos paleoproterozóicos (*ex.*: Almeida & Hasui 1984; Teixeira & Figueiredo 1991; Brito Neves *et al.* 1996; Barbosa & Sabaté 2002, 2004; Alkmim & Noce 2006 *apud* Queiroz 2019). Está situado no centro-leste do Brasil e abrange grande parte dos estados da Bahia e Minas Gerais e pequenas porções em Sergipe, Pernambuco, Tocantins e Goiás. Souza *et al.* (2003) realizou a descrição do mesmo de acordo com a segmentação regional em três setores, sendo eles: o Setor Oriental, marcado pela atuação de processos do Ciclo Brasileiro, Setor Central, com a presença de unidades mesoproterozóicas, e o Setor Ocidental que exhibe principalmente unidades neoproterozóicas (Hasui 2012).

2.1.2 Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero, situado a sul do Cráton São Francisco, é considerado uma importante província mineral e comporta importantes de ouro, ferro, manganês, alumínio e topázio. Segundo Hasui (2012) as rochas dessa região são agrupadas em três unidades geológicas, sendo elas: Complexo granitognáissico e Supergrupo Rio das Velhas de idade arqueana, além do Supergrupo Minas, relacionado ao Paleoproterozóico. No geral, as rochas são núcleos de complexos metamórficos composta por gnaisses do tipo TTG, migmatitos e granitóides (Machado & Carneiro 1992; Lana *et al.*, 2013; Romano *et al.*, 2013; Teixeira *et al.*, 2017) além de rochas do tipo greenstone belt.

O Quadrilátero Ferrífero é limitado por quatro serras principais, sendo elas: Serra do Curral, Serra de Ouro Preto, Serra da Moeda e Serra do Caraça, onde predominam os quartzitos e as formações ferríferas bandadas.

2.1.3 Cinturão Mineiro

A área de estudo se encontra no Setor Ocidental, mais precisamente nas unidades litológicas e litoestratigráficas paleoproterozoicas do Cinturão Mineiro, definido inicialmente por Teixeira (1985).

O Cinturão Mineiro compreende rochas de idade paleoproterozoica e pode ser caracterizado por intrusões de composição tonalítica, trondhjemítica, granítica e diorítica em sequências metavulcanossedimentares do tipo greenstone belt (Vieira *et al.* 2020).

No fim do Neoproterozoico, as convergências do Evento Brasileiro, nas bordas do Cráton São Francisco, originaram os sistemas orogênicos Mantiqueira, Tocantins e Borborema (Hasui 2012).

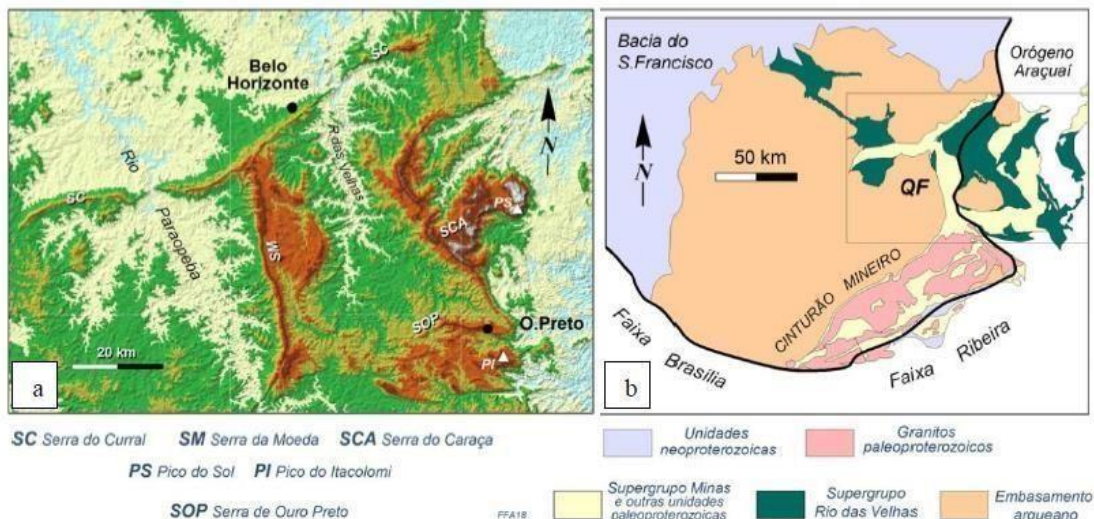


Figura 2.1: a) Principais serras que compõem o Quadrilátero Ferrífero b) Imagem simplificada do extremo sul do Cráton do São Francisco (CSF), ilustrando suas unidades geológicas e embasamento arqueano. Fonte: Extraído de Benedito (2020).

2.1.4 Complexo Santo Antônio do Pirapetinga

De acordo com Raposo (1991), esse complexo, de idade brasileira, compreende rochas metabásicas e metaultrabásicas associadas a gnaiss tonalítico e trondhjémítico, com zonas microclinizadas localizadas e bandas subordinadas de xisto, formação ferrífera e quartzito. O conjunto se encontra altamente deformado e apresenta zonas miloníticas e bandamento metamórfico de geração anterior à grande deformação tangencial que afeta a região. As rochas dessa unidade afloram em maior representatividade entre as cidades de Piranga, Catas Altas da Noruega e Diogo de Vasconcelos.

2.1.5 Unidades Arqueanas

Supergrupo Rio das Velhas

Para Raposo (1991), a dificuldade de se estabelecer claramente uma estratigrafia para as rochas do Supergrupo Rio das Velhas, definido inicialmente por Dorr *et al.* (1957), fez com que ele dividisse as litologias em três unidades: Unidade Inferior, e Unidade Média e Unidade Superior.

A Unidade Inferior é caracterizada por litotipos de aspecto xistoso, com cor negra e cinza-esverdeada e granulação média a fina. Em alguns trechos observam-se leitos mais escuros dobrados com intercalações esbranquiçadas. Essas rochas mais escuras caracterizam-se como epidoto-quartzo-anfibólio xisto. Seguindo para a Unidade Média, temos inicialmente uma sequência de xistos: quartzobiotita-moscovita-xisto com granada, estaurolita e cianita, quartzogranada-biotita-plagioclásio-xisto, passando para um gnaiss xistoso e quartzoplagioclásio-granada-biotita-moscovita-xisto com estaurolita e microclínio. Ainda nessa unidade, temos uma associação de granada-actinolita-quartzo-xisto, quartzo-actinolita-xisto, quartzo-anfibolito, hematita-moscovita-quartzo-xisto e formação

ferrífera e por fim, o terceiro litotipo é um quartzito sacaróide de granulação grossa a média. Já a Unidade Superior é caracterizada por dois litotipos metassedimentares clásticos: o primeiro constituído de quartzito com lentes subordinadas de metaconglomerado com seixos de quartzo e quartzito, enquanto o segundo observa-se que o quartzito transiciona lateralmente para quartzomica-xisto (Raposo – 1991).

2.1.6 Unidades Proterozoicas

Complexo Mantiqueira

Nesse complexo, encontra-se gnaisses bandados de composição tonalito-trondhjemítica, bem como granito-granodiorítica com intercalações de metabasitos com migmatizações pré e sindeformacionais, além de rochas subordinadas como metaultrabasilito, rocha calcissilicática, metagabro e quartzito. As melhores exposições de rochas caracterizam-se como encostas nuas, e podem ser observadas no perímetro urbano de Calambau (Raposo 1991).

Complexo Ressaquinha

Segundo Raposo (1991), essa unidade abrange grande parte do sudoeste da folha Rio Espera e se estende até as imediações de Piranga, próximo a margem direita do Rio Piranga. Compreende rochas granitóides que se encontram menos deformadas à medida que se aproxima dos contatos com as litologias do complexo Santo Antônio do Pirapetinga e extravasa os limites sul e oeste da folha correlacionando-se aos granitóides das imediações de Congonhas, Conselheiro Lafaiete e sul de Itaverava.

Rochas Intrusivas e Plutônicas

Tonalito-Trondhjemito Serra do Carmo

Raposo (1991) caracteriza esses granitóides como rochas branco-leitosas, de granulação média a grossa, constituídas quase sempre de albita ou albita/oligoclásio e quartzo com predomínio de plagioclásio. Em geral, exibem textura granonematoblástica e extinção ondulante, grãos fraturados e contatos irregulares evidenciando efeitos de esforços tectônicos.

Granito-Granodiorito Ribeirão Pinheirinho

São rochas do Supergrupo Rio das Velhas, apresentam cor cinza, granulação média a grossa e estão localmente foliadas. Além disso, possui caráter milonítico que desaparece em direção ao centro, podendo ser classificada como um augengnaisse de composição granítica, ou ainda, biotita-microclina-plagioclásioquartzo-gnaisse. No diagrama de Streckeisen (1976), caem no campo dos granitos b, que são pobres em feldspato potássico. Raposo (1991).

Granito Pimenta

Segundo Raposo (1991) esse corpo granítico, de cor cinza com bandas esbranquiçadas de pegmatitos, se encontra muito cisalhado e se comporta ora como milonito, ora como prolomilonito. As porções pegmatóides apresentam quartzo, microclima, biotita e plagioclásio numa textura granoblástica, enquanto a rocha predominante, onde a microclima substitui e envolve o plagioclásio, apresenta textura granolepidoblástica. No diagrama de Streckeisen (1976), caem no campo dos granitos b.

Sienito Piranga

Foi identificado por Jordt-Evangelista e Peres (1997) e o seu magmatismo foi relacionado ao Ciclo Transamazônico. Esse maciço é composto por sienito, quartzo sienito e gnaiss sienítico e é recortado por várias gerações de diques de aplito de composição granítica Silva (2004).

Grupo Dom Silvério

Foi inicialmente definido por Lima *et al.* (1974) e dividido em duas unidades litológicas, sendo elas: xistos quartzosos e xistos moscovíticos, sobrepostos por quartzitos conglomeráticos ferruginosos e quartzitos moscovíticos. Posteriormente, Machado Filho *et al.* (1983) identificaram além dessas litologias referidas, rochas metabásicas e metaultrabásicas, xistos grafitosos, gonditos e cataitabiritos, como possível sequência tipo greentone-belt, mas, na folha Rio Espera as litologias restringem-se aos tipos xistosos com quartzitos subordinados (Raposo 1991).

2.1.7 Unidades Fanerozoicas

Depósitos e Coberturas Sedimentares

Coberturas Detrito-Lateríticas

Se estende por uma área entre Piranga e Porto Firme e se manifesta como restos de superfícies aplainadas que constituíram antigos pediplanos no ciclo Velhas de Erosão, segundo King (1956). De acordo com Raposo (1991), sedimentos consolidados e semiconsolidados, compostos por areias impuras, foram depositados sobre esses antigos pediplanos.

Depósitos Aluvionares

Dois tipos de aluviões são encontrados na área de estudo, aluviões recentes, de idade holocênica, e terraços semiconsolidados, de idade pleistocênica a holocênica. As melhores exposições se encontram nas imediações da cidade de Piranga e observa-se vários níveis de espessuras, caracterizando-se como areias graníferas, ferruginosas ou manganíferas, argilas amarelas, vermelhas, e ainda, lentes de cascalho, espelhando a erosão sobre os litotipos do Supergrupo Rio das Velhas (Raposo 1991).

2.2 GEOLOGIA LOCAL

A geologia local é responsável por fornecer aporte de sedimentos e enriquecimento em determinados elementos químicos. Diante disso, segue abaixo a descrição das unidades estratigráficas

cartografadas na área de estudo, o mapa geológico da região (figura 2.2) e a tabela com as respectivas legendas (tabela 3.2).

2.2.1 Grupo Nova Lima

Parte das águas do Rio Piranga drenam terrenos associados ao Grupo Nova Lima. De acordo com dados da CPRM (2000), esse grupo é composto por sequências metavulcanossedimentares de baixo grau, com presença de xistos carbonosos, quartzos xistos, piroclásticas, talco xistos, quartzitos, mica xistos, sericita xistos, gonditos, anfíbolitos, anfíbólio xistos, turmalinitos, epidoto xistos, quartzo-mica xistos, pirofilita xistos, serpentinitos, metabásicas e metaultrabásicas (Dias *et al.* 2016).

2.2.2 Complexo Mantiqueira

O Complexo Mantiqueira se estende por parte NE e SE da folha Rio Espera e abrange as laterais do grupo Dom Silvério e parte do complexo Acaiaca. Os contatos são quase todos de caráter tectônico e os principais litotipos dessa unidade são gnaisses bandados gerados em zonas de cisalhamento, migmatizados em graus variados (Raposo 1991).

2.2.3 Complexo Ressaquinha

As rochas desse complexo estão bem representadas no município de Ressaquinha, município no qual encontra-se a nascente do Rio Piranga. Abrange parte sudoeste da folha geológica de Rio Espera e se estende até as imediações da cidade de Piranga, intercaladas com os litotipos do Complexo Santo Antônio do Pirapitinga. Além disso, os afloramentos ocorrem nas encostas de forte declividade, ligeiramente convexas e os regolitos resultantes apresentam com avermelhada. Predominam composição diorítica e tonalítica com alta porcentagem de plagioclásio, anfíbólio e pouca quantidade de quartzo (Raposo 1991).

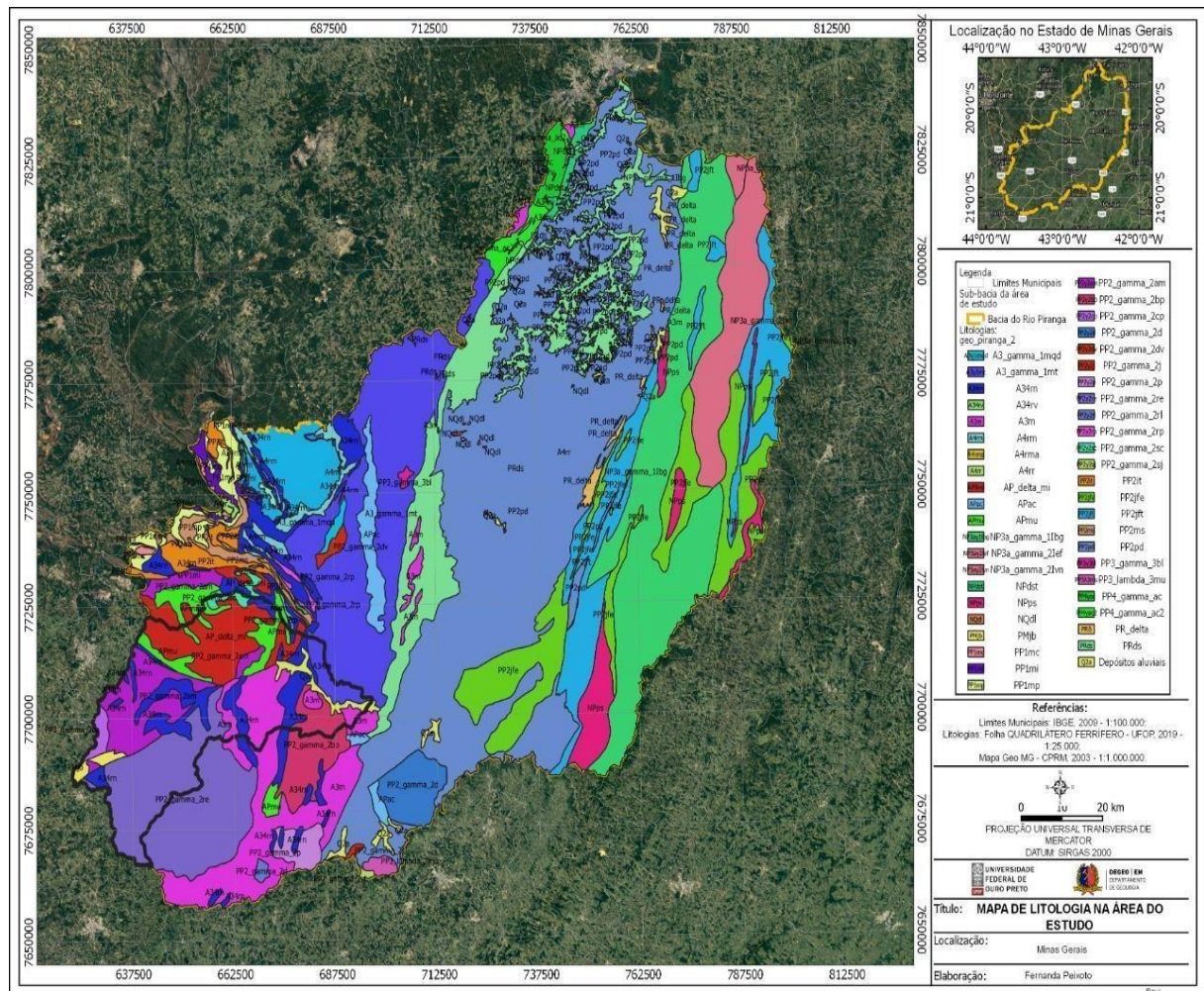


Figura 2.2: Representação dos litotipos inseridos na área de estudo, contando com o mapeamento realizado no estado de Minas Gerais pela CPRM e correlacionada com a recente interpretação feita por Endo *et al.* (2020). Fonte: Compilação feita pelo próprio autor.

Tabela 2.1: Sigla dos litotipos com as unidades.

Sigla das Litologias	Rochas
A3_gamma_lmt	Complexo Córrego Taioba - Tonalito
A34rn	Grupo Nova Lima
A3m	Complexos Ortognáissicos (ortognáisses TTG e graníticos; granulítico, Migmatítico e anfibolito.
	Complexo Mantiqueira
PMjb	Complexo Serra de Jabitacá – Migmatito, Metagranodiorito, Metaronalito
PP1sap	Complexo Santo Antônio do Pirapetinga – Gnaisses leucocráticos

PP2_gamma_2am	Suíte Alto Maranhão – tonalito a granito calcioalcalino metaluminoso
PP2_gamma_2bp	Suíte Brás Pires – Biotita granito a duas micas
PP2_gamma_2re	Complexo Ressaquinha – Tonalito, Granito, Granodiorito, Monzonito (Enderbita, Quartzo diorito)
PP2erss	Biotita xistos, clorita xistos, granada xistos, quartzitos, metapelitos, filitos carbonosos, mármore dolomíticos, BIF, metadiamicititos, metagrauvas, paragnaisses e subordinadamente metavulcânica félsica, metamárfica, metaultramárficas e pegmatitos – Formação Saramenha
PP4_delta_ca	Metamárficas (Suíte Catas Altas da Noruega)
PP4_delta_sr	Metaultramárficas (Suíte Santa Rita)
Q2a	Depósitos aluvionares

2.2.4 Intrusivas Alcalinas de Piranga ou Sienito Piranga

Segundo Silva (2004), o sienito se encontra deformado e é cortado por diques aplíticos, que floram no distrito de Cunhas e próximo ao Município de Diogo de Vasconcelos. Geralmente apresenta coloração acinzentada e é composta por feldspato, anfibólio e biotita.

2.2.5 Aluviões Recentes

Os depósitos aluvionares melhor se expõe nas imediações de Piranga. Esses continuam sendo retrabalhados e misturam-se, nas encostas, com os produtos de dissecação das demais coberturas. Neles observam-se uma grande variação composicional variando de areias granatíferas, ferruginosas ou manganésíferas, argilas amarelas, vermelhas ou negras, níveis e lentes de cascalho com seixos centimétricos de quartzito espelhando a erosão remontante sobre os litotipos do Supergrupo Rio das Velhas (Raposos 1991).

CAPÍTULO 3

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Será feito abaixo uma discussão unielementar a partir dos dados de estatística descritivas básicas, onde poderá ser observado os locais que apresentam as maiores concentrações, bem como quais pontos podem ser considerados anomalias geoquímicas.

Foram calculados de acordo com a metodologia do *BoxPlot* UIF (Matschullat *et al.* 2000) os valores para a microbacia do rio Piranga de acordo a tabela 3.1 abaixo. Nela, foram computados os valores do Intervalo interquartil (DIQ), além dos valores de Q1 e Q3, onde temos a nossa faixa de valores de referência. O Alto valor de referência é dado pela expressão $Q3 + (1,5*DIQ)$, e indicam o valor máximo geoquímico de um elemento na bacia que não seja considerado anomalia. Valores mais altos que o valor de referência são considerados anomalias geoquímicas.

A tabela 3.1 apresenta o resultado da estatística descritiva básica para os elementos analisados. Observam-se grandes valores para o coeficiente de variação (Tabela 3.1), o que pode estar relacionado com as complexas características geológicas e geoquímicas da bacia do rio Piranga (Queiroz 2009).

Alguns elementos em determinadas concentrações podem ser considerados potencialmente tóxicos para a saúde humana e animal. Considerando as maiores ocorrências de alguns elementos na bacia, serão discutidos abaixo, em maior detalhe, o Cobre (Cu), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn).

A figura 3.1 a seguir representa a localização dos pontos de amostragem com a cor referente a litologia predominante da sub-bacia de 1ª e/ou 2ª ordem, onde foram realizadas as coletas pela CPRM, enquanto a tabela a seguir (3.2) descreve as siglas das litologias presentes nessa região.

Tabela 3.1: tratamento estatístico dos dados geoquímicos na bacia do Piranga.

Variável	Média	Desv Padrão	Coef. Var.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	DIQ	Alto valor de Referência	Valores Anômalos
Cu	29,08	16,29	56,03	4,59	17,23	26,99	36,76	121,97	19,53	66,06	> 66,05
Pb	13,62	6,07	44,54	5,78	9,55	12,13	16,02	49,8	6,47	25,73	> 25,72
Zn	36,42	15,56	42,72	5,2	25,45	34,1	45,6	112,7	20,15	75,83	> 75,82
Ni	29,16	22,68	77,77	1,6	13,3	24,1	35,55	156,4	22,25	68,93	> 68,92
Co	17,37	13,38	77,02	1,3	8,05	14,7	22,05	80,6	14	43,05	> 43,05
Mn	775,6	781	100,69	62	356,5	579	901	6440	544,5	1717,75	> 1717,75
Fe	55456	32427	58,47	6900	35400	49600	67900	231400	32500	116650	> 116650,00
As	9,98	21,89	219,39	0,1	1,4	2,7	8,4	175,2	7	18,9	> 18,90
Cd	0,03	0,02	69,97	0,01	0,02	0,03	0,04	0,19	0,02	0,07	> 0,07
Sb	0,06	0,15	238,55	0,02	0,02	0,03	0,05	1,87	0,03	0,1	> 0,09
V	102,3	55,92	54,66	16	65	95	129,5	340	64,5	226,25	> 226,25
Ca	745,1	974,3	130,76	100	400	600	850	12100	450	1525	> 1525,00
P	41,28	29,76	72,1	5	25	32	49,5	190	24,5	86,25	> 86,25
Cr	121,7	85,6	70,33	8,1	56,95	98,3	175,65	452,7	118,7	353,7	> 353,70
Mg	182	153	84,03	10	70	130	235	740	165	482,5	> 482,50
Ba	99,91	75,21	75,27	12,5	44,5	78,2	130,8	406,3	86,3	260,25	> 260,25
Ti	844,4	323,6	38,32	60	625	810	1020	2320	395	1612,5	> 1612,50
Al	30295	12715	41,97	4300	22200	28400	36950	72100	14750	59075	> 59075,00
Na	42,23	39,97	94,65	10	20	30	50	300	30	95	> 95,00
K	1000,5	815,6	81,52	50	400	700	1500	3600	1100	3150	> 3150,00

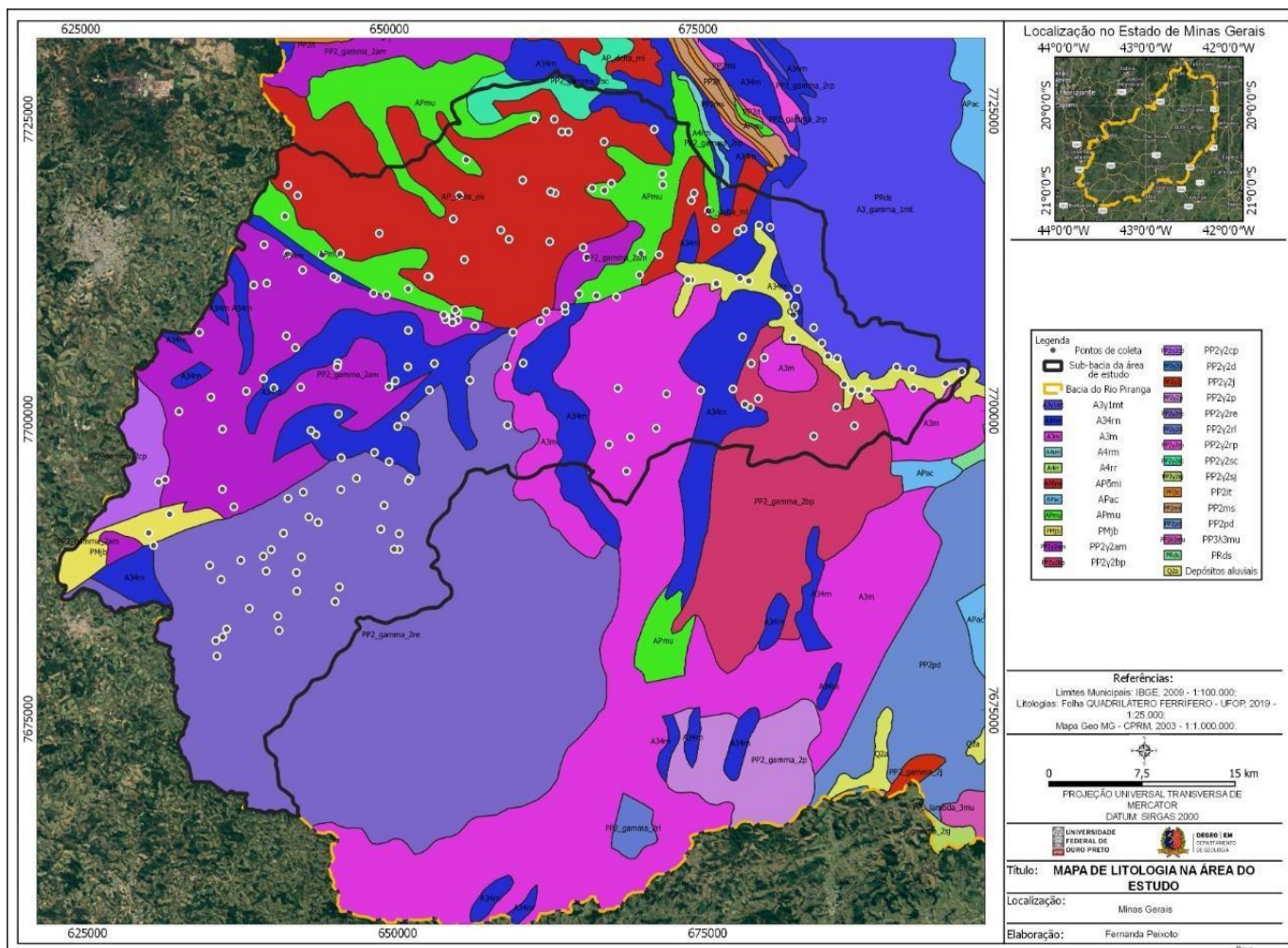


Figura 3.1: Mapa da Bacia do Piranga com as respectivas litologias associadas a cada ponto.

3.1 Cobre

O cobre é um elemento químico da classe dos calcófilos, raramente encontrado na natureza como elemento nativo. Esse metal está comumente associado aos minerais primários: calcopirita, bornita e calcocita, e estão geologicamente atribuídos à veios hidrotermais, diques pegmatíticos, depósitos de alteração ou ainda depósitos metamórficos de contato.

Na área de estudo, as maiores concentrações de cobre foram observadas na porção central da Bacia (Figura 3.1), sendo que das cinco amostras que apresentaram teores anômalos, três delas estão associadas aos gnaisses leucocráticos do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, uma está relacionado às rochas metaultramáficas da Suíte Santa Rita, e a última aos filitos, cloritaxistos, dolomitos, quartzitos, BIFs e metapelitos do Grupo Nova Lima, enquanto as menores concentrações encontram-se na região sudeste, geologicamente inseridos na Suíte Brás Pires, composta majoritariamente por biotita granito a duas micas, e na Suíte Catas Altas da Noruega, composta por rochas metamáficas.

Através da metodologia *boxplot* para o cálculo de *background* geoquímico determinou-se os valores de Q1 e Q3, sendo esses, 17,23 ppm e 36,76 ppm respectivamente. Os valores maiores que 66,05 ppm são considerados anomalias geoquímicas para esse elemento. Através do histograma abaixo (Figura 3.3), conseguimos observar a distribuição de frequências para o cobre, apontando um valor médio obtido de 29,08 ppm.

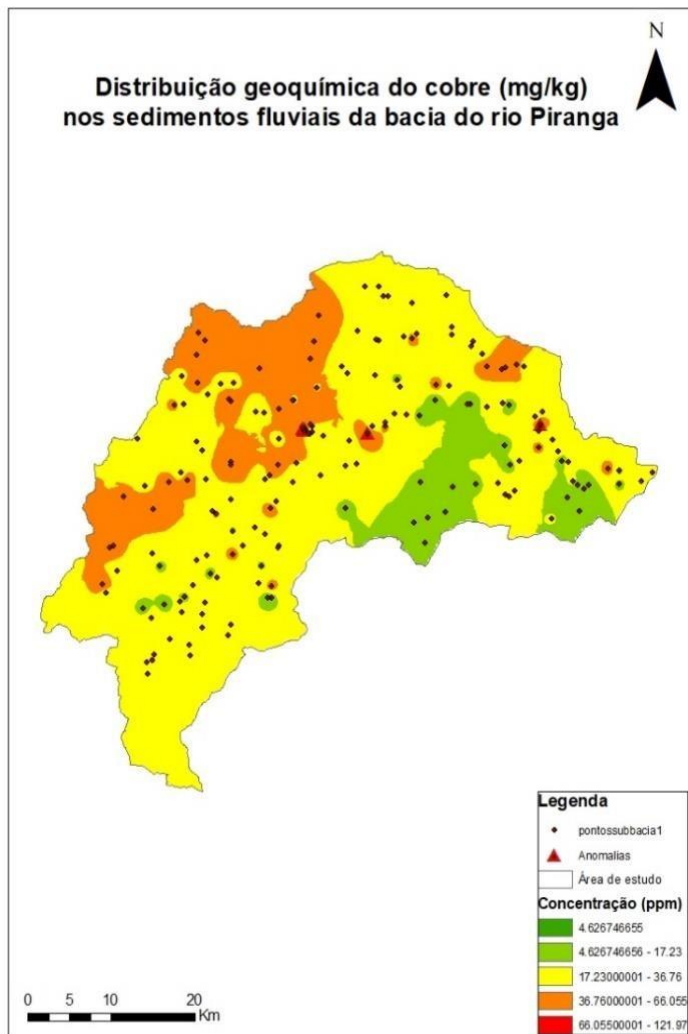


Figura 3.2: Mapa de interpolação geoquímica para o Cobre.

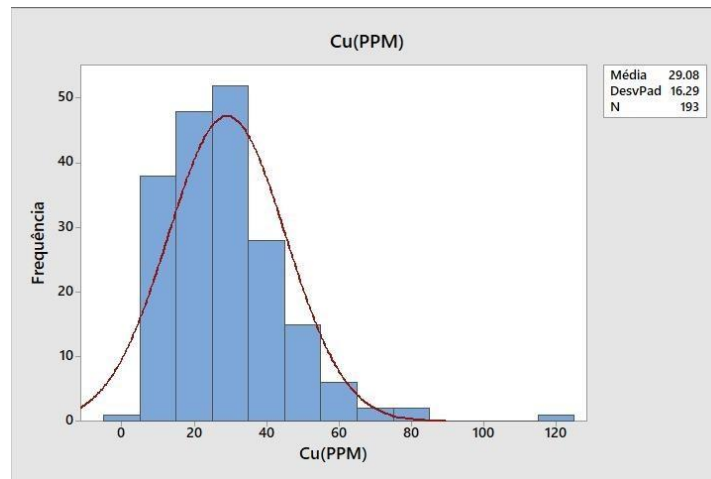


Figura 3.3: Histograma das análises estatísticas para o Cobre.

3.2 Arsênio

O arsênio é um elemento químico também pertencente à classe dos calcófilos, que apresenta alta toxicidade e é frequentemente encontrado como sulfeto de As, sendo mais comum na arsenopirita. A sua ocorrência está associada a veios mesotermiais e epitermais de Co-NiAg-U, a meta-dolomitos e em depósitos com outros minerais de As (Parra 2006).

Foram identificadas 24 amostras com anomalias em arsênio, como podemos observar na figura 3.4 abaixo, o que representa um total de 12,4% das amostras coletadas, onde as maiores distribuições foram observadas na porção noroeste da bacia, e ainda na porção leste da mesma. Destas, sete amostras pertencem ao Complexo Ressaquinha, seis ao Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, quatro à Suíte Alto Maranhão, duas à Suíte Santa Rita, duas ao Grupo Nova Lima, uma Suíte Catas Altas da Noruega, e uma à Formação Saramenha.

A região noroeste da bacia, que apresenta as maiores concentrações anômalas, está inserida no contexto geológico do sul do Quadrilátero Ferrífero, região que abrange os granitóides do complexo Ressaquinha, de idade proterozoica, os gnaisses tonalíticos a graníticos do Complexo arqueano Santo Antônio do Pirapetinga, e os tonalitos a granitos calcioalcalinos metaluminosos da Suíte Alto Maranhão, definindo uma área bem marcante no mapa. Já a leste da área de estudo, foram identificadas anomalias relacionadas aos filitos, cloritaxistos, dolomitos, quartzitos, BIFs e metapelitos do Grupo Nova Lima, além das rochas ultramáficas da Suíte Santa Rita e os biotita xistos, clorita xistos, granada xistos, quartzitos, metapelitos, filitos carbonosos, mármore dolomíticos, BIFs, metadiamicíticos, metagrauvas e paragnaisses, metamáficas, metaultramáficas e pegmatitos da Formação Saramenha.

As menores concentrações, por sua vez, encontram-se na região sudoeste e sudeste onde se encontram os complexos Ressaquinha e os depósitos aluvionares. O valor médio obtido para o As foi

9,98 ppm, e através dos métodos estatísticos utilizados para a análise de *background* geoquímico determinou-se os valores de Q1 e Q3, sendo esses, 1,40 e 8,40 ppm respectivamente. Os valores maiores que 18,90 ppm são considerados anomalia geoquímica. Através dessa análise, foram observados pontos com valores anômalos de 175,20, ou seja, 927% a mais do que o determinado para o alto valor de referência.

Analisando a distribuição de frequências para o arsênio, através do histograma abaixo (Figura 3.5), podemos observar que a maior parte das concentrações se encontram próximas de zero, tal explicação é dada pela grande quantidade de amostras que não foram quantificadas, ou seja, ficaram abaixo do limite de quantificação.

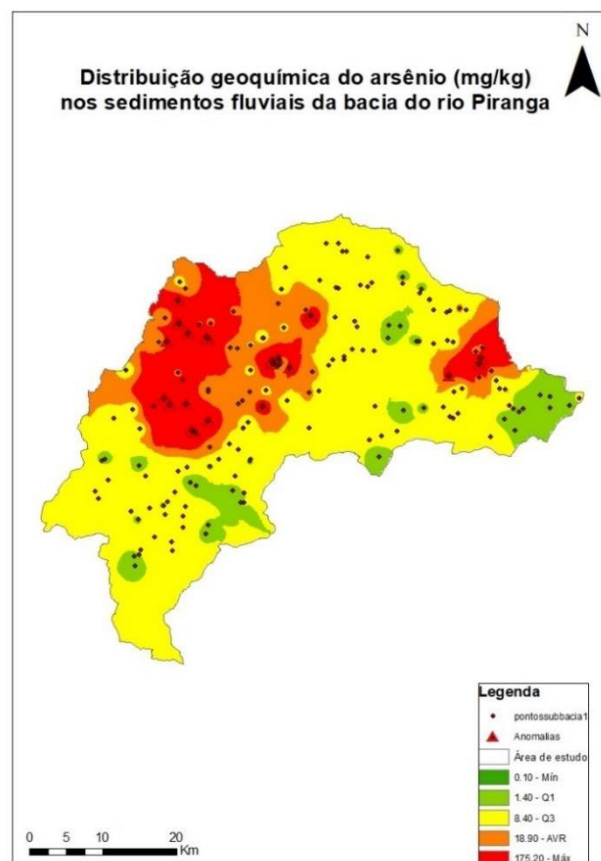


Figura 3.4: Mapa de interpolação geoquímica para o Arsênio.

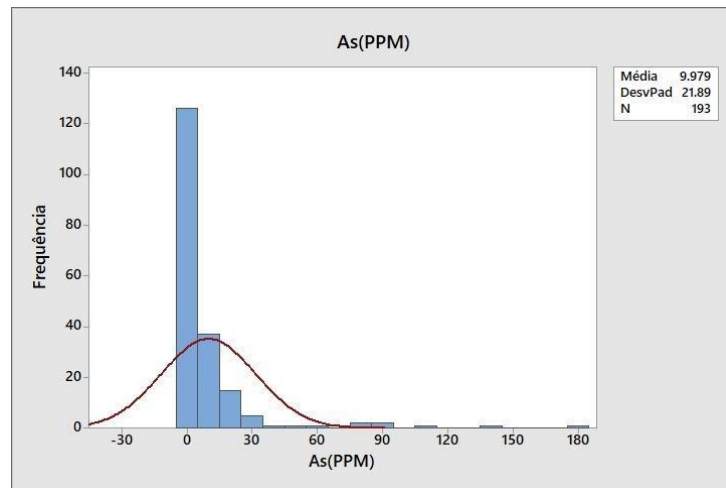


Figura 3.5: Histograma das análises estatísticas para o Arsênio.

3.3 Cádmio

O cádmio é um metal do grupo dos calcófilos que pode apresentar alta toxicidade à saúde humana, e possui forte afinidade com o enxofre, característica que explica a sua acumulação preferencial em sulfetos magmáticos (Parra 2006). Os principais minerais formadores de rochas que apresentam esse elemento em sua composição são a esfarelita, galena, calcopirita, plagioclásios, albita, biotita, olivina, ilmenita e apatita (Wedepohl 1978).

Observando o mapa de interpolação geoquímica para esse elemento (Figura 3.6), podemos notar que as anomalias geoquímicas estão concentradas na porção norte da bacia, se estendendo tanto para a porção leste e oeste onde, de sete dessas, três pertencem aos gnaisses leucocráticos do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, duas pertencem às rochas metamáficas da Suíte Catas Altas da Noruega, uma está inserida ao Complexo Ressaquinha, de composição tonalítica, granítica a granodiorítica, e a última pertencente à Formação Saramenha, formada por biotita xistos, clorita xistos, granada xistos, quartzitos, metapelitos, filitos carbonosos, mármore dolomíticos, BIFs, metadiamicititos, metagrauvas e paragnaisses, metamáficas, metaultramáficas e pegmatitos. Em contrapartida, as menores concentrações encontram-se na região nordeste e sudeste.

As amostras de sedimentos de corrente analisadas apresentam concentrações de cádmio variando entre 0,01ppm a 0,19 ppm. O valor médio obtido para o Cd foi 0,03 ppm, e através do cálculo do alto valor de referência, considera-se os valores maiores que 0,07 ppm como anomalias geoquímicas. Determinou-se ainda os valores de Q1 e Q3, sendo esses, 0,02 ppm e 0,04 ppm respectivamente.

Assim como o Arsênio, para o Cádmio, as distribuições de frequência observadas no histograma abaixo (figura 3.7) também se encontram abaixo do limite de quantificação, pois os valores estão bem próximos de zero.

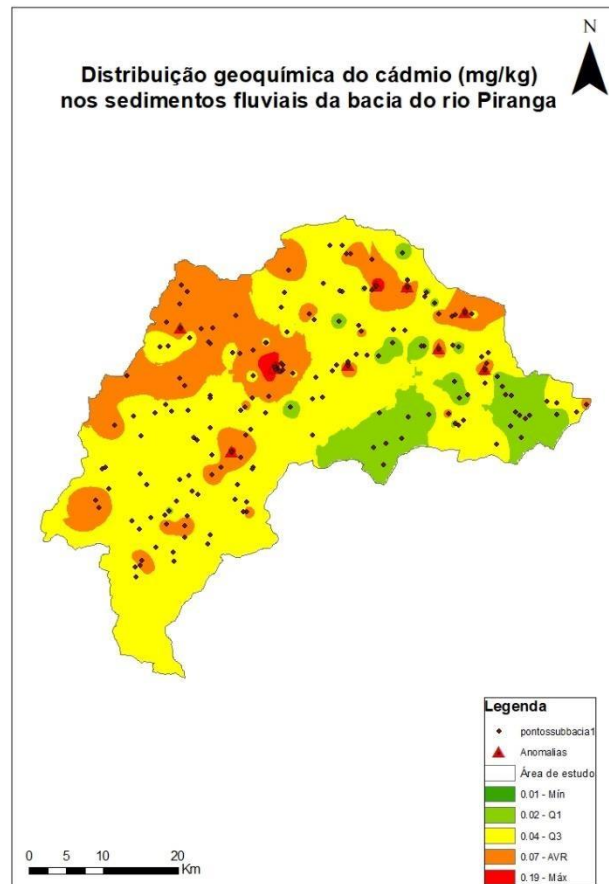


Figura 3.6: Mapa de interpolação geoquímica para o Cádmio.

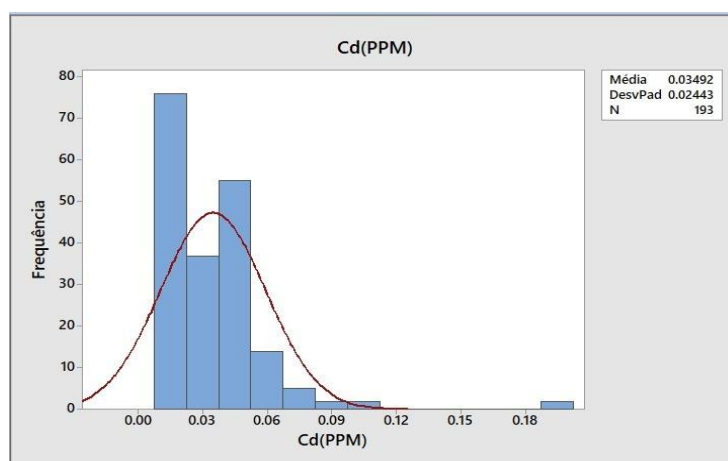


Figura 3.7: Histograma das análises estatísticas para o Cádmio.

3.4 Cromo

O cromo é um metal de transição, comumente associado a rochas ultramáficas e máficas. A crosta terrestre possui vários minerais que contêm o cromo como constituinte majoritário, onde o mais comum é a cromita, a qual pode estar concentrada em resíduos lateríticos desenvolvidos sobre rochas ultramáficas (Wedepohl 1978, Hem 1987).

As maiores concentrações de cromo foram obtidas na porção norte da bacia, onde destacam-se as rochas da Suíte Catas Altas da Noruega, do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga e da Suíte Santa Rita.

O Complexo Santo Antônio do Pirapetinga foi dividido por Raposo (1991) em quatro conjuntos litológicos essenciais, sendo eles: rochas metaultrabásicas, ricas em tremolita e olivina, metabásicas classificadas como anfíbolitos, marcadas por uma intercalação tectônica entre xistos, anfíbolitos e veios félsicos, rochas gnáissicas arqueanas associadas com rochas metaúltrabásicas e rochas calciossilicáticas quartzosas associadas a níveis de anfíbolito e formações ferríferas, do tipo itabirito silicoso. (Queiroz 2018). Essas rochas são correlatas as Supergrupo Rio das Velhas e apresentam olivina, piroxênios, serpentina e talco como principais minerais em suas unidades litológicas. A Suíte Catas Altas da Noruega (PP4_delta_ca), é composta por rochas metamáficas, enquanto a Suíte Santa Rita (PP4_delta_sr), é composta por rochas metaultramáficas.

As menores concentrações por sua vez, encontram-se na região sudeste da área de estudo, pertencente à Suíte Brás Pires.

Como podemos observar no histograma abaixo (Figura 3.9), o valor médio obtido para o Cr foi 121,70 ppm, e através da metodologia de *background* geoquímico determinou-se os valores de Q1 e Q3, sendo esses, 56,95 ppm e 175,65 ppm respectivamente. Os valores maiores do que o alto valor de referência são considerados anomalias geoquímicas, e para o cromo foi calculado 353,70 ppm.

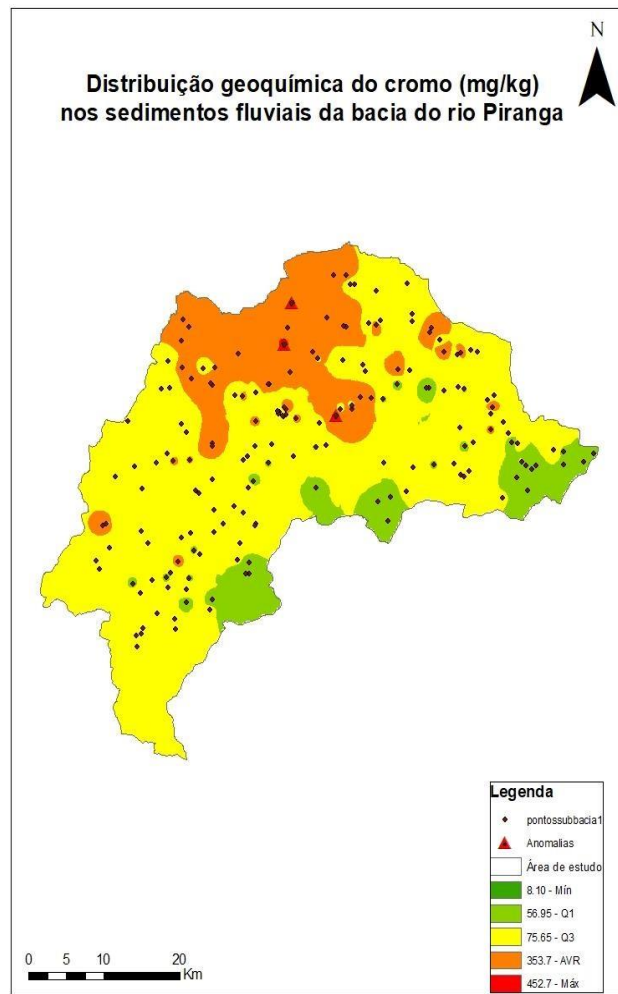


Figura 3.8: Mapa de interpolação geoquímica para o Cromo.

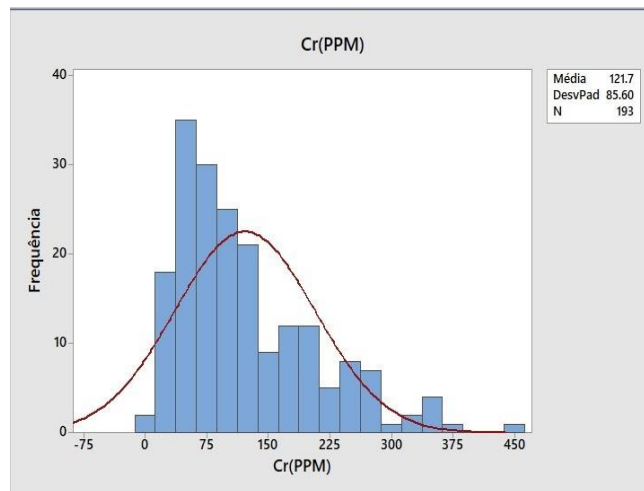


Figura 3.9: Histograma das análises estatísticas para o Cromo.

3.5 Ferro

O ferro é um dos elementos químicos que estão mais abundantes na natureza. Os principais minerais portadores de ferro são os silicatos piroxênios, anfibólios e biotita, os carbonatos siderita e ancerita, os óxidos e hidróxidos hematita, magnetita e goethita. Esse elemento geralmente está associado com o manganês, cálcio e magnésio, através dos carbonatos, piroxênios e olivinas (Santos 1997). Braga (1980) descreve que para as rochas ígneas os minerais contendo ferro são os piroxênios, anfibólios e as micas ferromagnéticas, além de sulfetos e óxidos como a hematita, a magnetita, a ilmenita, a pirrotita e a pirita, e entre as rochas sedimentares encontram-se os arenitos. Há também a presença desse elemento nos micagnaises, micaxistos e cloroxistos (Parra 2006).

Em relação ao mapa geoquímico do Fe (Figura 3.10), observa-se uma maior distribuição espacial dessas anomalias na porção sudoeste da bacia, e ainda algumas anomalias na porção nordeste da mesma. 66,6% das amostras com teor maior do que o alto valor de referência estão associadas ao Complexo Ressaquinha, e as demais à Suíte Catas Altas da Noruega e também ao Grupo Nova Lima. O Complexo Ressaquinha é representado por rochas granitóides com composição diorítica a tonalítica e metagabros, formando protomilonitos e gnaisses bandados quando deformados (Raposo 1991, Queiroz 2018). Esses granitóides caracterizam-se pela alta porcentagem de plagioclásio, anfibólio e pequenas quantidades de quartzo, além disso, também ocorrem minerais máficos como os clinopiroxênios (Jesus 2002). A Suíte Catas Altas da Noruega abrange rochas metamáficas e o Grupo Nova Lima abriga rochas metavulcânicas ultramáficas, máficas. Aparecem ainda nesse grupo formação ferrífera constituída por camadas de quartzo, carbonato de Fe e magnetita, além de grauvaca, rochas quartzo-anqueríticas, quartzitos sericíticos e conglomerados xistosos (Dorr II 1957).

As menores concentrações encontram-se na porção sudeste e estão inseridas na Suíte Brás Pires, Suíte Catas Altas da Noruega e ao Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.

As concentrações de Fe nos sedimentos de corrente variaram de 6900,00 a 231400,00 ppm, apresentando uma concentração média de 55456,00 ppm (Figura 3.11). A faixa determinada como alto valor de referência se estende de 67900,00 a 116650,00 ppm, indicando teores anômolos de até 198% acima do valor calculado para esse elemento.

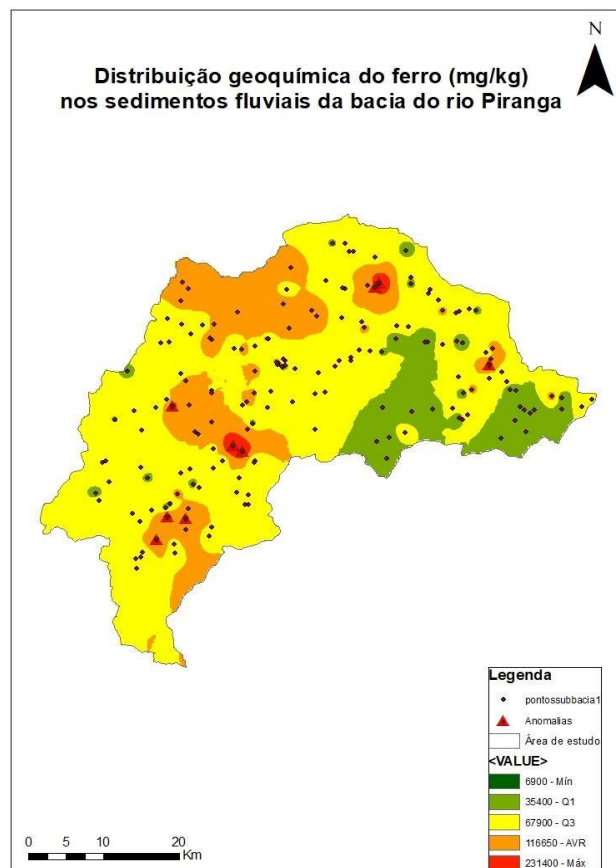


Figura 3.10: Mapa de interpolação geoquímica para o Ferro.

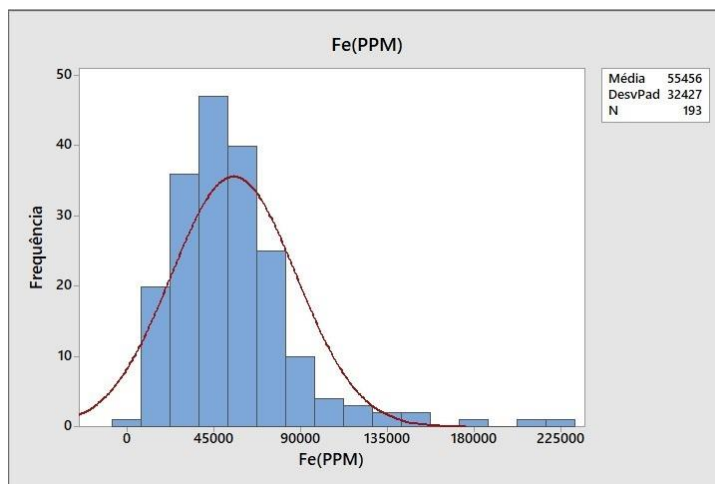


Figura 3.11: Histograma das análises estatísticas para o Ferro.

3.6 Manganês

O manganês é um metal que geralmente está associado ao ferro. Os principais minerais de manganês são a pirolusita e a rodocrosita. O manganês é encontrado em rochas basálticas, ricas em

olivinas, piroxênios e anfibólios. Também podemos encontrar o manganês, em menor quantidade, na dolomita e no calcário, substituindo o cálcio (Wedepohl 1978).

Verificou-se através do mapa de interpolação geoquímica abaixo (Figura 3.12), que 17% das amostras de sedimentos apresentaram valores considerados anomalias geoquímicas para o manganês. Essas estão localizadas na porção oeste da bacia, onde 7 delas pertencem ao Complexo Ressaquinha, 3 estão inseridas no contexto geológico da Suíte Alto Maranhão, 2 ao Grupo Nova Lima, 2 ao Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, 1 à Formação Saramenha, e 1 à Suíte Brás Pires.

Como citado anteriormente, as principais litologias presentes no Complexo Ressaquinha são rochas quartzo-feldspáticas, que apresentam composição diorítica a tonalítica, marcadas pela alta porcentagem de plagioclásio, anfibólio e quartzo em menores quantidades (Raposo 1991). Na Suíte Alto Maranhão temos três divisões que englobam a área de estudo, sendo o trondhjemito Ribeirão Pinheirinho, descrito por Jordt-Evangelista (2000), marcado por trondhjemitos de composição cálcio-alcalina, o tonalito- trondhjemito Serra do Carmo, unidade formada por leucognaisses constituídos por albita ou albita-oligoclasio e quartzo, com predomínio de plagioclásios (Queiroz 2018), e o Sienito Piranga, composto por sienito, quartzo sienito e gnaisses sieníticos recortados por aplitos graníticos (Jordt-Evangelista et al. 2000, citado por Queiroz 2018).

O Grupo Nova Lima é representado segundo Ladeira (1980) por três unidades, sendo elas, da base para o topo, uma unidade metavulcânica, uma metassedimentar química e uma metassedimentar clástica. O Complexo Santo Antônio do Pirapetinga engloba os gnaisses leucocráticos, a Formação Saramenha, é composta por biotita xistos, clorita xistos, granada xistos, quartzitos, metapelitos, filitos carbonosos, mármore dolomíticos, BIFs, metadiamicritos, metagrauvas e paragnaisses.

Destacam-se áreas com as menores concentrações a Suíte Brás Pires, as rochas metamáficas da Suíte Catas Altas da Noruega e no Complexo da Mantiqueira.

Os sedimentos dos tributários da Bacia do Piranga apresentaram teores de manganês entre 62,00 e 6440,00 ppm, e o alto valor de referência para o Mn abrange o intervalo de 90,00 a 1717,75 ppm como observado no histograma abaixo (Figura 3.13).

O maior valor encontrado na bacia representa um total de 375% maior do que o valor dado pelo alto valor de referência.

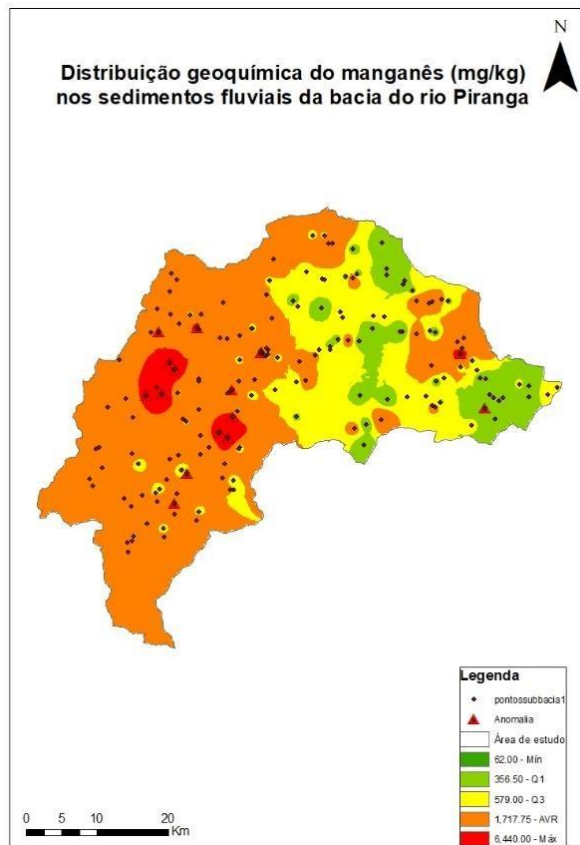


Figura 3.12: Mapa de interpolação geoquímica para o Manganês.

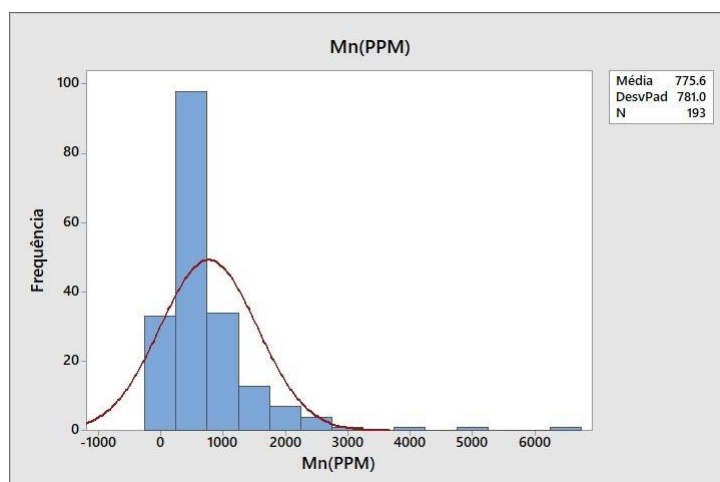


Figura 3.13: Histograma das análises estatísticas para o Manganês.

3.7 Níquel

O níquel é um elemento raramente encontrado na crosta terrestre, considerado um metal pesado de alta toxicidade, e geralmente está combinado com enxofre, antimônio ou arsênio. É um constituinte significativo de rochas contendo misturas de minerais lateríticos e sulfetados. Esse metal sempre está

relacionado com o magnésio, assim é esperado que todas as rochas ultramáficas que contém altos teores de magnésio, também apresentem concentrações elevadas de níquel (Wedepohl 1978).

As concentrações anômalas de níquel se estendem por toda a bacia, mas os maiores teores estão na região norte. Foram encontradas 14 amostras anômalas, das quais quatro pertencem aos gnaisses leucocráticos, duas à Suíte Catas Altas da Noruega, duas à Formação Saramenha, duas à Suíte Alto Maranhão, uma ao Granitóide Cupim, uma à Suíte Brás Pires, uma à Suíte Santa Rita, e o maior teor anômalo ao Grupo Nova Lima. Em contrapartida, as menores concentrações desse elemento estão localizadas na porção sudeste, pertencentes à Suíte Brás Pires e ao Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.

Os valores encontrados para o Ni variam de 1,60 a 156,40 ppm, e pelo cálculo do alto valor de referência consideramos as concentrações maiores do que 68,92 ppm como anomalias geoquímicas. Os valores de Q1 e Q3 são 13,30 e 35,55 ppm respectivamente.

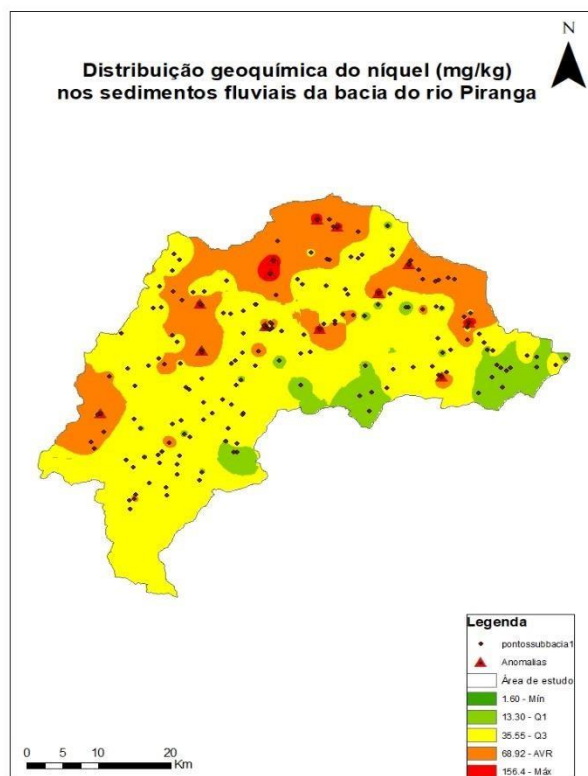


Figura 3.14: Mapa de interpolação geoquímica para o Níquel.

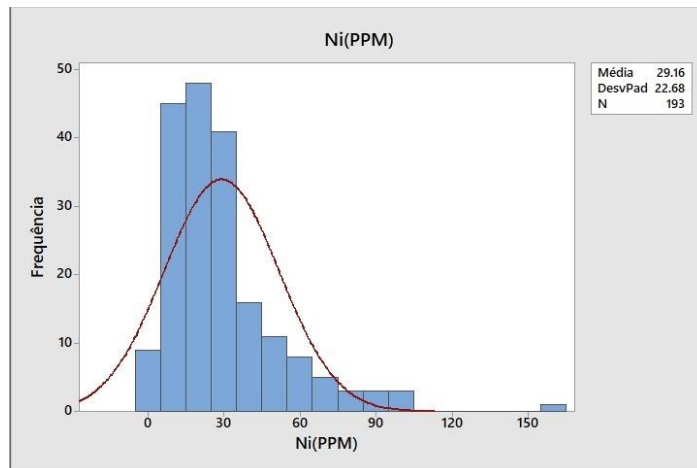


Figura 3.15: Histograma das análises estatísticas para o Níquel.

3.8 Chumbo

O Chumbo é um elemento do grupo dos calcófilos amplamente distribuído na natureza, tendo como principais fontes os veios sulfetados. Os principais minerais com disponibilidade nesse elemento são a galena, cerussita, anglesita e a piromorfita.

As amostras analisadas apresentam chumbo em concentrações variando entre 5,78 e 49,8 ppm. Esse metal ocorreu em maiores proporções na região sudeste da Bacia, podendo estar relacionada com o Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, Grupo Nova Lima, Depósitos Aluvionares, Complexo Córrego Taioba, e a maior concentração à Formação Saramenha. As menores concentrações por sua vez, se encontram na porção noroeste inserida no Complexo Ressaquinha e nos gnaisses leucocráticos do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.

Foram consideradas anomalias geoquímicas as amostras que atingiram valores acima do alto valor de referência, ou seja, valores maiores do que 25,72 ppm sofreram contaminação antrópica ou é um resultado do *background* da região. No tratamento estatístico dos dados, foram encontrados os valores de 9,55 e 16,02 ppm para o Q1 e o Q3 respectivamente.

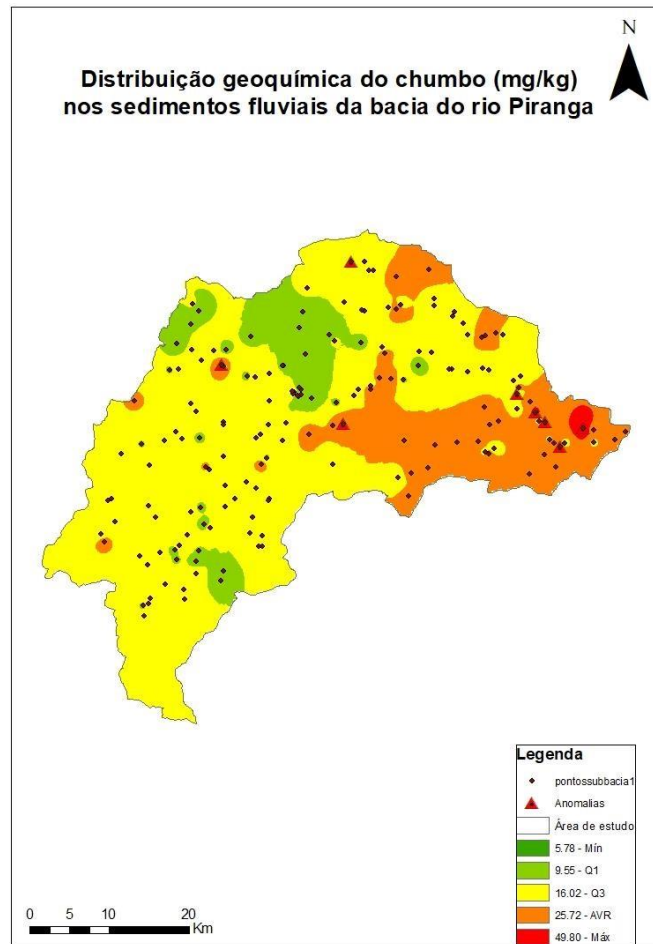


Figura 3.16: Mapa de interpolação geoquímica para o Chumbo.

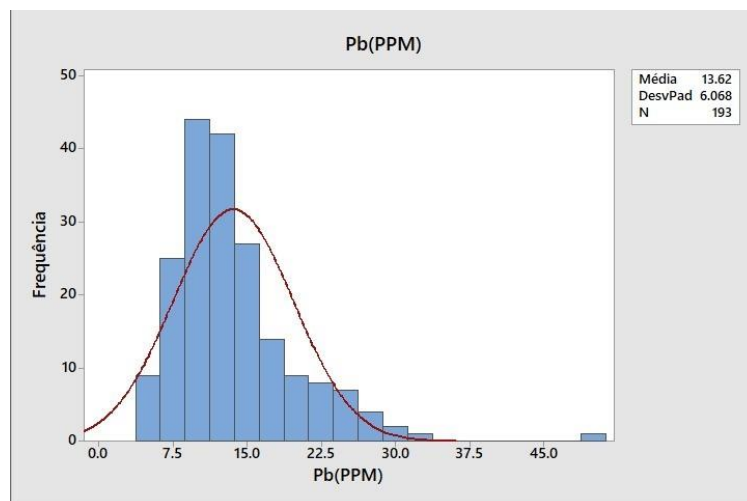


Figura 3.17: Histograma das análises estatísticas para o Chumbo.

3.9 Zinco

Esse elemento é considerado um metal traço, geralmente encontrado associado à esfarelita, um sulfeto de zinco. Os teores presentes em amostras de sedimentos de corrente geralmente podem estar associados com a biotita e a magnetita (Parra 2006).

O zinco pode substituir o ferro e o manganês em silicatos e óxidos. Minerais de argila, óxido de ferro e substâncias orgânicas podem conter zinco, mesmo quando ocorrem distantes de rochas fonte com altas concentrações de zinco (Wedepohl 1978, Parra 2006).

Na Bacia do Rio Piranga os sedimentos analisados apresentaram concentrações variando entre 5,20 e 112,70 ppm e os valores maiores do que 75,82 ppm são considerados anomalias geoquímicas. Foram identificadas quatro amostras com teores anômalos para o zinco, sendo essas a CCH625, CCH418, CCH366 e CCH35. Duas dessas estão localizadas na porção central da área de estudo, incluída no contexto geológico do Complexo Ressaquinha e a outra no Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, a mostra localizada na região noroeste está inserida na Suíte Alto Maranhão e por fim, na região sudoeste pertencente ao Complexo Ressaquinha. Por outro lado, as menores concentrações desse elemento foram coletadas na porção leste do mapa e a maioria pertencente aos gnaisses do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.

No tratamento dos dados, o valor de Q1 foi calculado 25,45 ppm e para o Q3 45,60 ppm.

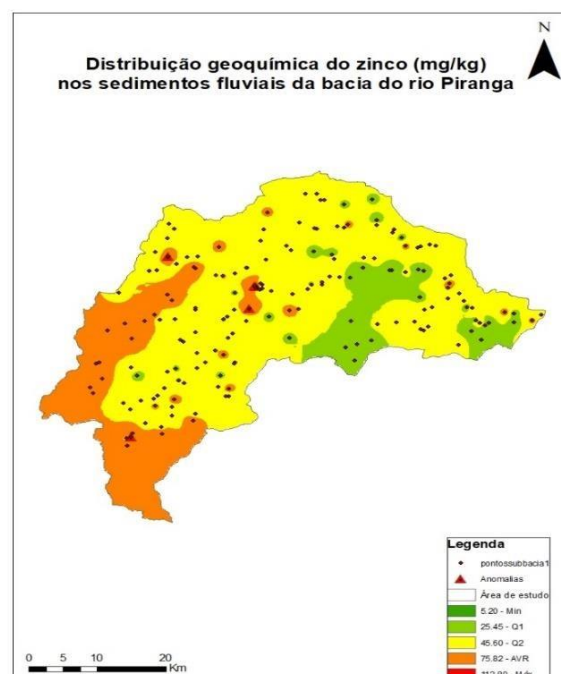


Figura 3.18: Mapa de interpolação geoquímica para o Zinco.

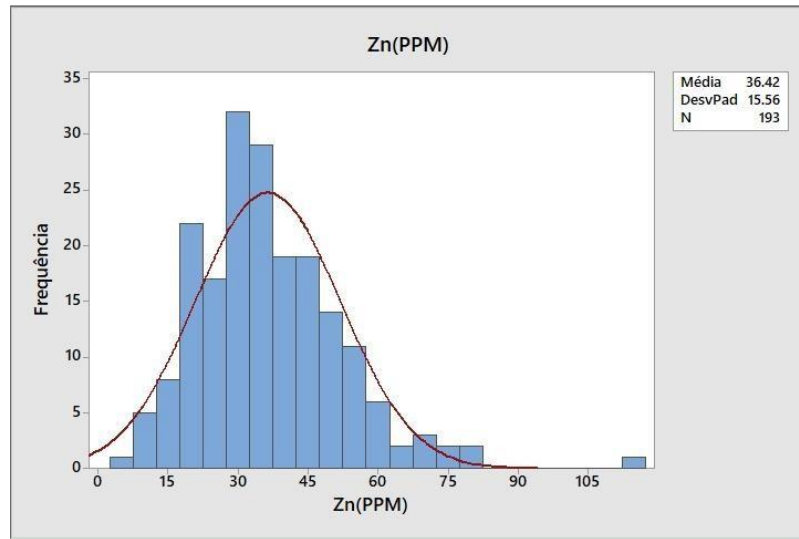


Figura 3.19: Histograma das análises estatísticas para o zinco.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS

Considerando a existência de concentrações elevadas de elementos potencialmente tóxicos na área de estudo, como As, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni e Zn a seguir será realizada a análise da qualidade desses sedimentos por meio da aplicação dos índices geo-ambientais descritos anteriormente. Além disso, será apresentado também a taxa de violação das concentrações desses elementos em relação à CONAMA 454/12.

A tabela 4.1 a seguir apresenta os valores máximos, mínimos e médios dos índices utilizados para as amostras que foram consideradas como anomalias para os elementos descritos anteriormente.

Tabela 4.1: Estatística básica de valores anômalos para cada elemento.

	As		Cd		Cr		Fe	
	FE	FC	FE	FC	FE	FC	FE	FC
Min.	5,00	3,20	0	0	5,08	3,04	1885,00	821,00
Méd.	10,57	8,34	0	0	21,98	15,44	9235,00	6602,00
Máx.	28,65	20,86	0	0	119,24	53,89	84396,00	27548,00
	Mn		Ni		Zn		Cu	
	FE	FC	FE	FC	FE	FC	FE	FC
Min.	7,00	7,38	5,01	1,00	5,00	3,00	5,00	3,02
Méd.	87,90	92,33	10,22	3,85	8,28	4,99	8,30	4,73
Máx.	2114,50	766,67	35,74	18,61	24,42	13,41	26,43	14,52

Foram confeccionados ainda mapas indicando a localização dos pontos de coleta onde os valores para os índices de geoacumulação – fator de enriquecimento e o fator de contaminação – foram obtidos valores considerados anômalos (Figura 4.1):

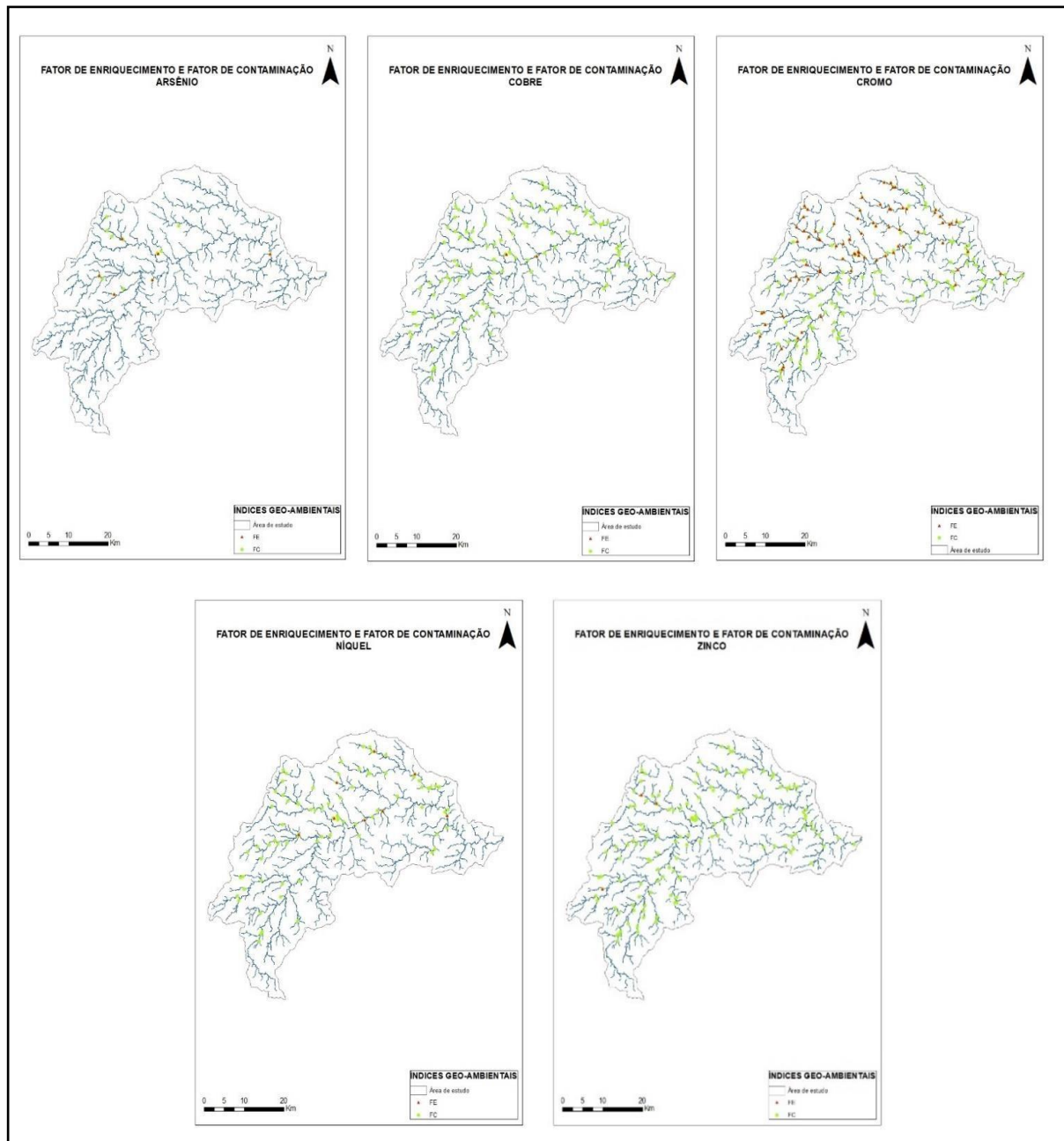


Figura 4.1: Mapa índices geo-ambientais: fator de enriquecimento e fator de contaminação.

4.1 Fator de Enriquecimento

Os valores do FE para as anomalias de As variaram de 5,00 até 28,65 ppm (Tabela 4.0), sendo os maiores valores observados na região do Grupo Nova Lima e na Formação Saramenha. Do total de 193 amostras analisadas, 18 dessas apresentaram um enriquecimento significativo, e duas delas apresentaram um enriquecimento muito alto (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Fator de enriquecimento para o arsênio.

Parâmetro FE	FE (As)
FE < 2 Deficiência de enriquecimento	154
FE = 2 – 5 Enriquecimento moderado	19
FE = 5 – 20 Enriquecimento significativo	18
FE = 20 – 40 Enriquecimento muito alto	2
FE > 40 Enriquecimento extremamente alto	0
Total das amostras	193

Para o Cádmiio, não foram encontrados valores de FE, motivo pelo qual o valor de *background* calculado para esse elemento se encontra abaixo do limite de quantificação.

O valor de FE para as anomalias de Cr variou de 5,08 a 119,24 ppm de acordo com a tabela 4.0 acima, sendo que de 193 amostras, 107 apresentaram um enriquecimento significativo, 45 um enriquecimento muito alto, e 25 um enriquecimento extremamente alto, como podemos observar na Tabela 4.3. Das anomalias extremamente altas, a sua maioria se encontra inserida na Suíte Alto Maranhão e no Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.

Tabela 4.3: Fator de enriquecimento para o cromo.

Parâmetro FE	FE (Cr)
FE < 2 Deficiência de enriquecimento	0
FE = 2 – 5 Enriquecimento moderado	16
FE = 5 – 20 Enriquecimento significativo	107
FE = 20 – 40 Enriquecimento muito alto	45
FE > 40 Enriquecimento extremamente alto	25
Total das amostras	193

O Ni contém os maiores valores inseridos na região do complexo Santo Antônio do Pirapetinga e também na Suíte Santa Rita. Os valores do FE para esse elemento variaram de 5,01 até 35,74 ppm (Tabela 4.4), sendo que de sua totalidade, 58 apresentaram um enriquecimento significativo, enquanto 6 apresentaram um enriquecimento muito alto (Tabela 4.4).

Tabela 4.4: Fator de enriquecimento para o níquel.

Parâmetro FE	FE (Ni)
FE < 2 Deficiência de enriquecimento	46
FE = 2 – 5 Enriquecimento moderado	83
FE = 5 – 20 Enriquecimento significativo	58
FE = 20 – 40 Enriquecimento muito alto	6
FE > 40 Enriquecimento extremamente alto	0
Total das amostras	193

O manganês apresentou FE entre 62,00 e 6440,00 ppm, e todas as amostras analisadas apresentam um fator de enriquecimento classificado acima de significativo. Como mostra a Tabela 4.5, 160 dessas são consideradas como fator de enriquecimento extremamente alto. Sendo assim, esse elemento apresenta um enriquecimento ao longo de toda bacia.

Tabela 4.5: Fator de enriquecimento para o manganês.

Parâmetro FE	FE (Mn)
FE < 2 Deficiência de enriquecimento	0
FE = 2 – 5 Enriquecimento moderado	0
FE = 5 – 20 Enriquecimento significativo	7
FE = 20 – 40 Enriquecimento muito alto	26
FE > 40 Enriquecimento extremamente alto	160

Total das amostras	193
--------------------	-----

O ferro tem um comportamento semelhante ao manganês, todas as amostragens realizadas para esse elemento apresentaram um enriquecimento extremamente alto (Tabela 4.6). De acordo com a tabela 3.1, o menor valor para esse elemento foi 6900,00 variando até 231400,00.

Tabela 4.6: Fator de enriquecimento para o ferro.

Parâmetro FE	FE (Fe)
FE < 2 Deficiência de enriquecimento	0
FE = 2 – 5 Enriquecimento moderado	0
FE = 5 – 20 Enriquecimento significativo	0
FE = 20 – 40 Enriquecimento muito alto	0
FE > 40 Enriquecimento extremamente alto	193
Total das amostras	193

O zinco apresentou duas amostras com enriquecimento alto, ambas pertencentes ao complexo Santo Antônio do Pirapetinga. Os valores anômalos para esse elemento variaram de 5,00 até 24,42 conforme tabela 3.2 e da sua totalidade, 102 apresentaram um enriquecimento significativo, e duas um enriquecimento muito alto (Tabela 4.7).

Tabela 4.7: Fator de enriquecimento para Zinco.

Parâmetro FE	FE (Zn)
FE < 2 Deficiência de enriquecimento	5
FE = 2 – 5 Enriquecimento moderado	84
FE = 5 – 20 Enriquecimento significativo	102
FE = 20 – 40 Enriquecimento muito alto	2

FE > 40 Enriquecimento extremamente alto	0
Total das amostras	193

Por fim, para o cobre, obtivemos valor mínimo de 5,00 ppm e máximo de 26,43 ppm para esse elemento, e um total de 68 amostras apresentando enriquecimento acima de significativo (Tabela 4.8). Dessas amostras que apresentaram enriquecimento muito alto, uma pertence ao Complexo Santo Antônio do Pirapetinga e a outra à Suíte Santa Rita.

Tabela 4.8: Fator de enriquecimento para o cobre.

Parâmetro FE	FE (Cu)
FE < 2 Deficiência de enriquecimento	23
FE = 2 – 5 Enriquecimento moderado	102
FE = 5 – 20 Enriquecimento significativo	66
FE = 20 – 40 Enriquecimento muito alto	2
FE > 40 Enriquecimento extremamente alto	0
Total das amostras	193

4.2 Fator de Contaminação

O fator de contaminação calculado para o As teve um total de 15 amostras com notáveis valores anômalos para esse índice (tabela 4.9), sendo que destas, 6 apresentaram considerável contaminação e 9 apresentaram contaminação elevada. Os valores médios encontrados para esse elemento foram de 8,34 ppm como observado na tabela 4.1, enquanto o valor máximo encontrado foi de 20,86 ppm. As amostras com valores considerados contaminação elevada se encontram relacionados em sua maioria no Complexo Ressaquinha, se estendendo também pela Formação Saramenha e pelo Grupo Nova Lima.

Tabela 4.9: Fator de contaminação para o arsênio.

Parâmetro FC	FE (As)
--------------	---------

Pouco Contaminado	145
Contaminação Moderada	33
Considerável Contaminação	6
Contaminação Elevada	9
Total de amostras	193

Para o cobre, os valores do fator de contaminação variaram de 4,73 a 14,52 ppm. Considerando as amostras com considerável contaminação a contaminação elevada (Tabela 4.10), obtivemos um total de 106 amostras. As amostras com valores considerados como contaminação elevada estão distribuídas por grande parte da bacia, tendo maiores concentrações no Complexo Santo Antônio do Pirapetinga e nas rochas da Suíte Alto Maranhão.

Tabela 4.10: Fator de contaminação para o cobre.

Parâmetro FC	FE (Cu)
Pouco Contaminado	12
Contaminação Moderada	75
Considerável Contaminação	85
Contaminação Elevada	21
Total de amostras	193

Como podemos observar a seguir, o cromo apresentou 179 amostras com fator de contaminação considerável a contaminação elevada (Tabela 4.11), sendo que a média desses valores foi de 15,44 ppm enquanto o valor máximo para esse índice foi de 53,89 ppm. As coletas realizadas na Suíte Catas Altas da Noruega e no Complexo Santo Antônio do Pirapetinga apresentaram as maiores concentrações elevadas.

Tabela 4.11: Fator de contaminação para o cromo.

Parâmetro FC	FE (Cr)
Pouco Contaminado	2
Contaminação Moderada	11
Considerável Contaminação	25
Contaminação Elevada	154
Total de amostras	193

Para o Cádmiu, os valores de FC calculados para as 193 amostras deram pouco contaminado. Esse fator pode estar associado aos valores abaixo do limite de quantificação (Tabela 4.12).

Tabela 4.12: Fator de contaminação para o cádmio.

Parâmetro FC	FE (Cd)
Pouco Contaminado	193
Contaminação Moderada	0
Considerável Contaminação	0
Contaminação Elevada	0
Total de amostras	193

O ferro e o manganês obtiveram em toda a bacia um FC elevado (Tabela 4.13). Desses valores calculados, para o ferro encontramos concentrações variando de 821,00 até 27548,00 ppm e uma média de 6602,00 ppm, enquanto para o manganês obtivemos concentrações entre 7,38 e 766,67 ppm e um valor médio de 92,33 ppm como podemos observar na tabela abaixo (Tabela 4.14).

Tabela 4.13: Fator de contaminação para o ferro.

Parâmetro FC	FE (Fe)
Pouco Contaminado	0

Contaminação Moderada	0
Considerável Contaminação	0
Contaminação Elevada	193
Total de amostras	193

Tabela 4.14: Fator de contaminação para o manganês.

Parâmetro FC	FE (Mn)
Pouco Contaminado	0
Contaminação Moderada	0
Considerável Contaminação	0
Contaminação Elevada	193
Total de amostras	193

O zinco apresentou em sua totalidade de mostras com considerável contaminação até uma contaminação elevada (Tabela 4.15) uma média de 4,99 ppm e valor mínimo de 3,00 ppm até um máximo 13,41 ppm. Esses valores estão dispersos por toda a bacia, abrangendo todas as litologias mapeadas na área de estudo.

Tabela 4.15: Fator de contaminação para o zinco.

Parâmetro FC	FE (Zn)
Pouco Contaminado	1
Contaminação Moderada	45
Considerável Contaminação	112

Contaminação Elevada	34
Total de amostras	193

Por fim, para o Ni, foram contabilizadas 88 amostras com considerável contaminação a contaminação elevada (tabela 4.16), dessas, obtivemos um valor médio de 5,55 ppm, mínimo 3,02 ppm e máximo 18,60 ppm.

Tabela 4.16: Fator de contaminação para o níquel.

Parâmetro FC	FE (Zn)
Pouco Contaminado	23
Contaminação Moderada	81
Considerável Contaminação	64
Contaminação Elevada	24
Total de amostras	193

4.3 Classificação segundo a CONAMA 454/12

De modo a entender como as concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn se enquadram frente à legislação nacional regida pela CONAMA 454/12, será discutido a seguir a porcentagem de violações dos elementos analisados. Serão apresentadas as concentrações quanto as violações dos níveis 1 e 2. O nível 1 é caracterizado como sendo o limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota. O nível 2 por sua vez é classificado como o limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota. A tabela abaixo (tabela 4.17) indica os valores em unidade de material seco para cada elemento de acordo com a legislação, e a porcentagem de amostras na região de estudo que apresentaram violação para os níveis 1 e 2.

Tabela 4.17: Níveis de Classificação do material a ser dragado e a porcentagem de violação para cada elemento na região de estudo.

Níveis de Classificação do Material a ser dragado (em unidade de material seco)		Porcentagem de violação	
Nível 1	Nível 2	Nível 1	Nível 2

As	5,90	17,00	33,16%	13,98%
Cd	0,60	3,50	00,00%	00,00%
Cr	37,30	90,00	89,63%	55,95%
Cu	35,70	197	26,42%	00,00
Ni	18,00	35,90	65,26%	24,35%
Pb	35,00	91,3	0,51%	0,00
Zn	123,00	315,00	00,00%	00,00%

O Arsênio teve 33,16% das amostras que violaram o nível 1, enquanto 13,98% violaram o nível 2 da Conama 454/12 e foram classificadas de acordo com os fatores de enriquecimento como enriquecimento significativo a enriquecimento muito alto e fator de contaminação moderado a elevado.

O cromo apresentou de sua totalidade 89,63% das amostras que violaram o nível 1 enquanto 55,95% o nível 2 e apresentou fator de enriquecimento e contaminação muito altos a extremamente altos e muito contaminado respectivamente.

Para o cobre encontramos 51 amostras com violações para o nível 1, o que representa 26,42% das 193 amostras analisadas. Elas foram classificadas também para o fator de contaminação como elevado e fator de enriquecimento significativo a elevado.

Das amostras de níquel, 65,28% ultrapassaram o nível 1 e 24,35% o nível 2 de acordo com as normas para classificação dos materiais a serem dragados. Eles apresentaram também fator de enriquecimento variando de significativo a extremamente alto e fator de contaminação moderada a elevada.

Apenas uma amostra de chumbo apresentou violação no nível um da resolução vigente, o que indica 0,51% das amostras analisadas. Essa amostra também apresentou fator de enriquecimento e fator de contaminação significativo e considerável respectivamente.

Para o Cádmio e o Zinco não encontramos nenhuma amostra violando algum dos níveis de classificação da Conama 454/05.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho possibilitaram identificar ocorrências de concentrações anômalas de elementos químicos potencialmente tóxicos como As, Cr e Ni. As maiores concentrações de As se localizaram na parte central da Bacia, se estendendo até a região centro oeste com Valores de FE e FC variando de enriquecimento significativo a e alto e de contaminado a muito contaminado respectivamente. Essas ocorrências apesar de poderem estar relacionadas com o contexto geológico do Complexo Ressaquinha e do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga, também podem indicar existência de fontes antrópicas considerando o contexto geral da bacia. Para o Cr podemos observar um FC de contaminação elevado em sua grande maioria e um FE significativo a extremamente alto se estendendo por toda a bacia. O Ni apresentou 6 amostras dispersas pela bacia com fator de enriquecimento muito alto e a maioria das amostras com FC considerável a elevada. As concentrações anômalas de ferro e manganês por sua vez se estenderam por toda a bacia, resultado já esperado devido ao contexto geológico da região do Quadrilátero Ferrífero e a associação desses dois minerais.

Os resultados foram ainda comparados com os valores orientados da CONAMA 454/12, e assim como obtido para os índices calculados, as maiores violações para os elementos Cr, Ni e As. Tal análise suporta a hipótese inicialmente proposta da existência de fontes de contaminação por elementos potencialmente tóxicos na área de estudo.

Nesse contexto esse trabalho apresenta potencial de auxílio na gestão da bacia do rio Piranga, indicando os locais de maior atenção à interferência antrópica nos cursos d'água. Uma melhor gestão dos recursos hídricos tem impactos direto na saúde humana e na preservação de plantas e animais presentes no ecossistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albanese S., De Vivo B., Lima A., Cicchella D. 2006. Geochemical background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy). *Journal of Geochemical Exploration*. **93**:21–34.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1977. *Províncias estruturais brasileiras*. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, PB, Atas. SBG. p.363-91.
- Almeida F. F. M. 1977. *O Cráton do São Francisco*. Revista Brasileira de Geociências, **7(4)**:349-364.
- Benedito, G. S. R. 2020. *Arcabouço litoestrutural do setor setentrional do Cinturão Mineiro*. Monografia. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 104f.
- Braga J. M. 1980. *Avaliação da fertilidade do solo*. Edições da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 87 pp.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 2005. Resolução do CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005. Disponível em http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2012. Resolução do CONAMA N° 454 de 1° de novembro de 2012. Disponível em https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materi_alserdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf
- Davis, J.C.S. 2002. *Statistics and Data Analysis in Geology*. 3. ed. New York, 656p.
- Dias, R.C. 2016 *Investigação da Influência dos Sistemas Depositionais na Geoquímica de Sedimentos de Barrancos e Terraços do Rio Piranga – MG*. Monografia. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Dorr II J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *U.S. Geological Survey Professional Paper*. 641-A, 110p
- Dorr II JVN 1964. Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, **59(7)**:1203–1240
- Ferreira, A.M.P.J. 2000. *Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional*. Dissertação. Departamento de Geociências. Universidade de Aveiro. 234f.

Filho, D.B.F., Silva Júnior, J.A. 2009. *Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson*. Revista Política Hoje, Vol. 18, n. 1

Fukuzawa, C. M. 2008. *Influência da litologia nas águas e sedimentos do Rio Piranga – formador do Rio Doce*. Dissertação. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 105 f.

Hasui Y., Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M. de, Bartorelli A. 2012. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Ed. Beca. 900p. Disponível em: http://www.editorabeca.com.br/novosite/documents/livro_detalhe.asp?id=78.

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

Endo, I., Castro, P.T.A., Gandini, A.L. 2019. *Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos*. Belo Horizonte. 3i Editora. 480 p.

JESUS, G.D. 2002. *Geologia da região de Paracatu-Sumidouro, Setor SE, escala 1:10.000, Município de Piranga, MG*. Monografia. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto. 48 p.

Jordt-Evangelista, H., Peres G. G. 1997. *O maciço sienítico de Piranga, Minas Gerais*. In: SBG/Núcleo Minas Gerais, Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 9, Ouro Preto, Boletim **14**: 110-112

King, L.C.1957. *A Geomorfologia do Brasil Oriental*. Rio de Janeiro. IBGE. Revista Brasileira de Geografia. 265 p. il.

Ladeira E. A. 1980. *Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Novas Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Ph.D. Thesis. Universidade de Ontário, Canadá, 272p.

Lancianese, V., Dinelli, E., 2014. Geochemical mapping based on geological units: a case study from the Marnoso -Arenacea Formation (Northern Apennines, Italy). In: *Chemie der Erde/Geochemistry*. Vol. 76. 181-326 p.

Leão, L.P. 2019. *Mapeamento Geoquímico de sedimentos fluviais: diferentes métodos e suas aplicações ambientais*. Tese. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 185f.

Lima, J.O.A. de, Ferreira, C.M., Schmidt, J.C. 1974. *Relatório do Mapeamento do setor G da Geotransversal E-W*. Ouro Preto.

Loska K. and Wiechuła D. 2003. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik reservoir. In: *Chemosphere*. **51**: 723 – 733.

- Machado N., Carneiro M. 1992. U/Pb evidence of late Archean tectonothermal activity on the southern São Francisco shield, Brazil. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **29(11)**:2341-2346.
- Machado Filho L. 1983. *Levantamento de Recursos Minerais*. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro. Levantamento Recursos Naturais,32. 779 p.
- Mapa, F.B. 2015. *Geoquímica multielementar de sedimentos de corrente no estado de São Paulo: abordagem através da análise estatística multivariada*. Dissertação. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 139 f.
- Reimann C. and Garrett R.G. 2005. Geochemical background - concept and reality. *Science of the Total Environment*, **350**:12-27.
- Desaules, A. 2012. Critical evaluation of soil contamination assessment methods for trace metals. *Science of the Total Environment* **426**: 120-131.
- Matschullat J., Ottenstein R., Reimann C. 2000. Geochemical background - can we calculate it? *Environmental Geology*, **39**:990–1000.
- Melo B. B., Ramos M. M. 2018. *Plano de amostragem geoquímica por sedimentos ativos de corrente e concentrados de batéia com o uso de imagens SRTM, na bacia do rio Itapicuru – BA*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 03, Vol. 08, pp. 60-80.
- Parra, R.R. 2006 *Análise geoquímica de água e de sedimento afetados por minerações na bacia hidrográfica do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Dissertação. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 113 p.
- Paz A. R. 2004. Hidrologia Aplicada (Disciplina Ministrada na Universidade Estadual do Rio de Janeiro)
- Queiroz Y. S. 2018. *Petrogênese e geocronologia de xistos pelíticos na região de Pinheiros Altos - Piranga, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Dissertação. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 127 f.
- Raposo F. O. 1991. *Estratigrafia, Petrografia e Petrologia*. In: Raposo F. O. (org.). Rio Espera, Folha SF.23X-B-IV, Estado de Minas Gerais. Brasília, DNPM-CPRM (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil)
- Raposo F.O. 1999. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Ponte Nova- Folha SF.23-X-B*. DNPM – CPRM, 32 p (inédito).

Roeser H. M. P., Polli G.O., Krisotakis K. 1984. *Prospecção Geoquímica No embasamento Se do Quadrilátero Ferrífero, MG. (Folha Barra Longa)*. In: Anuais XXXIII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Rio de Janeiro, Brasil, p. 4552-4560.

Santos, A.C. 1997. *Noções de hidrogeoquímica*. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coord). Hidrogeologia conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM. p. 81-108.

Sharp, W.E., 1987. *Two Basic Rules for Valid Contouring*. Geobyte, Nov. '87. p. 11–15.

Silva D. F. S. 2014. *Petrogênese e Geocronologia do Sienito Piranga, MG*. Monografia. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 127p

Souza S. F. M. 2008. *Geocronologia U-Pb SHRIMP no Complexo Mantiqueira na região entre Juiz de Fora e Santos Dumont, sudeste de Minas Gerais*. Tese. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 266 p.

Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name *Eart Sciences Review*, **12**:1-33

Sutherland R.A. 2000. Bed sediment associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, **39**:611–627.

Teixeira W. 1985. Geochronology of the southern part of the São Francisco Craton. *Rev. Bras. Geoc.* **12**:268- 277.

Vasconcelos S. 2021. *Introdução a Análise de Componentes Principais (ACP)*. Disponível em: <http://www.ic.uff.br/~aconci/PCA-ACP.pdf> > acessado em 28 dez..

Vieira R. R., Gonçalves C. C., Gonçalves L. 2020. *Evidências da colocação sintectônica de plutons revelada por estudos de campo, petrográficos, microestruturais e de química mineral: estudo de caso da Suíte alto maranhão (2130 ma), cinturão mineiro*. Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ 43, 376–396.

Wedepohl, K. H. 1978. *Handbook of Geochemistry*. Vol. II/ 1, 2,3,4 e 5. Springer Velag. Berlin, Heidelberg, New York.