



**Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental
Mestrado em Engenharia Ambiental**

CONTRIBUIÇÕES PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA PARTE MÉDIA E INFERIOR DA BACIA DO RIO PIRACICABA - MG

Autora: Isabella Figueiredo Lopes da Silva

Ouro Preto, MG.

2010.

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Mestrado em Engenharia Ambiental

Isabella Figueiredo Lopes da Silva

**“CONTRIBUIÇÕES PARA O DIAGNÓSTICO
AMBIENTAL DA PARTE MÉDIA E INFERIOR DA
BACIA DO RIO PIRACICABA – MG”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro
Preto, como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título: “Mestre em Engenharia Ambiental –
Área de Concentração: Recursos Hídricos”

Orientador: Hubert Mathias Peter Roeser

Co-orientadora: Maria Célia Silva Lanna

Ouro Preto/março de 2010

S586c Silva, Isabella Figueiredo Lopes da.
Contribuições para o diagnóstico ambiental da parte média e inferior da
Bacia do Rio Piracicaba – MG [manuscrito] / Isabella Figueiredo Lopes da
Silva - 2010.
xxi, 104f. : il., color; graf.; tabs.; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser.
Co-orientadora: Profa. Maria Célia Silva Lanna.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto.
Mestrado em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Recursos hídricos.

1. Água - Qualidade - Teses. 2. Poluição - Teses. 3. Geoquímica
ambiental - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

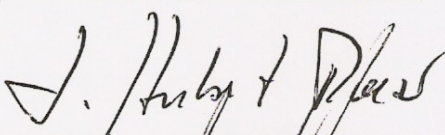
CDU: 628.19(815.1)

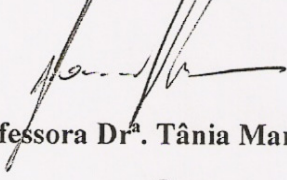
Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

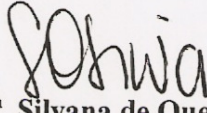
1 **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DA CANDIDATA ISABELLA FIGUEIREDO LOPES DA**
2 **SILVA DO PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

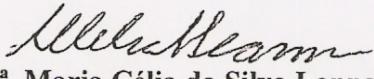
3 Aos vinte e seis dias do mês de março do ano de dois mil e dez às 14:00 horas, na sala 98 da Escola de
4 Minas /UFOP, em Ouro Preto/MG, foi instalada a 95ª sessão de defesa pública da dissertação
5 intitulada "*Contribuições para um diagnóstico ambiental da parte média e inferior da bacia do rio*
6 *Piracicaba*", da candidata *Isabella Figueiredo Lopes da Silva* sendo a banca examinadora composta
7 pelo Professor Dr. Hubert Mathias Peter Roser - UFOP (presidente), Professora Drª. Tânia Mara
8 Dussin - UFMG (membro), Professora Drª. Maria Célia da Silva Lanna - UFOP (membro) e
9 Professora Drª. Silvana de Queiroz Silva - (UFSJ). Dando início aos trabalhos o presidente, com base
10 no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de dissertação, concedeu à
11 candidata *Isabella Figueiredo Lopes da Silva*, 30 (trinta) minutos para apresentação do seu trabalho
12 intitulado "*Contribuições para um diagnóstico ambiental da parte média e inferior da bacia do rio*
13 *Piracicaba*". Terminada a exposição, o presidente da banca examinadora concedeu, a cada membro,
14 um tempo máximo de 30 (trinta) minutos, para perguntas e respostas à candidata sobre o conteúdo da
15 dissertação, na seguinte ordem: 1º Professora Drª. Tânia Mara Dussin, 2º Professora Drª. Silvana de
16 Queiroz Silva, 3º Professora Drª. Maria Célia da Silva Lanna, tendo ele próprio realizado sua arguição
17 em último lugar. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, o
18 presidente solicitou aos presentes que se retirassem do recinto para que a banca examinadora
19 procedesse à análise e decisão. A seguir foi anunciado publicamente que a candidata foi
20 *APROVADA* por unanimidade, condicionando que a versão definitiva da dissertação deverá
21 incorporar todas as exigências da banca, devendo o exemplar final ser entregue no prazo máximo de
22 30 (trinta) dias para o orientador. Para constar foi lavrada a presente ata que, após aprovada, vai
23 assinada pelos membros da banca examinadora.

Ouro Preto, 26 de março de 2010.

24 
25
26 **Presidente: Professor Dr. Hubert Mathias Peter Roeser**

27
28 
29 **Membro: Professora Drª. Tânia Mara Dussin**

30
31 
32 **Membro: Professora Drª. Silvana de Queiroz Silva**

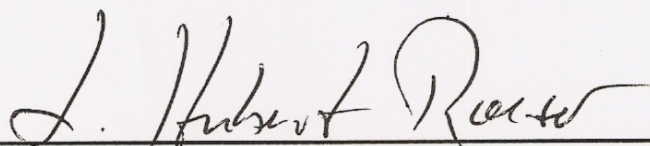
33
34 
35 **Membro: Professora Drª. Maria Célia da Silva Lanna**

 UFOP Universidade Federal de Ouro Preto	Ministério da Educação Universidade Federal de Ouro Preto Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental ICEB - Campus – Morro do Cruzeiro Ouro Preto – MG – CEP 35.400-000 Fone: (031)3559-1725 E-mail: proagua@iceb.ufop.br
---	--

*“Contribuições para um diagnóstico ambiental da parte média e inferior da
bacia do rio Piracicaba”*

Autora: Isabella Figueiredo Lopes da Silva

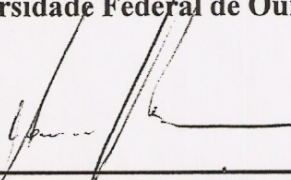
Dissertação defendida e aprovada, em 26 de março de 2010, pela banca examinadora
constituída pelos professores:



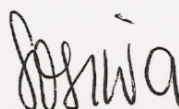
Professor Dr. Hubert Mathias Peter Roeser - Orientador
Universidade Federal de Ouro Preto



Professora Dr.ª. Maria Célia da Silva Lanna – Co-Orientadora
Universidade Federal de Ouro Preto



Professora Dr.ª. Tânia Mara Dussin
Universidade Federal de Minas Gerais



Professora Dr.ª. Silvana de Queiroz Silva
Universidade Federal de São João del Rei

Dedico

À Deus, pelo dom da vida,

Aos meus pais José Walter e Maria Eunice, pela paciência, amor e por serem meu alicerce e me apoiarem durante toda essa jornada,

Às minhas irmãs Cecília e Thaiane, por todo o carinho e amizade,

Às minhas avós e a toda a minha família, em especial a Natalia e Manoela, por alegrarem meus dias,

E finalmente...ao meu companheiro Breno, por todo o amor e por fazer e ser parte da minha vida, para sempre. Te amo!

Agradecimentos

Ao Professor Dr. Hubert Mathias Peter Roeser, pela orientação e grandes ensinamentos.

À Professora Dra. Maria Célia Silva Lanna, pelo enorme apoio e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto.

À Fundação Gorceix, pela bolsa concedida.

Ao IGAM e em especial ao FHIDRO, pela imensurável experiência e conhecimentos adquiridos.

A todos que me ajudaram nas coletas e experimentos, meu muito obrigada: Luis Felipe Cherem (DEGEO), funcionários e bolsistas do Laboratório de Geoquímica Ambiental do DEGEO, Laboratório de Microbiologia do ICEB e Laboratório de Saneamento Ambiental da Escola de Minas da UFOP, locais onde foram realizados todos os experimentos. Agradeço também a todos os funcionários e bolsistas destes laboratórios que me auxiliaram nas análises, em especial a: Ivan Cezarini, Marli, Luis (Microbiologia) e Adriana Trópia, Louise Mendes, Celso, Sarah, Caroline e Fernanda (LGqA).

Aos meus amigos e amigas de Coronel Fabriciano e de Ouro Preto.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho: meu muito obrigada!

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vi
ÍNDICE	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE ANEXOS	xvii
LISTA DE NOTAÇÕES/ABREVIATURAS	xviii
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação.....	1
1.2 – Objetivos.....	7
1.3 – Localização: Área de Estudo	8
1.4 – Aspectos Locais: o Meio Natural	10
1.4.1 – Clima	10
1.4.2 – Vegetação	11
1.4.3 – Relevo	14
1.4.4 – Geologia	15
1.4.5 – Solos	16

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

2.1 – Amostragem	18
------------------------	----

2.1.1 – Amostragem das Águas	20
2.1.2 – Amostragem dos Sedimentos	22
2.2 – Medições <i>in situ</i> e Análises no Laboratório	23
2.2.1 – Parâmetros da Água Analisados <i>in situ</i>	23
2.2.2 – Preparações e Análises das Amostras no Laboratório	23
2.2.2.1 – Análises das Amostras de Água.....	24
2.2.2.1.1 – Análise Química	24
2.2.2.1.2 – Análise Microbiológica	25
2.2.2.2 - Preparação das Amostras de Sedimentos	25
2.2.2.2.1 – Análises Químicas das Amostras de Sedimentos	27

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Significado Ambiental dos Parâmetros e Resultados das Análises de Água.....	28
3.1.1 – Parâmetros Físicos	28
3.1.1.1 – Temperatura	28
3.1.1.2 – Turbidez	29
3.1.1.3 – Condutividade Elétrica	32
3.1.1.4 – Sólidos Totais Dissolvidos	34
3.1.2 – Parâmetros Químicos	35
3.1.2.1 – Alcalinidade	36
3.1.2.2 - Oxigênio Dissolvido	37
3.1.2.3 – pH	38
3.1.2.4 – Sulfatos	39
3.1.2.5 – Cloretos	40
3.1.3 – Parâmetro Biológico: Coliformes Fecais	42
3.2 - Metais e outros Constituintes Iônicos Principais nas Águas	46
3.2.1 – Cátions	48
3.2.1.1 - Cálcio (Ca)	48

3.2.1.2 - Magnésio (Mg)	49
3.2.1.3 – Ferro (Fe)	49
3.2.1.4 - Potássio (K)	51
3.2.1.5 – Sódio (Na)	52
3.2.2 – Principais Constituintes Secundários	53
3.2.2.1 – Alumínio (Al)	53
3.2.2.2 – Bário (Ba)	54
3.2.2.3 - Manganês (Mn)	55
3.2.3 – Outros Elementos	56
3.2.3.1 – Arsênio (As)	57
3.2.3.2 – Cádmio (Cd)	58
3.2.3.3 – Cobre (Cu)	58
3.2.3.4 – Fósforo (P)	59
3.2.3.5 – Enxofre (S)	60
3.2.3.6 – Silício (Si)	60
3.2.3.7 – Estrôncio (Sr)	61
3.2.3.8 – Zinco (Zn)	61
3.2.3.9 - Níquel (Ni)	62
3.2.3.10 – Berílio (Be), Chumbo (Pb), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Escândio (Sc), Ítrio (Y), Lítio (Li), Molibidênio (Mo), Titânio (Ti) e Vanádio (V)	62
3.3 – Diagramas de Correlação nas Águas	62
3.3.1 - Cálcio e Magnésio	63
3.3.2 - Potássio e Sódio	64
3.3.3 - Ferro e Manganês	66
3.4 - Resultados das Análises dos Sedimentos	67
3.4.1 – Elementos Maiores: Alumínio, Potássio e Magnésio	68
3.4.1.1 – Alumínio	68
3.4.1.2 – Potássio	68
3.4.1.3 – Magnésio	69
3.4.2 - Cálcio, Ferro e Manganês	69
3.4.2.1 – Cálcio	69
3.4.2.2 – Ferro	70

3.4.2.3 – Manganês	70
3.4.3 – Metais-Traço	71
3.4.3.1 – Cobalto (Co)	71
3.4.3.2 – Lítio (Li)	72
3.4.3.4 – Vanádio (V)	72
3.4.4 – Outros Metais Pesados	72
3.4.4.1 – Cromo (Cr)	73
3.4.4.2 – Zinco (Zn)	73
3.4.4.3 – Cobre (Cu)	74
3.4.4.4 – Arsênio (As)	74
3.4.4.5 – Chumbo (Pb)	75
3.4.4.6 – Níquel	76
 3.5 – Níveis de Contaminação dos Sedimentos	 76
 3.6 - Diagramas de Correlação nos Sedimentos	 78
3.6.1 - Sódio, Cálcio e Potássio	78
3.6.2 – Cobre e Zinco	79
3.6.3 - Cromo e Níquel	80
 3.7 – A Classificação das Águas segundo Berner & Berner	 82
 3.8 – A Qualidade das Águas da Bacia do Rio Piracicaba	 85
 CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO	 87
 CAPÍTULO 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização da Bacia do Rio Piracicaba em relação à Bacia do Rio Doce e à Minas Gerais	4
Figura 1.2: Localização dos 15 sítios amostrais na Bacia do Rio Piracicaba	9
Figura 1.3: Mapa do Clima da Bacia do Rio Piracicaba	11
Figura 1.4: Mapa da vegetação da Bacia do Rio Piracicaba	12
Figura 1.5: Mapa esquemático de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Piracicaba	13
Figura 1.6: Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Piracicaba	14
Figura 1.7: Formação Geológica do Quadrilátero Ferrífero (mapa simplificado)	16
Figura 1.8: Mapa de Solos da Bacia do Rio Piracicaba	17
Figura 2.1: Encontro do Rio Piracicaba com o Rio Doce	19
Figura 2.2: Local de coleta no Sítio IFRP-15: Ribeirão Ipanema	20
Figura 2.3: Amostrador vertical de água tipo <i>Limmus</i>	21
Figura 2.4: Coleta de sedimentos	22
Figura 2.5: Amostrador de sedimentos, draga tipo Birge-Ekman	23
Figura 2.6: Amostras dos sedimentos em estágio de secagem	26

Figura 2.7: Amostras de sedimentos peneiradas com as diferentes frações granulométricas	26
Figura 3.1: Variação sazonal da temperatura na Bacia do Rio Piracicaba	28
Figura 3.2: Variação sazonal da turbidez na Bacia do Rio Piracicaba	30
Figura 3.3: Relação entre a condutividade e os sólidos totais dissolvidos nas águas da Bacia do Rio Piracicaba no período chuvoso	33
Figura 3.4: Relação entre a condutividade e os sólidos totais dissolvidos nas águas da Bacia do Rio Piracicaba no período seco	33
Figura 3.5: Variação sazonal da condutividade elétrica na Bacia do Rio Piracicaba	34
Figura 3.6: Variação sazonal dos STD na Bacia do Rio Piracicaba	35
Figura 3.7: Variação sazonal da alcalinidade na Bacia do Rio Piracicaba	36
Figura 3.8: Variação do nível de OD na Bacia do Rio Piracicaba	37
Figura 3.9: Variação sazonal do pH na Bacia do Rio Piracicaba	39
Figura 3.10: Variação sazonal da concentração de sulfato (SO_4^{-2}) na Bacia do Rio Piracicaba	40
Figura 3.11: Variação sazonal da concentração de Cloreto (Cl^-) na Bacia do Rio Piracicaba	41
Figura 3.12: Colônias com brilho verde metálico, ágar EMB	43
Figura 3.13: Variação sazonal do nível de coliformes fecais na Bacia do Rio Piracicaba	44

Figura 3.14: Rio Piracicaba, assoreamento devido às atividades garimpeiras e desmatamento	47
Figura 3.15: Rio Piracicaba: assoreamento e desmatamento	47
Figura 3.16: Variação sazonal da concentração de cálcio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	48
Figura 3.17: Variação sazonal da concentração de magnésio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	49
Figura 3.18: Variação sazonal da concentração de ferro nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	51
Figura 3.19: Variação sazonal da concentração de potássio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	52
Figura 3.20: Variação sazonal da concentração de sódio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	53
Figura 3.21: Variação sazonal da concentração de alumínio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	54
Figura 3.22: Variação sazonal da concentração de bário nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	55
Figura 3.23: Variação sazonal da concentração de manganês nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	56
Figura 3.24: Correlação positiva entre os elementos cálcio e magnésio no período chuvoso, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	64

Figura 3.25: Correlação positiva entre os elementos cálcio e magnésio no período seco, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	64
Figura 3.26: Correlação Positiva entre os elementos Sódio e Potássio no período seco, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	66
Figura 3.27: Correlação Positiva entre os elementos Sódio e Potássio no período chuvoso, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	66
Figura 3.28: Correlação Positiva entre os elementos Manganês e Ferro no período chuvoso, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	67
Figura 3.29: Correlação Positiva entre os elementos Manganês e Ferro no período seco, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba	67
Figura 3.30: Correlação Positiva entre os elementos Na, Ca e K no períodos chuvoso, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracaba	78
Figura 3.31: Correlação Positiva entre os elementos Na, Ca e K no períodos seco, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba	79
Figura 3.32: Correlação Positiva entre os elementos Cu e Zn no período chuvoso, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba	80
Figura 3.33: Correlação Positiva entre os elementos Cu e Zn nos período seco, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba	80
Figura 3.34: Correlação Positiva entre os elementos Cr e Ni no período chuvoso, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba	82
Figura 3.35: Correlação Positiva entre os elementos Cr e Ni no período seco, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba	82

Figura 3.36: Classificação do Rio Piracicaba comparada com outros rios de regiões tropicais	84
--	-----------

Figura 4.1: População humana com contato direto com as águas do Ribeirão Ipanema	89
---	-----------

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição dos sítios amostrais da Bacia do Rio Piracicaba em classes de usos preponderantes de acordo com a D. N. COPAM nº 9/1994 e de acordo com as características das águas apresentadas, para o parâmetro Turbidez 31

Tabela 2: Distribuição dos sítios amostrais da Bacia do Rio Piracicaba em classes de usos preponderantes de acordo com a D. N. COPAM nº 9/1994 e de acordo com as características das águas apresentadas, para o parâmetro coliforme termotolerante 45

Tabela 3: Valores TEL e PEL apresentados para os elementos As, Cd, Pb, Cu, Cr, Zn e Ni 77

Tabela 4: Tabela 4 – Comparação dos resultados dos parâmetros físico-químicos obtidos com valores permissíveis pela Resolução CONAMA 357/05 85

Tabela 5: Trechos dos rios possuidores de parâmetros característicos das águas doces classe 3 86

LISTAS DOS ANEXOS

ANEXO 1: Coordenadas geográficas dos sítios amostrais	100
ANEXO 2: Teores dos elementos encontrados nas amostras de água no período chuvoso (verão)	101
ANEXO 3: Teores dos elementos encontrados nas amostras de água no período seco (inverno)	102
ANEXO 4: Teores dos elementos encontrados nas amostras de sedimentos no período chuvoso (verão)	103
ANEXO 5: Teores dos elementos encontrados nas amostras de sedimentos no período seco (inverno)	104

LISTA DE NOTAÇÕES/ABREVIATURAS

APA – Área de Proteção Ambiental

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

CVRD – Companhia Vale do Rio Doce

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DEGEO – Departamento de Geologia

DN – Deliberação Normativa

EMB – Eosina Azul de Metileno

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

LGqA – Laboratório de Geoquímica Ambiental

GPS – Global Positioning System

ICP/EOS - Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IQA – Índice de Qualidade de Água

LQ – Limite de Quantificação

OD – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial de Saúde

ORP – Potencial de oxi-redução

pH – Potencial Hidrogeniônico

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

TDS – Sólidos Totais Dissolvidos

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância

UPGRH – Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos

Realizou-se a determinação de parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade das águas, bem como a geoquímica dos sedimentos da parte média e baixa da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba em duas diferentes estações: seca e chuvosa. Nesta região a economia é baseada em três atividades interligadas: grandes projetos de mineração (minério de ferro), reflorestamento com a monocultura de eucaliptos e siderurgias de grande porte. Essas atividades em geral necessitam muito de água no processo de produção, bem como no lançamento dos seus rejeitos, o que poderiam ser possíveis causas da contaminação desta área. Detectaram-se altas concentrações de coliformes fecais, e altos níveis de arsênio, cádmio e cobre nas águas de alguns sítios analisados, acima do permitido pela legislação ambiental. Também em relação aos sedimentos, encontraram-se altíssimos níveis de arsênio, cádmio, cobre, zinco, cromo e níquel em valores que, de acordo com a Resolução CONAMA N°. 344 de 25 de março de 2004, espera-se observar algum efeito adverso na biota com maior frequência. Em relação aos elementos químicos analisados nas águas e nos sedimentos do rio, pode-se concluir que a presença da maioria está intimamente ligada à formação litológica da área pesquisada. Isso é evidenciado pelas correlações positivas encontradas, tanto nas águas, como nos sedimentos. Porém, em alguns casos, poluição de origem antropogênica não pode ser descartada como possíveis causas. Os dados encontrados poderão contribuir para o entendimento da dinâmica do sistema e para a escolha de medidas de manejo e recuperação, que são essenciais em toda a Bacia do Rio Piracicaba. Conhecer a qualidade da água disponível é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. Considerando-se que na Bacia do Rio Doce vivem aproximadamente 3,5 milhões de pessoas, procuram-se cada vez mais informações sobre a qualidade de suas águas e eventuais fontes de poluição. Assim, um estudo mais detalhado das condições ambientais do Rio Piracicaba como um importante formador do Rio Doce é de extrema importância para a detecção destas fontes de contaminação e poluição.

Determinations of chemical-physical and biological parameters of the water quality, as well as the geochemical composition of the sediments of the middle and low part of the Hydrological basin of the Rio Piracicaba were carried out. The investigations were made in the drying time as well as in the rainy season. In the region the economy is based on three interconnected activities: great projects of mining (iron ore), reforestation with the eucalyptuses monoculture and big ironworks. These activities in general need a lot of water in its production process, as well as also by the removal of the residues, what might be possible causes of the contamination of the area. High concentrations of coliforms faecal were found and high levels of arsenic, cadmium and copper in the waters were detected. They are above the allowed ones by the environmental legislation. Also in the sediments, very high contents of arsenic, cadmium, copper, zinc, chrome and nickel were found. These values can cause, in accordance with the Resolution CONAMA 344/04, some adverse effect in the biota with bigger frequency. Regarding the chemical elements analyzed in the waters and in the sediments of the river, it is possible to conclude that the presence of the majority is intimately connected with the lithology of the investigated area. This appears in the positive correlations between themselves, in the water samples as well as in the sediments. However, in some cases, human pollution cannot be discarded as possible causes. The considered data will be able to contribute to the understanding of the dynamic one of the system and for the choice of measures of handling and recuperation, which are essential in the whole Basin of the Rio Piracicaba. To know the quality of the available water is very important for the management of the hydro- resources. Considering, that in the Basin of Doce River approximately 3,5 million people live, more and more information about the water quality and possible causes of its pollution become necessary. So, more detailed studies of the environmental conditions of the Rio Piracicaba, which is an important former of the Doce River, are of extreme importance for the detection of such causes of contamination and pollution. Such future investigations can base themselves on them here compiled data, as well as on those of other projects.

1.1 - APRESENTAÇÃO

A água é um elemento essencial para o planeta. As primeiras formas de vida surgiram na água, e as formas terrestres surgidas posteriormente somente conseguiram sobreviver à medida que puderam desenvolver mecanismos que lhes permitiram retirar água do meio e retê-la em seus próprios organismos. A evolução dos seres vivos sempre foi dependente da água.

A água é muito abundante na Terra. Todavia, quase toda ela é salgada e imprópria para a grande maioria das necessidades humanas. O total de águas salgadas é de aproximadamente 97,5% de toda a água existente no globo terrestre. A água doce representa uma pequena parcela, 2,5% das águas do planeta. Três quartos encontram-se armazenados nos gelos e geleiras das regiões polares e quase um quarto está no subsolo. A água existente nos lagos, nos solos, na atmosfera, nos rios e nos seres vivos totaliza, somente, cinco milésimos do total de água doce (BARROS & AMIN, 2008).

Em vista do exposto acima, o uso adequado dos recursos naturais, principalmente dos hídricos vem sendo considerado de grande importância, pois a água desempenha importantíssima função em quase todas as atividades humanas, econômicas, sociais, culturais e até religiosas (FELDMANN, 1992).

Durante muito tempo, a idéia de abundância serviu de suporte à cultura do desperdício da água, à não realização dos investimentos necessários para seu uso e proteção mais eficientes. FARIA (2004) destaca que os problemas de escassez decorrem da combinação do crescimento exagerado das demandas e da degradação da qualidade das águas, principalmente a partir da década de 1950, com a aceleração do processo de urbanização, industrialização e expansão agrícola.

Diante desse contexto de escassez e desperdício, tem-se realizado muitos estudos buscando-se a melhoria da quantidade e/ou da qualidade dos recursos hídricos. Uma prática bastante utilizada para investigar o problema da redução da qualidade da água para os seus diversos usos, levando à identificação das fontes poluidoras, é o estabelecimento de indicadores de qualidade de água (físicos, químicos e biológicos). PEDROSO *et al.* (1998) relaciona as características das águas dos rios como sendo consequência do tipo de solo

que atravessam em suas bacias de drenagem, cobertura vegetal e principalmente, dos diversos tipos de ação antrópica.

Segundo MEYBECK & HELMER (1992) a qualidade do ambiente aquático pode ser determinada através de medidas quantitativas, como determinações físicas e químicas (na água, no material particulado e nos organismos) e/ou testes bioquímicos e biológicos, como testes de toxicidade e medidas de DBO₅,¹ ou através de medidas semi-quantitativas e qualitativas, tais como inventários de espécies, odor, aspectos visuais, índices bióticos, dentre outros. Estas determinações podem ser realizadas no campo e no laboratório, produzindo diferentes tipos de informações e interpretações técnicas.

O conceito de qualidade do meio ambiente contém certo grau de subjetividade, visto ser um juízo de valor sobre as condições temporais e espaciais de uma determinada realidade ambiental. Existe uma enorme complexidade de fatores determinando a qualidade da água e uma das maneiras de caracterizá-la é associar a qualidade ao uso que se faz do recurso. Decorrendo desse fato, é que a qualidade da água passa do conceito de bom ou ruim para adequada ou inadequada para determinado uso (PHILIP JR. & MARTINS, 2005). A Resolução CONAMA N°. 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, orienta que a classificação dos corpos de água deve ser feita com base nos seus usos preponderantes, incluindo, por exemplo, se os mesmos são destinados à proteção das comunidades aquáticas, pesca amadora, ao abastecimento, irrigação, ao uso industrial, entre outros.

Nas questões que envolvem a gestão dos recursos hídricos, considera-se que o diagnóstico ambiental seja o primeiro passo para conhecer a realidade dos impactos antrópicos. Este diagnóstico é a base para gerar o prognóstico ambiental e promover a integração das análises ambientais, políticas e econômicas que compõem um plano de gerenciamento em uma bacia hidrográfica (CRUZ, 2003). Uma avaliação ambiental, portanto, torna-se um importante instrumento que poderá contribuir não só para a avaliação da qualidade da água, como também para o entendimento da dinâmica do sistema e para a escolha de medidas de manejo e recuperação desse ecossistema (COTRIM, 2006).

A Política Nacional de Recursos Hídricos foi criada pela Lei N°. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que adotou como unidade de planejamento do Sistema de Recursos Hídri-

1 – DBO₅: A DBO₅ de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável, num período de tempo de 5 dias (CETESB, site 2009).

cos a bacia hidrográfica. Esta constitui um sistema natural delimitado, conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, com interações físicas e assim, de mais fácil interpretação.

A Bacia do Rio Piracicaba pertence à Bacia do Rio Doce. Nessa ainda existe carência de pesquisas acerca dos problemas que envolvem recuperação e preservação dos recursos naturais, especialmente os hídricos. Sendo assim, torna-se necessário um estudo de caracterização e diagnóstico visando conhecer a realidade da disponibilidade desses recursos. Neste contexto, insere-se a importância do estudo na parte média e inferior do Rio Piracicaba. Este rio é um dos principais formadores do Rio Doce, porém ainda é muito pouco estudado. É importante observar que a caracterização ambiental proporciona uma visão pró-ativa da região. Afinal, tendo-se em mãos o conhecimento do local é possível que se faça uma análise ambiental preventiva e não apenas uma que busque medidas corretivas.

A Bacia do Rio Piracicaba está localizada na UPGRH – Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – DO2. Nela está instalado o maior complexo siderúrgico da América Latina. O Rio Piracicaba tem uma extensão de 240 km. Nasce na cidade de Ouro Preto e deságua no Rio Doce, na cidade de Ipatinga. Atualmente, atende a uma população de cerca de 800 mil pessoas. A UPGRH DO2 é formada pela Bacia do Rio Piracicaba, e por uma pequena extensão do Rio Doce a jusante da confluência do Rio Piracicaba com o Rio Doce. As principais sub-bacias do Rio Piracicaba são, pela margem esquerda, as do Rio do Peixe e do Rio Santa Bárbara; e, pela margem direita, as do Rio da Prata e do Ribeirão Turvo (IGAM, 2007). Na Figura 1.1 está localizada a Bacia do Rio Piracicaba em relação à Bacia do Rio Doce e em relação à Minas Gerais.

De acordo com o Projeto “Águas de Minas”, realizado pelo IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas, o Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi classificado como médio em 67% e bom em 33% das estações de amostragem do Rio Piracicaba no ano de 2006. Os parâmetros coliformes termotolerantes e turbidez foram os que mais influenciaram estes resultados: a contagem de coliformes termotolerantes apresentou valores acima do limite da legislação ambiental em vários sítios de amostragem. Além disso, os metais manganês total e cobre dissolvido apresentaram concentrações acima dos limites estabelecidos na legislação. A Contaminação por Tóxicos no Rio Piracicaba apresentou piora no ano de 2006, e o parâmetro que influenciou nessa condição foi o cobre dissolvido; este metal provavelmente vem acumulando-se no sedimento deste rio ao longo

dos anos. A sua origem pode estar associada com fábricas e indústrias (por exemplo, materiais cerâmicos e siderúrgicas), pelo revolvimento na época das chuvas.

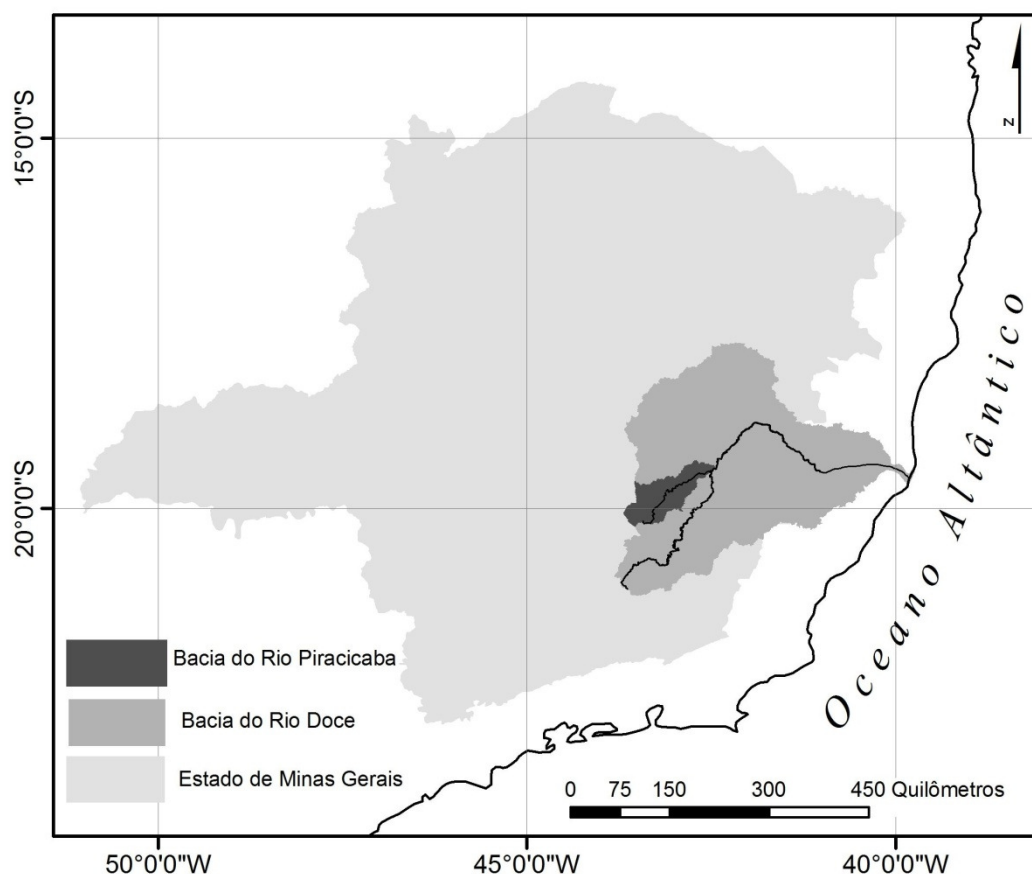


Figura 1.1: Mapa de localização da Bacia do Rio Piracicaba em relação à Bacia do Rio Doce e ao Estado de Minas Gerais.

Para o presente trabalho, foi estudada a parte média e inferior da Bacia do Rio Piracicaba, a partir da Cidade de João Monlevade até a sua desembocadura no Rio Doce, na Cidade de Ipatinga. Nesta região a economia é baseada em três atividades interligadas: grandes projetos de mineração (minério de ferro), reflorestamento com a monocultura de eucaliptos e siderurgias de grande porte. Essas atividades em geral necessitam muito de água no processo de produção e para o lançamento dos seus rejeitos, o que poderia ser uma causa para a contaminação dos rios.

Entre 1989 e 1992 foi realizada uma avaliação das fontes de poluição na Bacia do Rio Doce, através do Projeto Rio Doce (Publicado por IGAM, 2007, item 4.6), devido ao impacto que as mesmas causam nos corpos de água causando prejuízos aos usuários através de restrições aos usos mais nobres das águas na bacia. Verificou-se que a poluição

se concentrou nas áreas mais densamente povoadas. Este trabalho fora desenvolvido a mais de 17 anos. Na época, chegou-se a uma classificação das 30 maiores fontes de poluição da Bacia do Rio Doce, inclusive considerando-se as poluições domésticas oriundas das cidades. Cinco delas localizavam-se na Bacia do Piracicaba: Companhia de Siderurgia Belgo Mineira (hoje ArcelorMittal Aços Longos), Usina Siderúrgica MG S.A. – Usiminas, Companhia Aços Especiais Itabira – Acesita, Usina de Ferro Gusa da Vale (antiga CVRD) e a Cidade de Ipatinga (IGAM, 2007).

No presente estudo foi realizada a caracterização de parâmetros físico-químicos de qualidade das águas, bem como a geoquímica dos sedimentos de parte da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba.

A matéria orgânica, que causa o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), os surfactantes, agroquímicos, fertilizantes, óleos e graxas estão entre os contaminantes encontrados mais freqüentemente nos corpos hídricos. Entretanto, os metais e seus compostos estão presentes em grandes quantidades em resíduos industriais, apresentando relações diretas com ambientes aquáticos e áreas altamente urbanizadas (ANDRADE, 2004).

Os contaminantes, de uma forma geral, chegam ao ambiente aquático em solução ou ligando-se a algum material em suspensão de origem terrestre. Durante este transporte, permanente ou temporário, ocorre um armazenamento dos poluentes nos sedimentos dos rios, lagos, estuários, águas costeiras e oceanos. Desta forma, os sedimentos apresentam um importante papel, pois funcionam como um depósito de poluentes que, mediante processos naturais e de interferência humana, podem ser disponibilizados para a coluna de água por meio de ressuspensão, atingindo os organismos bentônicos e nectônicos (SALOMONS *et al.*, 1987). O seu estudo não somente fornece informações sobre o estado momentâneo da contaminação, mas também um registro recente (superficial) e histórico (testemunhos) do ambiente aquático de onde é extraído, uma vez que suas camadas são depositadas subseqüentemente (SIMÕES, 2007). De modo geral, os sedimentos têm uma alta capacidade de reter espécies químicas orgânicas e inorgânicas e menos de 1% das substâncias que atingem um sistema aquático são dissolvidas em água e, conseqüentemente, mais de 99% são estocadas no compartimento sedimentar (FÖRSTNER, 1995). Assim, este compartimento pode ser considerado uma fonte potencial de poluição difusa dentro do ambiente aquático. Eles refletem a quantidade corrente do sistema aquático e podem ser usados para detectar a presença de contaminantes que não permanecem solúveis após o seu lançamento em águas superficiais. Apesar da importância

dos depósitos de sedimentos na qualidade dos recursos hídricos, apenas recentemente este compartimento vem sendo considerado de alta prioridade em estudos ambientais (FÖRSTNER & WITTMAN, 1983).

Diante desse fato, é evidente a necessidade de avaliação da qualidade da água e dos sedimentos dos rios, uma vez que a presença dos agentes químicos no ambiente sempre representa riscos aos seres vivos em qualquer ecossistema, não existindo, portanto, o que poderia ser chamado de “risco zero” à exposição dessas substâncias (CAIRNS, 1980).

Conhecer a qualidade da água disponível é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. Considerando-se que na Bacia do Rio Doce vivem aproximadamente 3,5 milhões de pessoas, procuram-se cada vez mais informações sobre a qualidade de suas águas e eventuais fontes de poluição. Assim, um estudo mais detalhado das condições ambientais do Rio Piracicaba como um importante formador do Rio Doce é de extrema importância para a detecção destas fontes de contaminação e poluição.

1.2 - OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve por objetivo a caracterização dos parâmetros de qualidade das águas e da geoquímica dos sedimentos da parte média e inferior da Bacia hidrográfica do Rio Piracicaba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Procurou-se alcançar o objetivo geral através dos seguintes objetivos específicos:

- Caracterização dos parâmetros físico-químicos das águas e dos sedimentos *in loco* e em laboratório de todos os sítios amostrados;
- Monitoramento hidro-geoquímico sazonal dos seguintes parâmetros físico-químicos de qualidade de água: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, STD (sólidos totais dissolvidos), ORP (potencial de oxidação e redução), turbidez e alcalinidade.
- Determinação dos seguintes metais pesados e metalóides: Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sc, Si, Sr, Ti, V, Y e Zn nas águas e sedimentos por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS).
- Determinação do número mais provável de organismos indicadores de contaminação fecal recente - *Escherichia coli* - das águas na maioria dos sítios monitorados.
- Verificação das alterações espaciais e temporais na qualidade das águas, tentando ressaltar tendências observáveis.

1.3 – LOCALIZAÇÃO: ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Rio Piracicaba está inserida na Bacia do Rio Doce. A sua área ocupa parte das terras do Quadrilátero Ferrífero e do Vale do Aço. Estas áreas possuem um grande potencial mineral, e por consequência, os problemas ambientais advindos desta atividade nessas regiões são extremamente relevantes, exercendo um forte impacto sobre os recursos hídricos.

O Rio Piracicaba possui uma extensão de 240 km, nasce na cidade de Ouro Preto a 1680m de altitude e deságua na cidade de Ipatinga a 200m de altitude no Rio Doce. Atualmente, atende a uma população de cerca de 800 mil pessoas, residentes nas 20 cidades que integram a Bacia do Rio Piracicaba. São elas: Alvinópolis, Antônio Dias, Barão de Cocais, Bela Vista de Minas, Bom Jesus do Amparo, Catas Altas, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Itabira, Jaguará, João Monlevade, Mariana, Marliéria, Nova Era, Rio Piracicaba, Santa Bárbara, Santana do Paraíso, São Domingos do Prata, São Gonçalo do Rio Abaixo e Timóteo.

Alguns de seus afluentes são os rios Santa Bárbara, Uma, Maquiné, do Prata, de Peixe, Ribeirão Prainha, Bicudo, Onça Grande, Timóteo e Caladão.

No presente trabalho, as coletas de água e sedimentos foram realizadas em 15 sítios, definidos através de visita a área de estudo e também de acordo com condições favoráveis. As coordenadas destes sítios foram estabelecidas (GPS) e em seguida estes foram representados no mapa da região, conforme o mapa da Figura 1.2.

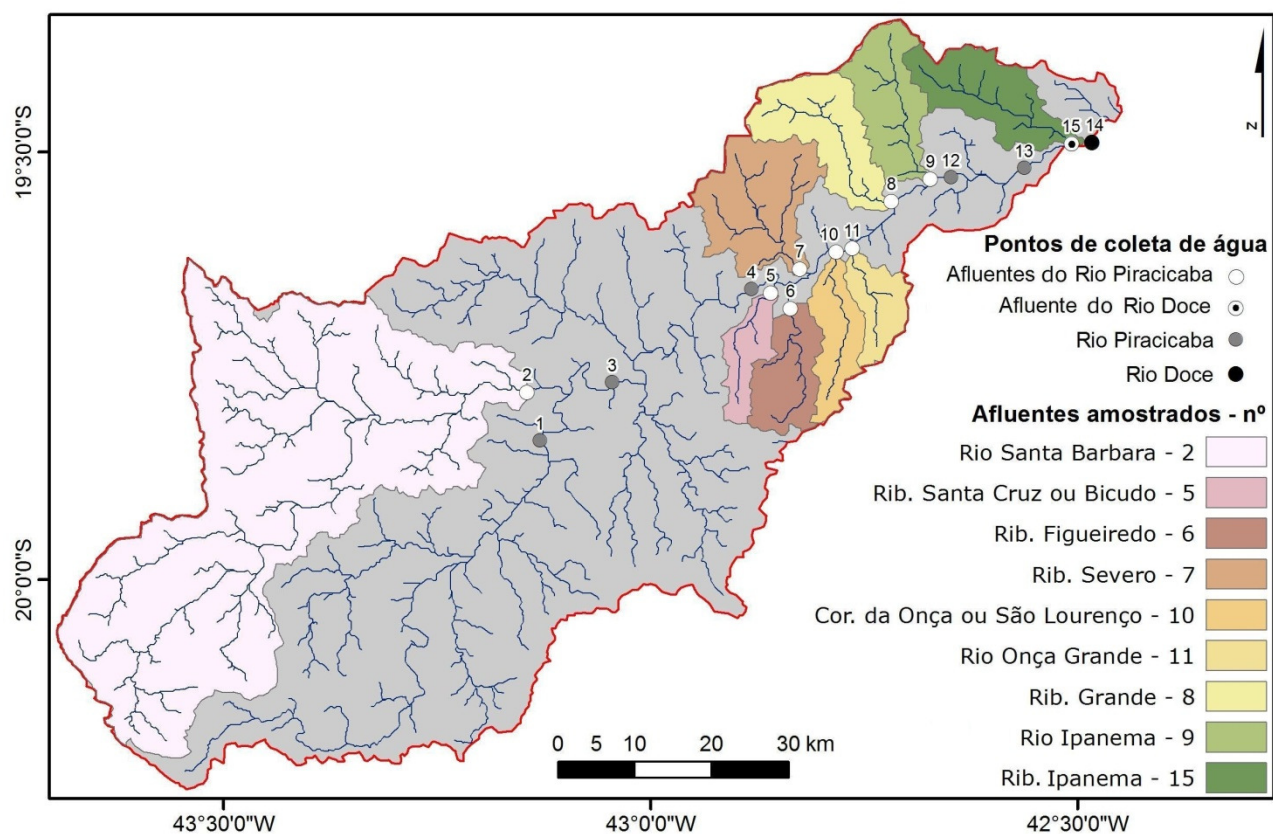


Figura 1.2 – Localização dos 15 sítios amostrais na Bacia do Rio Piracicaba

1.4 – ASPECTOS LOCAIS: O MEIO NATURAL

A Bacia do Rio Piracicaba está inserida na Bacia do Rio Doce. A sua área ocupa parte das terras do Quadrilátero Ferrífero e do Vale do Aço. Trata-se de uma região de topografia acidentada, com o predomínio morfológico de mares de morro. A região possui um quadro natural de Mata Atlântica, um dos mais ricos em biodiversidade do planeta. Com o desmatamento acelerado pelas indústrias siderúrgicas, pela mineração e pela silvicultura, estima-se que hoje menos de 1% da área esteja em estágio primário (FILHO, 1987; TRINDADE, 2007).

1.4.1 – CLIMA

O clima da Bacia do Rio Piracicaba é considerado de transição, pois recebe influência de sua posição latitudinal, dos fenômenos meteorológicos das latitudes médias e tropicais (TRINDADE, 2007).

Na Bacia do Rio Piracicaba encontram-se três variações climáticas sendo elas: clima tropical, clima mesotérmico de verões quentes e o clima mesotérmico de verões brandos. A região sofre influência da continentalidade e da altitude em seu comportamento climático (ATLAS DE MINAS GERAIS *in* TRINDADE, 2007). Na região do médio e baixo Piracicaba (região do presente estudo) predominam os climas mesotérmicos de verões quentes e o tropical, respectivamente, conforme se observa na Figura 1.3.

O clima mesotérmico de verões quentes, presente na maior parte da região do nosso estudo, caracteriza-se por climas tropicais chuvosos e quentes, com ocorrências de chuvas de verão e verões quentes. Neste domínio climático encontra-se uma estação seca bem definida e no período de inverno ocorre o menor índice de pluviometria. Já no período correspondente ao verão a intensidade de chuvas aumenta significativamente, e nesta época a temperatura média é maior que 22°C (AYOADE, 2001).

O clima tropical é caracterizado por duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa. O mês mais frio tem temperatura média superior a 18°C. É uma variação climática de tropical típico com verões chuvosos e invernos secos e quentes. Esta variação climática assim como as demais apresentadas nesta caracterização sofre influências do anticiclone do Atlântico Sul e as instabilidades tropicais (AYOADE, 2001). Esta ocorrência climática ocorre nas imediações do chamado “Vale do Aço”.

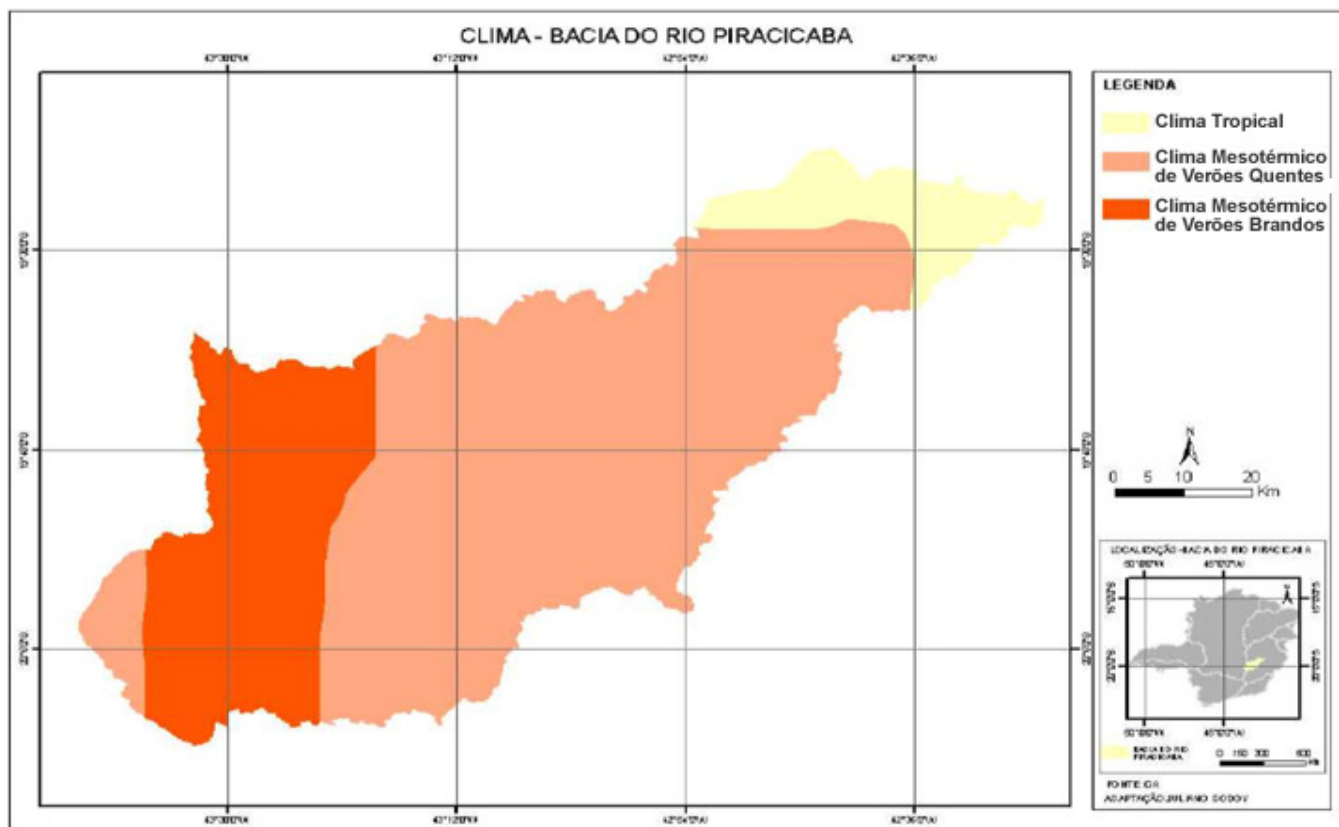


Figura 1.3: Mapa de Clima da Bacia do Rio Piracicaba. Fonte: Atlas de Minas Gerais, versão eletrônica.

1.4.2 – VEGETAÇÃO

A Bacia do Rio Piracicaba localiza-se na área de Mata Atlântica com transição para Cerrado. Devido aos fatores de uso e ocupação do solo, este bioma está praticamente extinto, sendo praticamente encontrado somente nas regiões de áreas de preservação. A Mata Atlântica é um dos biomas mais ricos em biodiversidade do planeta (GUERRA, 2001).

A Figura 1.4 apresenta a vegetação original da bacia. Comparando-a com a Figura 1.5, do mapa atual de uso e ocupação do solo, podemos observar que a paisagem sofreu drásticas mudanças: segundo GUERRA (2001), apenas cerca de 0,2% da área da bacia continua coberta com os remanescentes da Mata Atlântica. O rápido processo de desmatamento foi devido ao predomínio de práticas extrativas predatórias, principalmente pelas indústrias siderúrgicas a carvão vegetal, ao rápido processo de urbanização e ao

manejo inadequado dos solos pelos agricultores e empresas de reflorestamento de eucaliptos.

Nas regiões de topografia elevada, acima dos 1.500m de altitude, encontra-se uma variação na vegetação, os campos de altitudes e os campos rupestres.

Na área da Bacia do Rio Piracicaba encontra-se duas importantes áreas de preservação, o RPPN do Caraça e o Parque Estadual do Rio Doce.

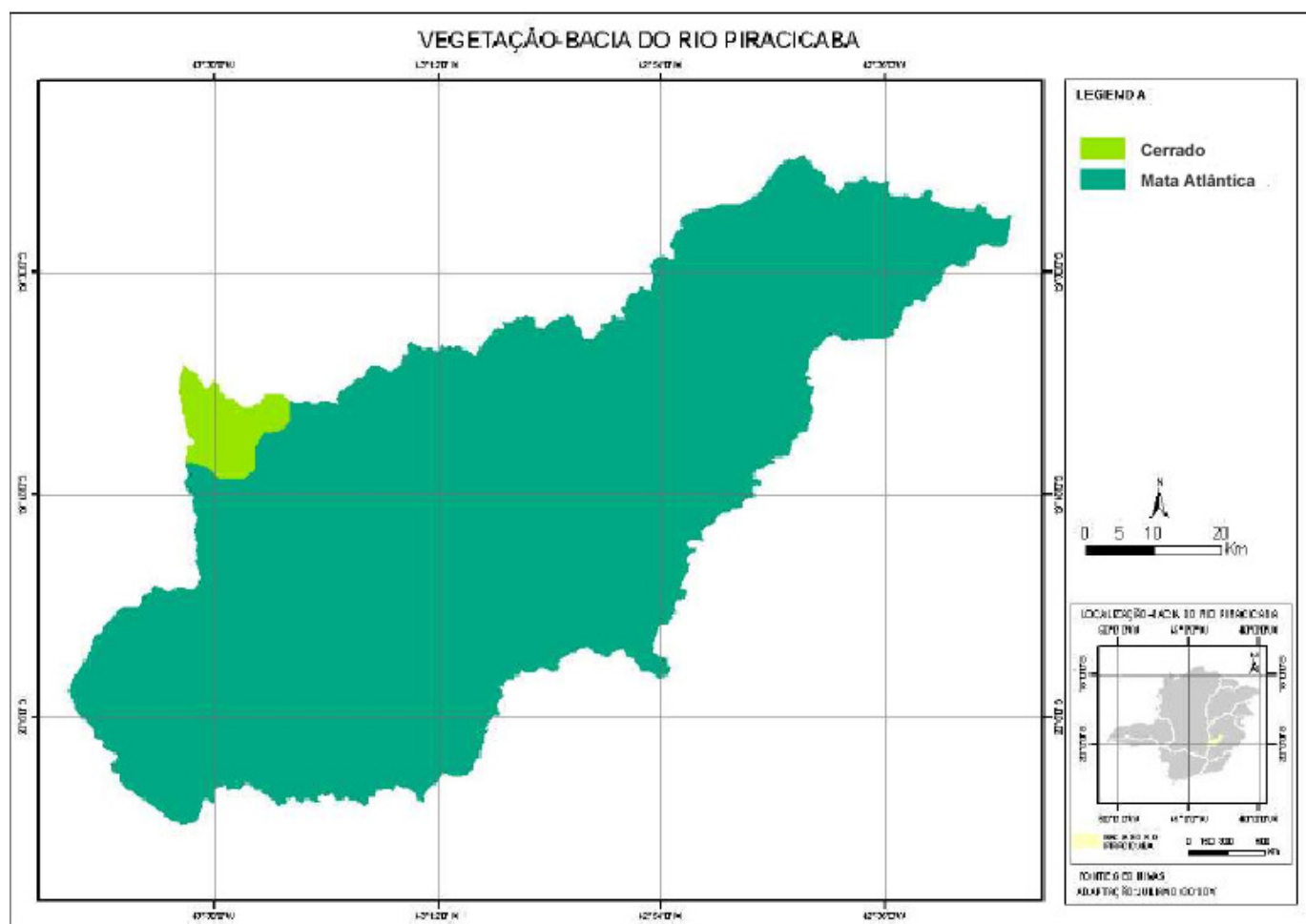


Figura 1.4: Mapa de vegetação da Bacia do Rio Piracicaba. Fonte: Atlas de Minas Gerais – Versão Eletrônica.

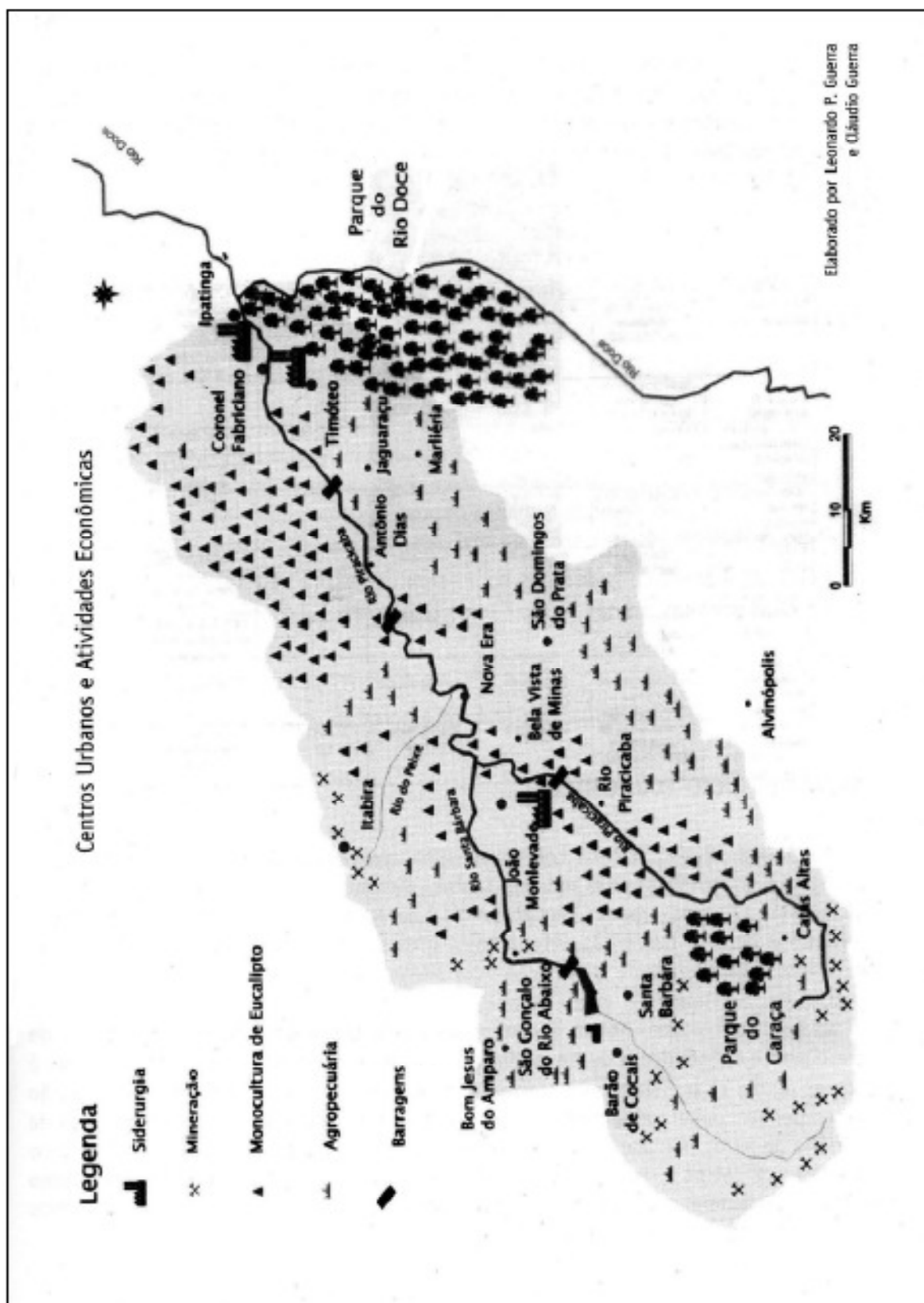


Figura 1.5: Mapa esquemático de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Piracicaba
 Fonte: GUERRA, Cláudio B. Expedição Piracicaba: 300 anos depois. Belo Horizonte: SEGRAC, 2001.

1.4.3 – RELEVO

Segundo GUERRA (2001), o relevo da Bacia do Rio Piracicaba é muito acidentado, com predominância de serras e colinas. Com pouca frequência ocorrem os “vales em V”, dentre os quais o chamado Vale do Aço, na região de sua foz. Neste local, ocorre a presença de serras e uma morfologia ondulada, formando os chamados “mares de morros”.

As formas de relevo encontradas na Bacia do Rio Piracicaba são apresentadas no mapa de geomorfologia: as formas do Quadrilátero Ferrífero, a Serra do Espinhaço, os Planaltos Dissecados do Centro Sul e do Leste de Minas Gerais, como se pode observar na Figura 1.6.

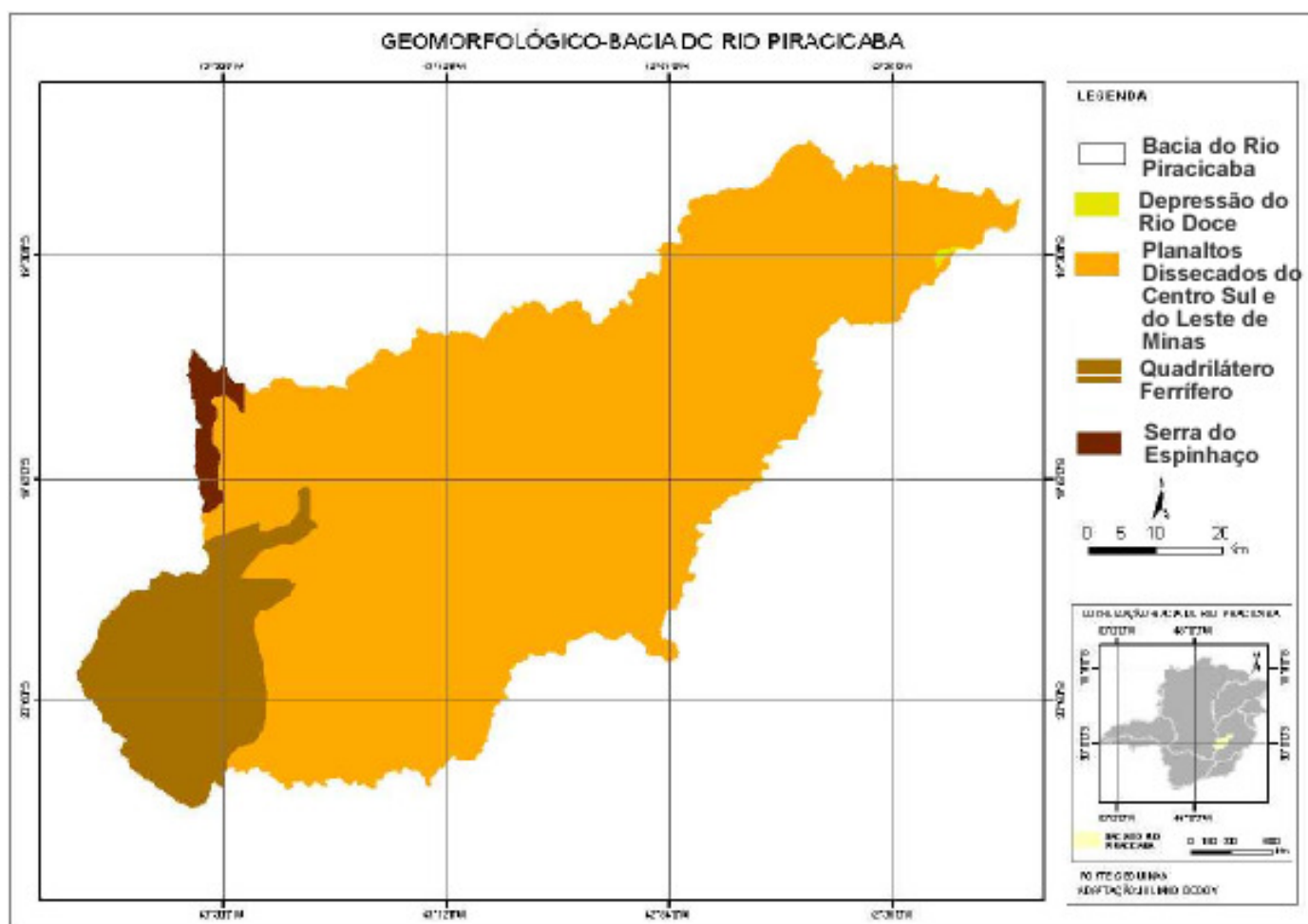


Figura 1.6 - Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Piracicaba

Fonte: Mapa Monográfico do Município de Antonio Dias – UH - Amorim, 1999.

O Quadrilátero Ferrífero é uma formação antiga, apresentado portanto formas já desgastadas. Porém, ainda mantém altitudes elevadas (BARBOSA, 1967).

Na maior parte da Bacia do Rio Piracicaba encontram-se os planaltos dissecados do Centro Sul e Leste de Minas. Esta unidade compõe os planaltos em cinturões orogênicos, na estrutura dos planaltos e serras do Atlântico Leste-sudeste. A morfologia desta área é caracterizada por colinas convexo-côncavas, assemelhando-se a um relevo de “mares de morros” com topografia variável. O aspecto de “mares de morros” das colinas deve-se à composição geológica, formadas por granito-gnaiss, que passaram por vários processos erosivos (A’B SABER, 2003). A área dos Planaltos Dissecados do Centro Sul e Leste de Minas ocupam uma grande extensão da Bacia. Estes planaltos bordejam o Quadrilátero Ferrífero e a Serra do Espinhaço até a Depressão do Rio Doce. A Depressão do Rio Doce ocupa uma pequena área na Bacia do Rio Piracicaba, na região do Vale do Aço, nas proximidades de Timóteo, Coronel Fabriciano e Ipatinga.

1.4.4 – GEOLOGIA

A geologia da Bacia do Rio Piracicaba pode ser dividida em duas partes diferentes: a parte superior é influenciada pelas unidades litológicas do Quadrilátero Ferrífero. A parte inferior posiciona-se principalmente em rochas graníticas da Província Mantiqueira, de acordo com o Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais.

Segundo UHLEIN (2000), no Quadrilátero Ferrífero 95% das estruturas são do Arqueano ou Proterozóico. Conforme observado na Figura 1.7, as rochas do Quadrilátero Ferrífero são agrupadas em três formações, sendo:

- Complexo Granito-Gnaissico (embasamento) de idade arqueana: compostos basicamente por feldspatos, quartos e micas. Essas rochas são intensivamente intemperizadas e freqüentemente transformadas em solos lateríticos. Durante o intemperismo elas liberam principalmente Ca, Mg, K e Na. Esta formação é a que está presente na maior parte da região do presente estudo.

- Supergrupo Rio das Velhas: Um *Greenstone Belt* arqueano, composto principalmente de xistos verdes, metassedimentos clássicos, químicos e unidades metavulcânicas. Neste supergrupo foram encontradas as famosas minas de ouro do Quadrilátero Ferrífero. Durante os processos de mineração são liberados via drenagem ácida os

elementos calcófilos: Ag, As, Pb, Cu, Zn e Cd. Elementos como Cr, Ni e Co são liberados pelo intemperismo das unidades meta-vulcânicas.

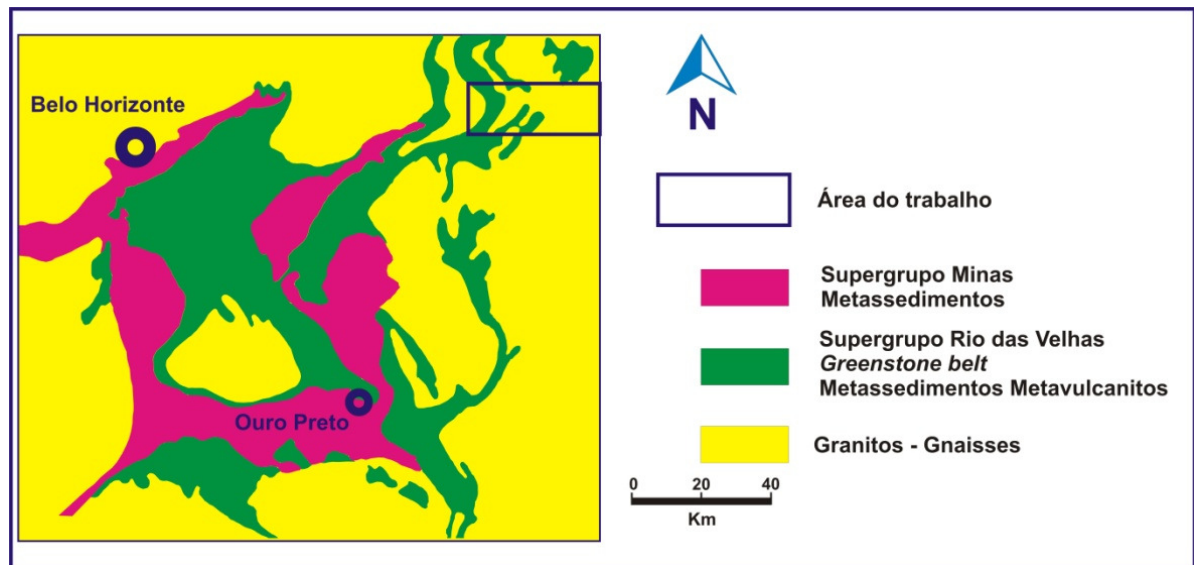


Figura 1.7: Formação Geológica do Quadrilátero Ferrífero (mapa simplificado).

- Supergrupo Minas+Grupo Itacolomi: de idade proteozóica, contém dentro da formação Cauê os itabiritos, nome local das famosas *Banded Iron Formations (BIF)*, minérios de Fe, que representam a riqueza da região. Esses minérios contêm principalmente magnetita, hematita, e quartzo (em alguns casos carbonatos) e podem ter até 70% de ferro no estado mais puro.

1.4.5 – SOLOS

Na Bacia do Rio Piracicaba encontram-se os solos: Latossolo Perférico, Latossolo Vermelho-escuro, Latossolo Vermelho-amarelo, Latossolo-amarelo, Cambissolo, Neossolo Litólico, Argissolo Vermelho-amarelo e Afloramento Rochoso.

Os Latossolos são subdivididos em subordens, e na Bacia do Rio Piracicaba são encontrados na seguinte disposição, conforme o mapa da Figura 1.8:

- Latossolo Perférico: na região do Quadrilátero Ferrífero.
- Latossolo Vermelho-escuro: em uma pequena área no município de São Domingos do Prata e em Itabira.
- Latossolo Vermelho-amarelo: é o solo que ocupa maior extensão na área da Bacia do Rio Piracicaba.

- Latossolo Amarelo: na região do “Vale do Aço”.

O cambissolo é encontrado em locais com o relevo ondulado, nas imediações do Quadrilátero Ferrífero e nos Planaltos Dissecados do Centro Sul e Leste de Minas Gerais.

Na Bacia do Rio Piracicaba o Argissolo é encontrado na região do município de Bom Jesus do Amparo e Barão de Cocais.

Neossolos Litólicos são encontrados no Quadrilátero Ferrífero e nas proximidades da Serra do Espinhaço.

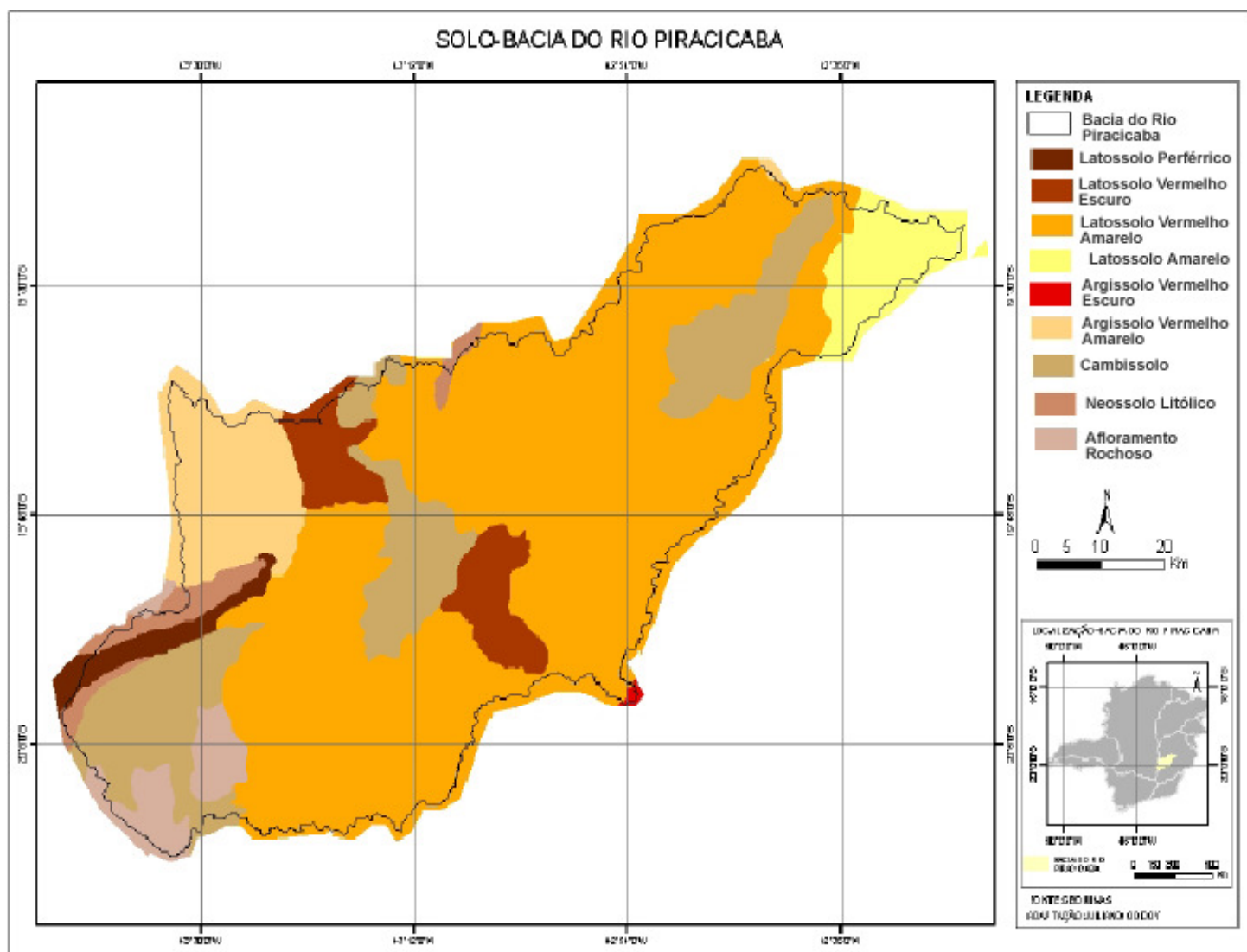


Figura 1.8 - Mapa de Solos da Bacia do Rio Piracicaba

Fonte: Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais – EMATER, 1993.

2.1 – AMOSTRAGEM

Os métodos aplicados durante o trabalho podem ser separados em dois grupos: os trabalhos realizados no campo e os trabalhos realizados nos laboratórios. Fizeram parte dos trabalhos de campo as amostragens e as medidas físico-químicas *in situ*. Já nos laboratório foram realizadas as preparações das amostras para as análises químicas e biológicas, determinados parâmetros físico-químicos adicionais e finalmente analisados os elementos metálicos tanto das águas como dos sedimentos.

Foram realizadas duas campanhas de amostragem de água e sedimentos, durante a estação chuvosa (verão) e seca (inverno), ao longo do Rio Piracicaba, nos seus principais tributários, um sítio no Rio Doce e outro no Ribeirão Ipanema, tributário do Doce (Figuras 2.1 e 2.2). A amostragem durante a estação chuvosa ocorreu em fevereiro de 2009 e a da estação seca no mês de agosto de 2009. Ao adotar essa forma de distribuição das amostragens, procuram-se minimizar as interferências das diferentes épocas climáticas nos resultados das análises físico-químicas em razão do incremento ou diminuição das vazões dos cursos das águas. Em contraposição, se as coletas fossem realizadas em uma única época, os resultados seriam típicos para época das coletas. Nesse caso, as variações temporais não seriam detectadas podendo, nesse caso, apresentar valores irreais.

Os sítios de amostragem foram definidos através de visita à área de estudo, de acordo com as condições favoráveis à coleta e levando-se em conta a distribuição geográfica dos mesmos, para que os resultados fossem representativos. As coordenadas destes sítios foram estabelecidas por GPS e em seguida marcadas no mapa da região (Figura 1.2). Foram definidos 15 sítios de amostragem, sendo 1 no Rio Doce, após a desembocadura do Piracicaba, 1 no Ribeirão Ipanema (tributário do Rio Doce), 6 ao longo do Rio Piracicaba e 7 em alguns de seus tributários: Rio Santa Bárbara, Ribeirão Bicudo, Rio Figueiredo, Ribeirão Severo, Ribeirão Grande, Córrego Onça Grande e Rio Ipanema. As coordenadas geográficas de todos os pontos estão constantes no Anexo 1.



Figura 2.1: Encontro do Rio Piracicaba com o Rio Doce. No canto superior à direita, o Ribeirão Ipanema desaguardo no Rio Doce. Fonte: Google Earth.

Apesar de não pertencer à Bacia do Rio Piracicaba, decidiu-se por fazer a coleta em um sítio de amostragem no Ribeirão Ipanema por ser próximo ao local dos outros pontos de coleta e por estar localizado dentro da cidade de Ipatinga, importante núcleo urbano e que portanto poderia exercer uma forte ação antrópica no sentido de degradação do rio. Perfazendo todo o seu percurso na cidade de Ipatinga, está inserido numa Área de Preservação Ambiental, a APA Ipanema e, de acordo com a Lei Municipal (Ipatinga) N°. 1.535/1997, isso implica na obrigatoriedade da manutenção da qualidade das águas do ribeirão dentro dos padrões conforme as exigências de balneabilidade.



Figura 2.2: Local de coleta no Sítio IFRP-15: Ribeirão Ipanema.

2.1.1 – AMOSTRAGENS DAS ÁGUAS

No laboratório, os frascos plásticos de 60ml e 1.000ml utilizados para coleta de água foram lavados com água de torneira (uma vez), água destilada (duas vezes) e água deionizada (uma vez), nesta ordem. A seguir, foram colocados para secar em estufa, bem como suas respectivas tampas. Depois de secos, foram cuidadosamente fechados, sendo abertos apenas no momento da coleta. As amostras de água foram coletadas de acordo com a metodologia proposta por AGUDO *et al.* (1987). As coletas foram realizadas contra a corrente, fazendo-se ambiente três vezes com a água do rio. As amostras de água foram coletadas sempre antes da amostra de sedimento, para evitar excesso de sólidos em suspensão.

Os frascos de vidro de aproximadamente 300ml utilizados na pesquisa de organismos indicadores de contaminação fecal recente foram previamente esterilizados numa autoclave a 120°C por 30 minutos, embrulhados em papel *craft* e apenas abertos no campo, no momento da coleta.

Dois tipos de amostradores foram utilizados, dependendo da facilidade de coleta da água. Nas áreas onde o acesso era suspenso (caracterizado pela presença de ponte) foi utilizado o amostrador vertical tipo *Limmus* com capacidade de 2,5litros (vide Figura 2.3).

Onde o acesso era possível pela margem do rio, foi utilizado frasco com capacidade de 2,0L, acoplado a uma haste.

Foram coletadas em cada sítio quatro amostras de água:

- a primeira amostra foi coletada em frascos de 1000ml para a determinação de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, STD (sólidos totais dissolvidos), ORP, turbidez e alcalinidade, que foram realizados no campo.

- a segunda amostra foi coletada em frascos de 1000ml para a determinação dos teores de sulfato e cloreto e foram realizados no laboratório.

- a terceira amostra passou já no campo pelo processo de filtração por bomba a vácuo e membranas de filtro de 0,45µm de porosidade e em seguida foi acidificada com ácido nítrico concentrado (HNO₃ 65%) em pH menor que 2. Estas amostras foram acondicionadas em frascos de 60ml para a determinação de metais principais e traços (GREENBERG *et al.* 1992) pelo ICP.

- a quarta amostra foi coletada em frascos de vidro de 300ml, previamente esterilizados, e foram utilizadas na pesquisa de organismos indicadores de contaminação fecal recente, em laboratório.

As amostras de água e sedimento foram identificadas com as letras IFRP-a (período chuvoso) e IFRP-b (período seco) e o número do sítio de amostragem.



Figura 2.3: Amostrador vertical de água tipo *Limbus*.

2.1.2 – AMOSTRAGENS DOS SEDIMENTOS

Entende-se por sedimentos os materiais insolúveis que se depositam no fundo dos corpos de água. Os sedimentos constituem um fator muito importante do sistema aquático, por sua participação no equilíbrio dos poluentes solúveis/insolúveis e por sua maior permanência no corpo de água, sendo, em geral, integradores das cargas poluentes recebidas pelas águas (AGUDO, 1987).

Geralmente os sedimentos de interesse ambiental são aqueles que permanecem nas camadas superficiais e estão finamente divididos (fração $< 200\mu\text{m}$). Assim, em muitos casos, uma retirada de alguns centímetros da camada superficial basta para atender à maioria dos estudos (AGUDO, 1987).

Os sacos plásticos utilizados para coleta de sedimento não necessitaram de preparação prévia. O procedimento de coleta dos sedimentos variou em cada sítio, de acordo com as condições de acesso dos locais. Foi utilizado um amostrador próprio, construído na forma de uma concha de aço inoxidável, fixado na ponta de um bastão de cerca de 1 metro de comprimento (Figura 2.4).



Figura 2.4: Coleta de sedimentos

Alguns sítios de amostragem foram definidos em cima de pontes. Assim, as amostras foram coletadas utilizando-se uma draga tipo Birge-Ekman, equipamento

apropriado para o procedimento (Figura 2.5). O material coletado foi acondicionado em saco plástico, lacrado e identificado.



Figura 2.5: Amostrador de sedimentos, draga tipo Birge-Ekman. Fonte: *site: Hydrobyos.de*

2.2 - MEDIÇÕES *IN SITU* E ANÁLISES NO LABORATÓRIO

2.2.1 – PARÂMETROS DA ÁGUA ANALISADOS *IN SITU*

No local da coleta, foram determinados os seguintes parâmetros: OD, temperatura, pH, condutividade elétrica, STD (sólidos totais dissolvidos), ORP, turbidez e alcalinidade.

Na determinação dos parâmetros Oxigênio Dissolvido e Temperatura foi utilizado um oxímetro modelo Digimed, DM-4P. Por motivo de falha no equipamento, não foi possível determinar o oxigênio dissolvido na segunda campanha de campo.

Os parâmetros pH, condutividade elétrica, STD (sólidos totais dissolvidos), ORP e turbidez foram determinados utilizando-se o multiparâmetro Myron L. Company, Ultrameter II, 6P.

Para a determinação da alcalinidade, foi utilizado o método titulométrico.

2.2.2 – PREPARAÇÕES E ANÁLISES DAS AMOSTRAS NO LABORATÓRIO

2.2.2.1 - ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

No LGqA (Laboratório de Geoquímica Ambiental do DEGEO), foram realizadas determinações de cloreto por titulometria e sulfato pelo método turbidimétrico, seguindo o Procedimento Operacional Padrão do laboratório, baseado nas metodologias propostas por GREENBERG *et al.* (1992), no *Standard methods for examination of water and wastewater*.

Para as determinações de cloreto, foram vertidos 100ml de cada amostra em erlenmeyeres de 250ml, utilizando uma pipeta volumétrica, onde foi adicionado 1ml de cromato de potássio. A solução foi titulada com nitrato de prata. O ponto de “viragem” se deu com a mudança de cor para castanho-avermelhado fraco.

Para a determinação de sulfato foi utilizado o Turbidímetro marca Micronal, modelo B250. Foram vertidos 100ml de cada amostra em erlenmeyeres de 250ml utilizando uma pipeta volumétrica. Na sequência foram pipetados 20ml da solução tampão de ácido sulfúrico 0,02N e adicionados 2g de cloreto de bário. Após agitação durante 2 minutos as amostras foram levadas para leitura no turbidímetro. Por fim, a partir de uma solução padrão de sulfato 100mg/l, foram preparadas soluções diluídas nas concentrações 1, 2, 3 e 4mg/l, onde em cada uma delas foram adicionados 20ml de solução tampão de ácido sulfúrico e 2,0g de cloreto de bário, seguido de agitação. Com os valores obtidos na leitura da turbidez foi construída a curva de calibração plotando-se as leituras de turbidez e as concentrações. Com isso, pela equação obtida por meio de regressão linear foi calculada a concentração de sulfato.

2.2.2.1.1 - ANÁLISE QUÍMICA

Teores dos seguintes metais e metalóides: Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sc, Si, Sr, Ti, V, Y e Zn foram determinados por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS), marca SPECTRO, modelo *Ciros* CCD em operação no LGqA do DEGEO da Universidade Federal de Ouro Preto. Pesquisaram-se todos os elementos citados acima por fazer parte da rotina do LGqA.

O método analítico por ICP-OES é uma técnica de espectrometria de emissão, que explora o fato de que elétrons excitados emitem energia a um determinado comprimento

de onda quando retornam ao estado fundamental. A característica fundamental deste processo é a emissão de energia em comprimentos de onda específicos para cada elemento. Embora cada elemento emita energia em múltiplos comprimentos de onda, na técnica de ICP-OES é mais comum a seleção de um único comprimento de onda (ou alguns) para determinado elemento (ROCHA, 2007).

2.2.2.1.2 - ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Tendo em vista que os coliformes fecais são bioindicadores de contaminação fecal recente, fez-se, neste estudo, uma avaliação do índice de contaminação por *E. coli* nas águas do Rio Piracicaba e em 6 dos tributários analisados, além de um sítio no Rio Doce e outro no Ribeirão Ipanema, tributário do Rio Doce. Nesta avaliação foi utilizada a Técnica de Fermentação em Tubos Múltiplos, que é baseada na habilidade das bactérias coliformes produzirem gás a partir da fermentação da lactose.

Primeiramente foi realizado o teste presuntivo: foram semeados volumes determinados da amostra em tubos contendo caldo lactosado incubados a $35\pm0,5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, ocorrendo uma seleção inicial de organismos que fermentam a lactose com produção de gás. Todos os tubos positivos para este teste foram transferidos para tubos contendo Caldo Bile Verde Brilhante incubados durante 24 horas: este é o teste confirmativo. Por fim, foi realizado o teste de diferenciação para coliformes fecais: foi realizada a transferência das culturas de todos os tubos positivos para tubos contendo Meio E. C., que foram incubados durante 24 horas a $44,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ em banho-maria com agitação e temperatura constantes. Havendo produção de gás e turvação neste meio o resultado será positivo.

O isolamento das amostras de *E. coli* foi feito a partir das amostras positivas no teste confirmativo para coliforme fecal. As amostras foram semeadas em placas de Ágar EMB (Eosina Azul de Metileno), que é um meio seletivo para Enterobacteriaceae, com o auxílio de uma alça bacteriológica. Em seguida foram incubadas por 37°C por 24h.

De todos os sítios amostrados neste trabalho, apenas em três (IFRP: 3, 5 e 9) não foram realizados os testes para coliformes fecais, por perda das amostras durante o transporte.

2.2.2.2 - PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO

No Laboratório de Saneamento Ambiental da Escola de Minas da UFOP as amostras foram colocadas em bacias plásticas para secagem e foram tampadas com papel e secadas ao natural, conforme apresentado na Figura 2.6.



Figura 2.6: Amostras dos sedimentos em estágio de secagem.

Após a secagem, as amostras de sedimento foram quarteadas e peneiradas no Laboratório de Sedimentologia do DEGEO, utilizando-se peneiras com malhas 9 *mesh*, 16 *mesh*, 32 *mesh*, 60 *mesh*, 115 *mesh*, 250 *mesh* e > 250 *mesh*, obtendo-se frações granulométricas 500 μ m, 210 μ m, 149 μ m, 63 μ m e < 63 μ m (Figura 2.7). Como se trata de



Figura 2.7: Amostras de sedimentos peneiradas com as diferentes frações granulométricas.

um estudo ambiental a fração menor que 63µm será utilizada para as análises químicas das amostras de sedimento, considerando que vários estudos indicam que os metais e metalóides estão preferencialmente associados às frações mais finas (FÖRSTNER, 2004).

A fração a ser utilizada para a análise química de digestão total foi levada à estufa por duas horas a fim de se garantir a sua secagem.

2.2.2.2.1 - ANÁLISES QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO

Para a digestão das amostras de sedimento foi utilizado o método digestão total utilizando água régia e ácido fluorídrico (MOUTTE 1990). As amostras de sedimento foram analisadas por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS), marca SPECTRO/ modelo *Ciros* CCD em operação no LGqA/DEGEO/UFOP.

Na digestão total, depois de peneiradas e secas em estufa, pesou-se cerca de 250mg de amostra, no interior de frascos Savillex de peso conhecido.

Em seguida, foram adicionados 3ml de ácido clorídrico 10mol/l seguido de 1ml de ácido nítrico 10mol/l. O frasco aberto com a mistura foi levado para secagem sobre placa aquecedora à uma temperatura de 100°C. Após a secagem, foram adicionados 2ml de ácido fluorídrico concentrado e o frasco aberto foi levado à secagem sobre placa aquecedora à 140°C. Novamente, foram adicionados 2ml de ácido fluorídrico concentrado; o frasco foi fechado e colocado sobre placa aquecedora à 140°C por cerca de 30 horas. Após as trinta horas, o frasco foi retirado da placa, resfriado e aberto; em seguida recolocado sobre a placa aquecedora à cerca de 110°C até a secagem. Foram adicionados 2ml de ácido nítrico 10mol/l e o frasco aberto colocado sobre a placa aquecedora até sua secagem à cerca de 110°C.

Novamente foram adicionados 2ml de ácido nítrico 10mol/l e o frasco aberto colocado sobre a placa aquecedora à temperatura constante de 110°C até a sua total secagem. O frasco foi retirado da chapa aquecedora e adicionado 25ml de ácido clorídrico 2mol/l. O frasco foi fechado e após agitação foi colocado sobre a placa aquecedora à cerca de 100°C por duas horas. Após o resfriamento, o frasco foi pesado em balança analítica e a amostra transferida para frasco de 50ml e em seguida analisada pelo ICP-EOS.

3.1 – SIGNIFICADO AMBIENTAL DOS PARÂMETROS E RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUA:

3.1.1 – PARÂMETROS FÍSICOS:

3.1.1.1 – TEMPERATURA

A temperatura é um fator que influencia a grande maioria dos processos físicos, químicos e biológicos na água como, por exemplo, a solubilidade dos gases dissolvidos. Uma elevada temperatura diminui a solubilidade dos gases, como do oxigênio dissolvido, além de aumentar a taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação de compostos com odores desagradáveis. Os organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferencial em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo. As variações de temperatura fazem parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical (IGAM, 2008).

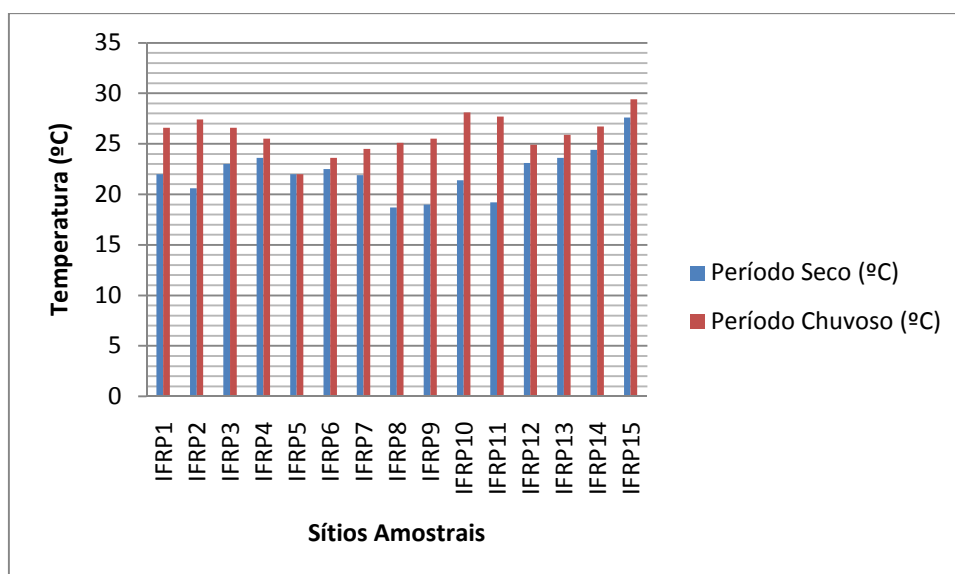


Figura 3.1: Variação sazonal da temperatura na Bacia do Rio Piracicaba

Durante o período chuvoso, na Bacia do Rio Piracicaba a temperatura variou entre 22,0°C e 28,1°C. No momento da coleta o Rio Doce possuía temperatura de 26,7°C. A maior temperatura foi registrada no Ribeirão Ipanema, 29,4°C.

Durante o período seco, na Bacia do Rio Piracicaba a temperatura variou entre 18,7°C e 25,5°C. No momento da coleta o Rio Doce possuía temperatura de 24,4°C. A maior temperatura foi registrada no Ribeirão Ipanema, 27,6°C. Isto pode ser observado na Figura 3.1.

É importante salientar que as diferentes temperaturas encontradas numa mesma época também podem ser devidas, dentre outros fatores, aos diferentes horários e dias de medição.

3.1.1.2 – TURBIDEZ

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. A turbidez tem como origem natural a presença de matéria em suspensão como partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microrganismos e como fonte antropogênica os despejos domésticos, industriais e a erosão. A alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e das algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas (IGAM, 2008).

O limite de turbidez estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 é de até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT) para as águas doces de classe 1 e de até 100UNT para as águas de classe 2. Para as águas de classe Especial, não são determinados valores limites para a turbidez nem para nenhum outro parâmetro. Porém, nestas deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.

Os valores encontrados para a turbidez nos diferentes sítios amostrais estão representados na Figura 3.2. No período chuvoso, a turbidez na Bacia do Rio Piracicaba variou entre 18,58UNT e 137,00UNT. No momento da coleta o Ribeirão Ipanema possuía 44,25UNT e o Rio Doce possuía turbidez de 236,00UNT, a maior registrada em todos os períodos de coleta.

Durante o período seco, na Bacia do Rio Piracicaba a turbidez variou entre 2,28UNT e 13,64UNT. No momento da coleta o Rio Doce possuía o valor de turbidez de 7,10 UNT e o Ribeirão Ipanema 19,48UNT.

É possível relacionar os altos valores de turbidez com a entrada de esgotos domésticos, efluentes industriais e ausência de vegetação ripária. Isto pôde ser observado no presente trabalho: os maiores valores de turbidez foram encontrados próximos aos centros urbanos, onde pressupõe-se ser maior o aporte de efluentes industriais e esgotos domésticos. Foi este o caso do sítio IFRP-14a, no Rio Doce, onde foi encontrado um altíssimo valor de turbidez no Rio Doce no período chuvoso: 236UNT.

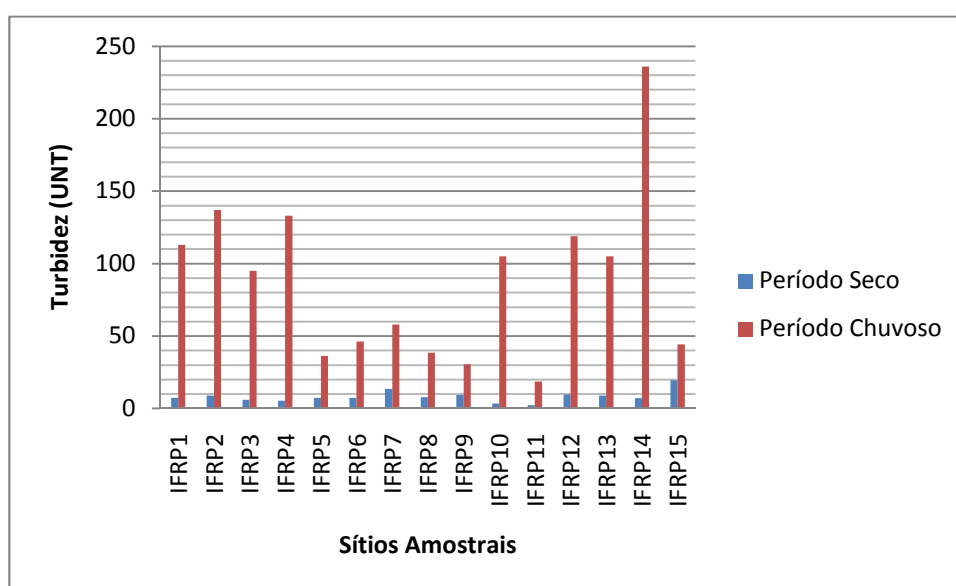


Figura 3.2: Variação sazonal da turbidez na Bacia do Rio Piracicaba

No período seco, o maior valor de turbidez foi encontrado no sítio IFRP-15b (Ribeirão Ipanema, ver Figura 2.2). Este é o principal curso d'água que drena o perímetro do Município de Ipatinga, tendo recebido esgoto urbano durante muitos anos em suas águas. O Ribeirão Ipanema ainda sofre conseqüências da descarga de efluentes domésticos, além de esgoto clandestino que ainda são lançados em suas águas, apesar da ETE de Ipatinga já estar em funcionamento há quase seis anos. Um estudo realizado por FARIA (2007) caracterizou a comunidade de macroinvertebrados bentônicos do Ribeirão Ipanema de sua nascente até sua foz no Rio Doce. Os resultados encontrados mostram que o trecho do Ribeirão Ipanema localizado próximo do Rio Doce, onde esse deságua, são encontrados apenas dois grupos de macroinvertebrados bentônicos, das famílias Chironomidae e Culicidae, mostrando assim que tanto o Ribeirão Ipanema como o Rio Doce sofrem com a

descarga de efluentes em suas águas. Segundo MOULTON (1988), a predominância de determinado grupo de organismos no meio pode oferecer indícios sobre as condições de qualidade da água. Ambientes degradados apresentam uma menor diversidade de espécies (SILVA, 2007), como neste caso.

Na Tabela 1 está representado, para cada sítio amostral, o limite de turbidez estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 e os valores efetivamente encontrados.

Tabela 1: Distribuição dos sítios amostrais da Bacia do Rio Piracicaba em classes de usos preponderantes de acordo com a D. N. COPAM nº 9/1994 e de acordo com as características das águas apresentadas , para o parâmetro Turbidez. *Exceto para o Rib. Ipanema, que não tem as suas águas classificadas pela D. N. COPAM Nº. 9/94.

Sítio Amostrai	Nome do Rio	Turbidez (UNT) Período Chuvoso	Características das águas apresentadas no período chuvoso	Turbidez (UNT) Período Seco	Características das águas apresentadas no período seco	Classificação - D.N. COPAM nº 9/1994 *
IFRP1	Piracicaba	113	Classe 3	7,37	Classe 1	Classe 2
IFRP2	Santa Bárbara	137	Classe 3	8,9	Classe 1	Classe 2
IFRP3	Piracicaba	95	Classe 2	6,13	Classe 1	Classe 2
IFRP4	Piracicaba	133	Classe 3	5,45	Classe 1	Classe 2
IFRP5	Bicudo	36,35	Classe 1	7,31	Classe 1	Classe 1
IFRP6	Figueiredo	46,19	Classe 2	7,37	Classe 1	Classe 2
IFRP7	Severo	58	Classe 2	13,64	Classe 1	Classe 2
IFRP8	Grande	38,48	Classe 1	7,85	Classe 1	Classe 2
IFRP9	Ipanema	30,65	Classe 1	9,36	Classe 1	Classe 2
IFRP10	Onça Grande	105	Classe 3	3,51	Classe 1	Classe 1
IFRP11	Piracicaba	18,58	Classe 1	2,28	Classe 1	Classe 2
IFRP12	Piracicaba	119	Classe 3	9,62	Classe 1	Classe 2
IFRP13	Piracicaba	105	Classe 3	8,98	Classe 1	Classe 2
IFRP14	Doce	236	Classe 3	7,10	Classe 1	Classe 2
IFRP15	Rib. Ipanema	44,25	Classe 2	19,48	Classe 1	*

Podemos observar que em relação ao referido parâmetro, sete sítios de amostragem não apresentam as características das águas em relação aos usos preponderantes, de acordo com a Deliberação Normativa COPAM Nº. 9, de 19 de abril de 1994, durante o período

chuvoso. No período seco todos os sítios de amostragem estiveram em conformidade com a DN. Estes baixos valores encontrados neste período já eram esperados, devido à menor quantidade de materiais em suspensão ocasionado pela menor quantidade de chuvas.

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM Nº. 9, de 19 de abril de 1994, que dispõe sobre o enquadramento da Bacia do Rio Piracicaba, o seu leito principal é enquadrado nas classes 1 e 2, e seus afluentes são enquadrados nas classes Especial, 1 e 2. Dos quinze sítios amostrados neste trabalho, oito tiveram suas águas enquadradas conforme a referida Deliberação: os seis pontos amostrados no Rio Piracicaba, em seu leito principal, foram enquadrados na Classe 2. No trecho coletado o Ribeirão Bicudo e o Onça Grande foram enquadrados na Classe 1 e o Rio Santa Bárbara na Classe 2. Os demais corpos de águas da Bacia do Piracicaba presentes neste estudo ainda não foram enquadrados, sendo, portanto, considerados Classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente, segundo a Resolução CONAMA 357/2005, artigo 42. O Ribeirão Ipanema, que não pertence à Bacia do Rio Piracicaba, não foi enquadrado segundo a D. N. COPAM Nº. 9/94.

3.1.1.3 - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions e pela temperatura. As principais fontes dos sais de origem antropogênica naturalmente contidos nas águas são: descargas industriais de sais, consumo de sal nas residências e no comércio, excreções de sais pelo homem e por animais. A condutância específica fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade específica da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (IGAM, 2008).

Os valores de condutividade podem ser utilizados como um critério para caracterizar índices de poluição (BARRETO, 1999), uma vez que esses valores são influenciados pela intervenção antrópica (efluentes industriais e esgotos domésticos), as quais aumentam o conteúdo mineral (BRIGANTE *et. al.*, 2003).

Segundo SANTOS (1997), a condutividade elétrica está relacionada com os sólidos totais dissolvidos, sendo que à medida que a concentração de sólidos aumenta a condutividade elétrica também aumenta. Tal fato é apresentado nas Figuras 3.3 e 3.4, onde foram correlacionados os dados de condutividade elétrica com os dados de sólidos totais dissolvidos encontrados em todos os sítios, para as duas épocas avaliadas (seca e chuvosa).

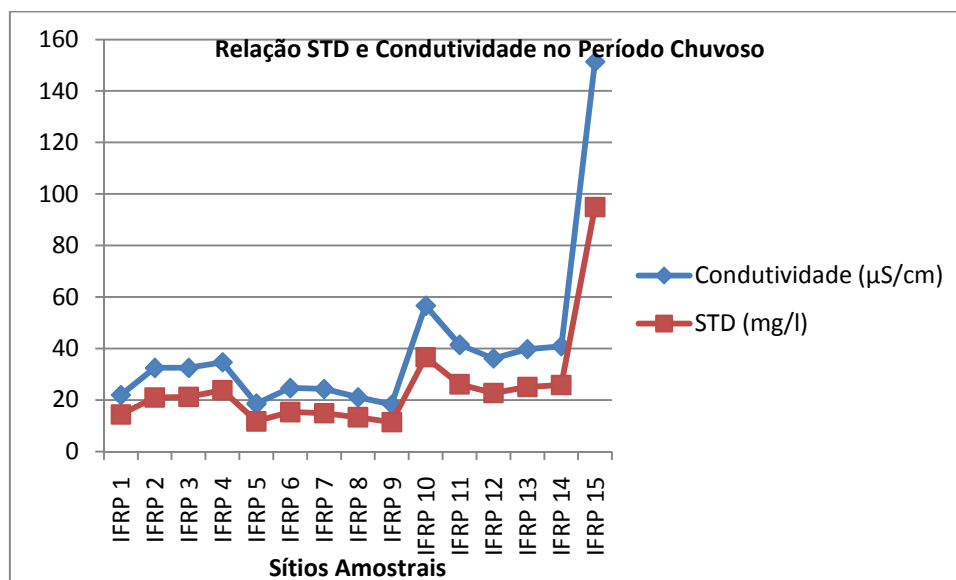


Figura 3.3: Relação entre a condutividade e os sólidos totais dissolvidos nas águas da Bacia do Rio Piracicaba no período chuvoso.

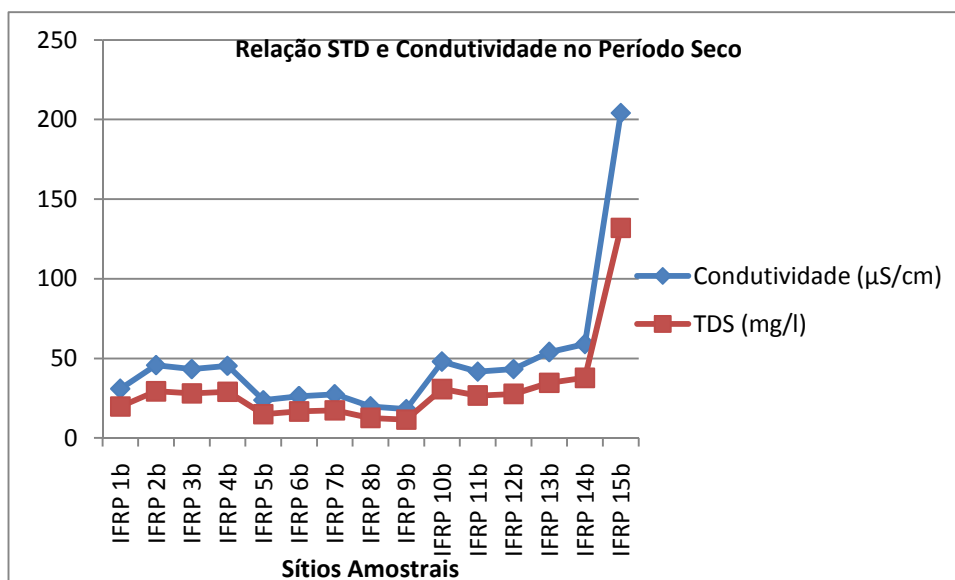


Figura 3.4: Relação entre a condutividade e os sólidos totais dissolvidos nas águas da Bacia do Rio Piracicaba no período seco

Os valores encontrados para a condutividade nos diferentes sítios amostrais foram representados na Figura 3.5. No período chuvoso, a condutividade alcançou valores entre 18,32 μ S/cm e 56,66 μ S/cm na Bacia do Rio Piracicaba. No momento da coleta o Rio Doce possuía condutividade de 40,90 μ S/cm e o Ribeirão Ipanema 151,4 μ S/cm, a maior registrada neste período.

Durante o período seco, na Bacia do Rio Piracicaba a condutividade variou entre 18,09 μ S/cm e 53,91 μ S/cm. No momento da coleta o Rio Doce possuía condutividade de 58,93 μ S/cm e o Ribeirão Ipanema 204 μ S/cm, a maior registrada em todos os sítios. Este maior valor de condutividade pode ser devido à uma maior concentração de poluentes de origem antropogênica deste curso d'água, tendo em vista que ele atravessa grande parte da cidade de Ipatinga.

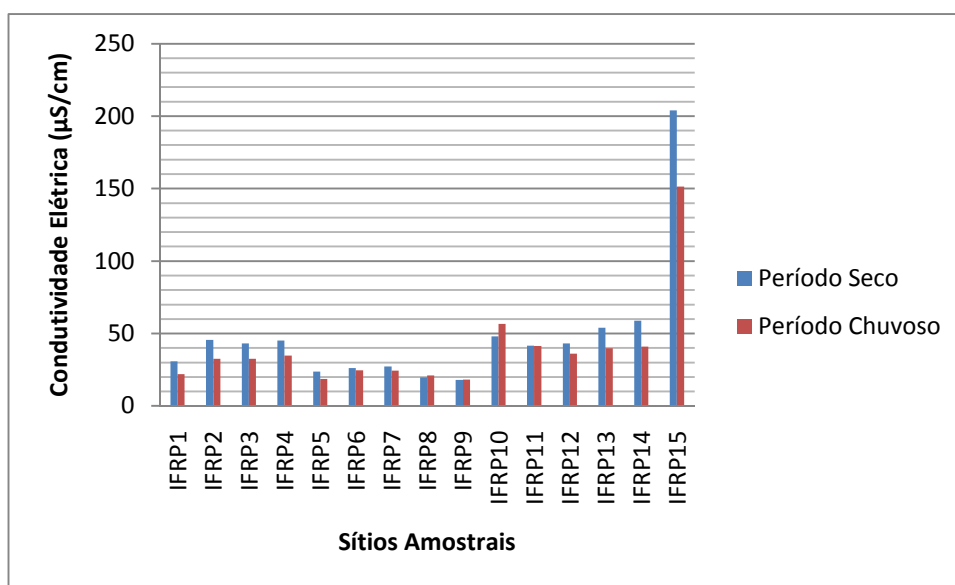


Figura 3.5: Variação sazonal da condutividade elétrica na Bacia do Rio Piracicaba

3.1.1.4 - SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS: STD

Todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos de água. Os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas. Os sólidos em suspensão, contidos em uma amostra de água, apresentam, em função do método analítico escolhido, características diferentes e, conseqüentemente, têm designações distintas (IGAM, 2008).

Os sólidos dissolvidos resultam sobretudo da dissolução das rochas e solos, mas também contêm matéria orgânica dissolvida. Uma água com mais de 1000mg/l pode ter gosto distintivo. Acima de 2000mg/l, a água é geralmente demasiado salgada (sais dissolvidos) para beber. Os sólidos dissolvidos, sobretudo os ionizados (eletrólitos), são os responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica da água (numa água doce é tipicamente, 100µS/cm, podendo subir para valores cem vezes maiores em águas salgadas).

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece como valor limite para os STD 500mg/l para as águas de classe 1, 2 e 3. Todos os sítios amostrados apresentaram valores abaixo do determinado pela legislação.

No período chuvoso, os STD alcançaram valores entre 11,41mg/l e 36,68mg/l na Bacia do Rio Piracicaba. O STD no Rio Doce alcançou o valor de 25,82mg/l e no Ribeirão Ipanema 94,92mg/l, o maior registrado nesta estação.

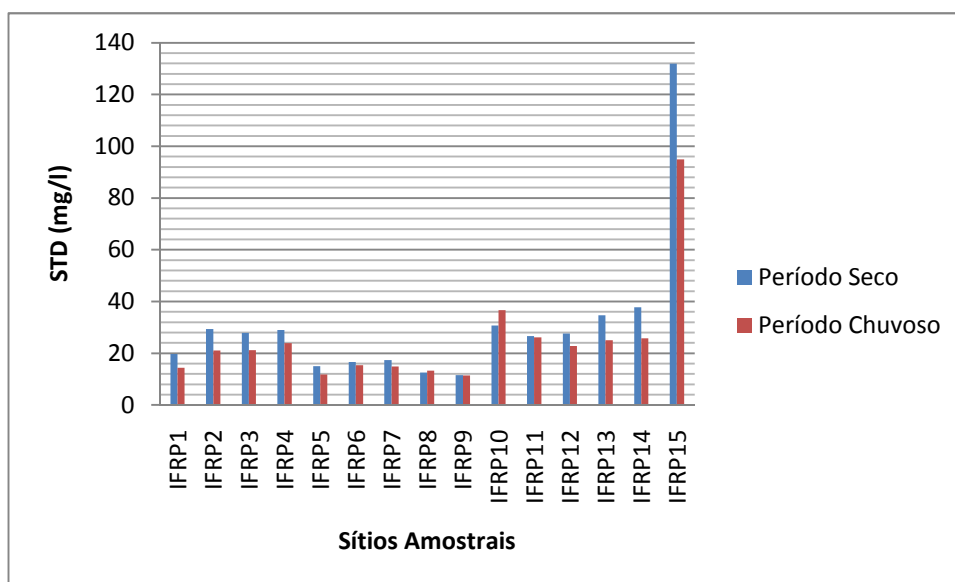


Figura 3.6: Variação sazonal dos STD na Bacia do Rio Piracicaba

Durante o período seco, na Bacia do Rio Piracicaba o STD variou entre 11,54mg/l a 34,66mg/l. No momento da coleta o Rio Doce possuía o valor de STD de 37,76mg/l e o Ribeirão Ipanema 131,9mg/l – o maior valor registrado em todos os períodos e em todas as estações de amostragem, de acordo com a Figura 3.6.

3.1.2 - PARÂMETROS QUÍMICOS:

3.1.2.1 – ALCALINIDADE

A alcalinidade total é a quantidade dos íons hidróxido, carbonato e bicarbonato presentes na água, que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. As origens naturais da alcalinidade na água são a dissolução de rochas, as reações do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e a decomposição da matéria orgânica. Além desses, os despejos industriais são responsáveis pela alcalinidade nos corpos de água. Esta variável deve ser avaliada por ser importante no controle do tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações (IGAM, 2008; VON SPERLING, 2005).

A alcalinidade foi determinada pelo método titulométrico. Na ocasião, foram pipetados 100ml das amostras em erlenmeyeres de 250ml e em cada amostra foram adicionadas 3 gotas de fenolftaleína e 3 gotas de metil-orange. Após esse procedimento a solução foi titulada com ácido sulfúrico 0,01mol/l até o ponto de mudança de cor de transparente para vermelho laranja. A concentração da alcalinidade foi determinada por meio da equação a seguir:

$$C_{\text{HCO}_3^-} = [\text{Volume H}_2\text{SO}_4 \text{ (ml)} \times \text{Concentração H}_2\text{SO}_4 \text{ (mol/l)}] \times 1220$$

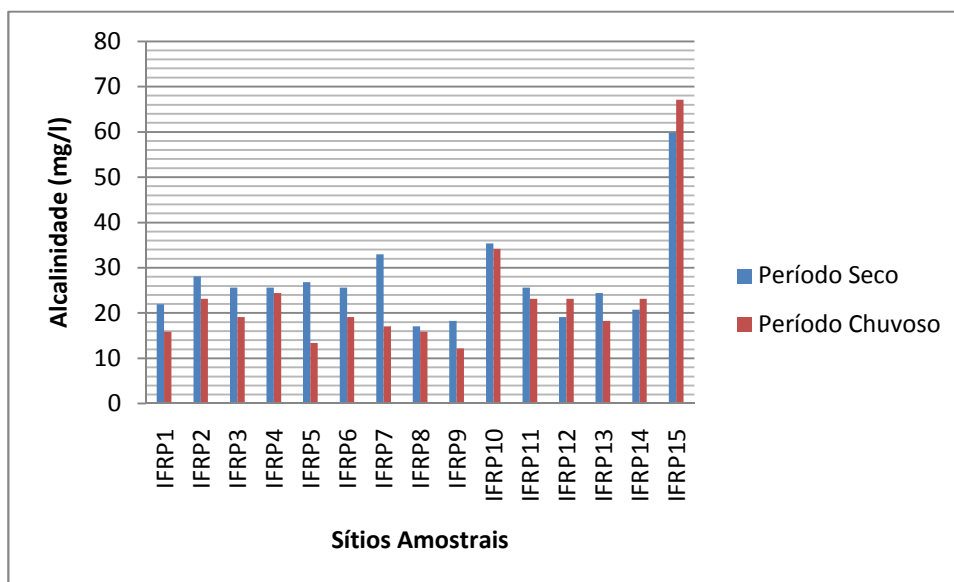


Figura 3.7: Variação sazonal da alcalinidade na Bacia do Rio Piracicaba

Na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, a alcalinidade variou entre 12,2mg/l e 34,16mg/l. A alcalinidade no Rio Doce alcançou o valor de 23,18mg/l e o maior valor foi registrado no Ribeirão Ipanema: 67,1mg/l.

Durante o período seco, na Bacia do Rio Piracicaba a alcalinidade variou entre 17,08 e 35,38mg/l. No momento da coleta o Rio Doce possuía alcalinidade 20,74mg/l. O maior valor foi registrado no Ribeirão Ipanema: 59,78mg/l, conforme observado na Figura 3.7.

3.1.2.2 - OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Essencial à manutenção dos seres aquáticos aeróbios, a concentração de oxigênio dissolvido na água varia segundo a temperatura e a altitude, sendo a sua introdução condicionada pelo ar atmosférico, à fotossíntese e à ação dos aeradores. O oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio. Através da medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo de água natural em manter a vida aquática (IGAM, 2008).

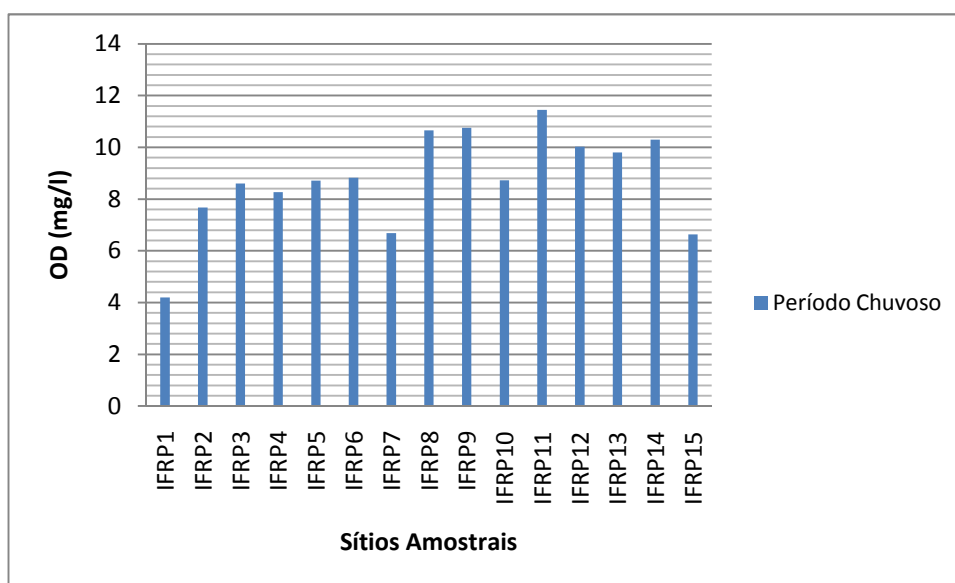


Figura 3.8: Variação do nível de OD na Bacia do Rio Piracicaba

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, os valores para oxigênio dissolvido não poderão ser inferiores a 6mg/l O₂ para as águas de classe 1 e de 5mg/l O₂ para as águas de classe 2. Apenas um valor encontrado no Rio Piracicaba (Sítio IFRP1a, localizado na cidade de João Monlevade) alcançou valor abaixo do limite de 5mg/l O₂.

No período chuvoso, o oxigênio dissolvido alcançou valores entre 4,20mg/l e 11,45mg/l na Bacia do Rio Piracicaba. O oxigênio dissolvido do Rio Doce alcançou o valor de 10,30mg/l e do Ribeirão Ipanema 6,63mg/l, conforme observa-se na Figura 3.8.

Por motivos de falha no equipamento oxímetro no momento da coleta no campo, não foi possível apresentar os valores do OD no período seco.

3.1.2.3 - PH - POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

O pH define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução aquosa. Sua origem natural está associada à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e à fotossíntese, enquanto sua origem antropogênica está relacionada aos despejos domésticos e industriais. Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em consequência, alterações bruscas do pH de uma água afetam as taxas de crescimento de microorganismos e podem resultar no desaparecimento dos organismos presentes na mesma. Os valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água e contribuir para corrosão do sistema de distribuição de água, ocorrendo, assim, uma possível extração do ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio e dificultar a descontaminação das águas (IGAM, 2008).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, os valores para pH deverão ficar dentro do limite entre 6,00 e 9,00.

A Figura 3.9 apresenta os valores encontrados para o pH nos diferentes sítios amostrados. Na Bacia do Rio Piracicaba o pH apresentou valores entre 6,7 e 9,00 durante o período chuvoso. O Rio Doce apresentou o valor de 6,89 e o Ribeirão Ipanema 6,3. Todos os valores ficaram dentro do limite estabelecido pela legislação. O valor 9,00 foi encontrado no Ribeirão Severo, que está localizado no meio rural. Este maior valor pode ser devido à uma alteração momentânea, como um lançamento de algum despejo doméstico de algum sítio ou casa localizado no entorno, pois no período seco este alto valor de pH não foi observado neste mesmo ponto. Outras investigações seriam necessárias para uma conclusão.

Durante o período seco, na Bacia do Rio Piracicaba o pH variou entre 6,25 e 7,32. No momento da coleta o Rio Doce possuía o pH de 7,15 e o Ribeirão Ipanema 7,08.

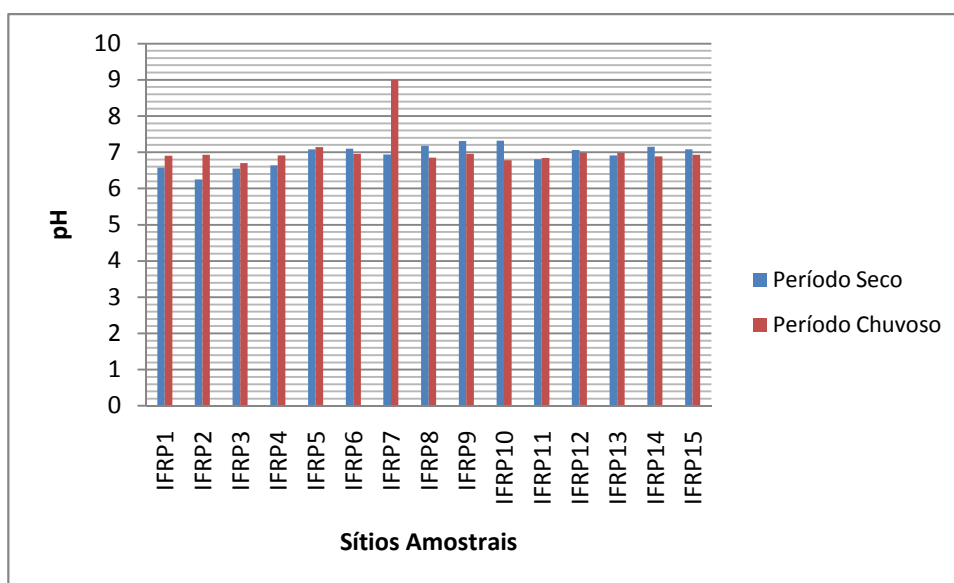


Figura 3.9: Variação sazonal do pH na Bacia do Rio Piracicaba

3.1.2.4 - SULFATOS

A distribuição do íon sulfato é fortemente influenciada pela formação geológica da bacia de drenagem do sistema. As concentrações de sulfato podem variar desde valores não detectáveis até valores de saturação (ESTEVES, 1988).

Os sulfatos são sais de moderadamente a muito solúveis em água, exceto os sulfatos de estrôncio e de bário. A presença de sulfato nas águas está relacionada à oxidação de sulfetos nas rochas e à lixiviação de compostos sulfatados como gipsita e anidrita. Nas águas superficiais, ocorre através das descargas de esgotos domésticos (por exemplo, através da degradação de proteínas) e efluentes industriais (exemplos: efluentes de indústrias de celulose e papel, química, farmacêutica, etc.). Têm interesse sanitário para águas de abastecimento público por sua ação laxativa, como sulfato de magnésio e o sulfato de sódio (IGAM, 2008).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, os valores para o sulfato deverão ser de até 250mg/l para as águas de classes 1 e 2. Todas as águas estiveram dentro do limite estabelecido pela legislação para o referido parâmetro.

Na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, os teores de sulfato estiveram entre na faixa de 2,6mg/l e 5,0mg/l. No período seco as concentrações estiveram

na faixa de 2,3mg/l e 6,1mg/l, e o Ribeirão Ipanema entre 7,5mg/l e 4,2mg/l durante o período chuvoso e o período seco, respectivamente. O Rio Doce apresentou os valores de 3,8mg/l no período chuvoso e 2,2mg/l no período seco. Estes valores podem ser observados na Figura 3.10.

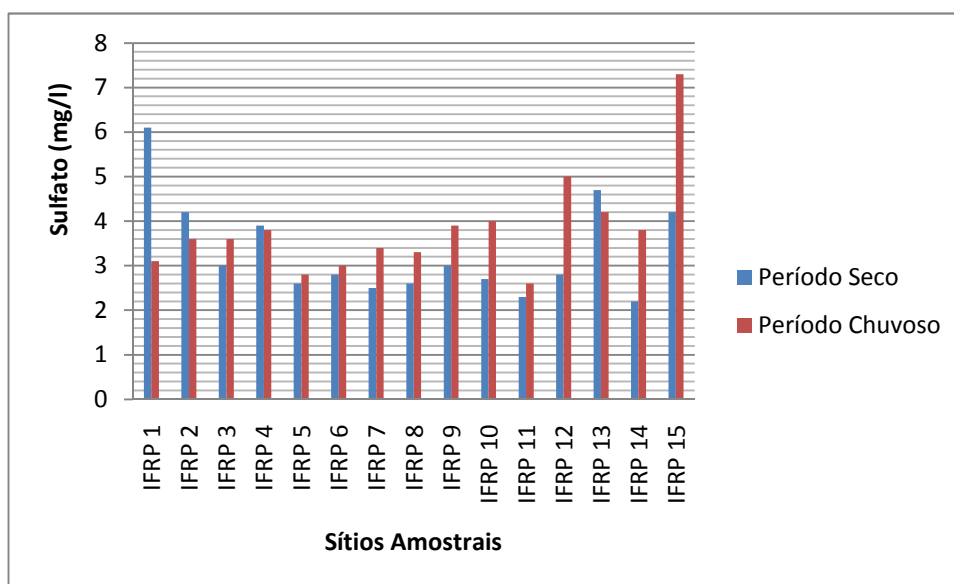


Figura 3.10: Variação sazonal da concentração de sulfato (SO_4^{2-}) na Bacia do Rio Piracicaba

3.1.2.5 – CLORETOS

As águas naturais, em menor ou maior escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Os íons cloretos são advindos da dissolução de sais. Um aumento no teor desses ânions na água é indicador de uma possível poluição por esgotos (através de excreção de cloreto pela urina) ou por despejos industriais, e acelera os processos de corrosão em tubulações de aço e de alumínio, além de alterar o sabor da água (IGAM, 2008).

Para as águas de abastecimento público, a concentração de cloreto constitui-se em padrão de potabilidade, segundo a Portaria 1469 do Ministério da Saúde. O cloreto provoca sabor "salgado" na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250mg/l, valor este que é tomado como padrão de potabilidade. No caso do cloreto de cálcio, o sabor só é perceptível em concentrações de cloreto superior a 1000mg/l. Também eram utilizados como indicadores da contaminação por esgotos sanitários, podendo-se associar a elevação do nível de cloreto em um rio com o lançamento

de esgotos sanitários. Hoje, porém, o teste de coliformes fecais é mais preciso para esta função. O cloreto apresenta também influência nas características dos ecossistemas aquáticos naturais, por provocarem alterações na pressão osmótica em células de microrganismos (CETESB, *site* 2009).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, os valores para o cloreto deverão ser de até 250mg/l para as águas de classes 1 e 2. Todas as águas estiveram dentro do limite estabelecido pela legislação para o referido parâmetro.

A Figura 3.11 apresenta a concentração de cloreto nos diferentes sítios amostrados. Nas águas do Rio Piracicaba, o teor de cloreto variou entre 2,41mg/l e 5,79mg/l, durante o período chuvoso. No período seco, oscilou entre 6,58mg/l e 23,7mg/l. O Rio Doce apresentou a concentração de cloreto entre 4,58mg/l durante o período chuvoso e 17,11mg/l durante o período seco. O Ribeirão Ipanema apresentou durante este mesmo período concentrações entre 8,20mg/l e 40,82mg/l, a maior registrada em todos os períodos e estações de amostragem.

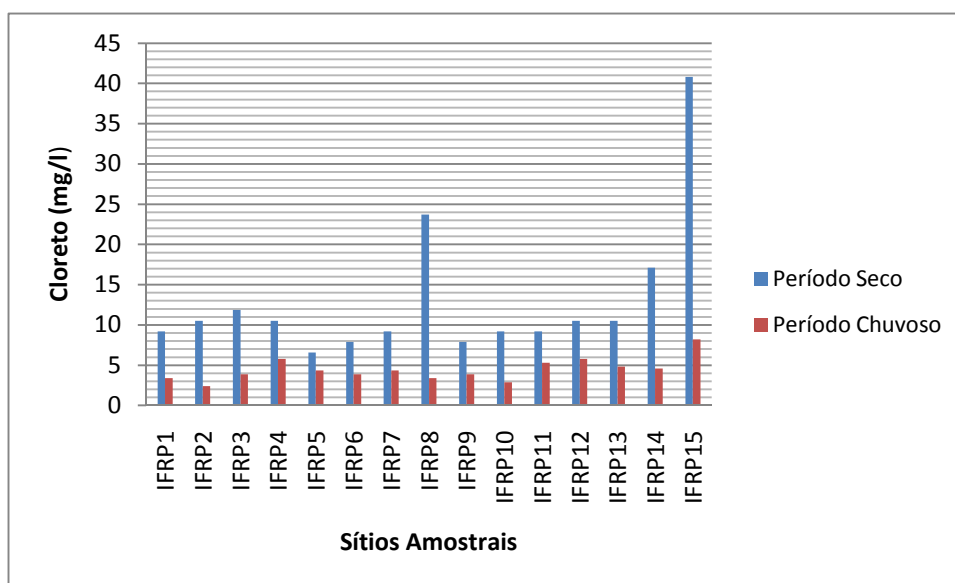


Figura 3.11: Variação sazonal da concentração de Cloreto (Cl) na Bacia do Rio Piracicaba

Em três sítios de amostragem (8, 14 e 15) há elevação significativa do teor de cloreto no período seco (acima de 15mg/l), podendo estar relacionados ao lançamento de esgoto doméstico pelos aglomerados urbanos. Nas águas superficiais são fontes importantes as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 6 gramas de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassem a 15mg/l (CETESB, *site* 2009).

O sítio de amostragem IFRP15 merece destaque pela alta concentração de cloreto, que pode ter uma origem antropogênica.

3.1.3 – PARÂMETRO BIOLÓGICO: COLIFORMES FECAIS

Um dos maiores interesses mundiais em se verificar o grau de pureza de uma água está na associação entre água contaminada e transmissão de doenças infecciosas, principalmente para os seres humanos. É sabido que uma série de doenças podem ser veiculadas pela água, tais como gastroenterite, hepatite, poliomielite, cólera, doenças fúngicas e parasitárias, como giardíase (AGUILA *et al.*, 2000). A maioria dessas doenças são causadas por patógenos de origem fecal, conhecidos como patógenos entéricos. Para a verificação da qualidade de uma água, usam-se freqüentemente como indicadores os coliformes fecais, representados pela espécie *E. coli* (NOGUEIRA *et al.*, 2003, DALFIOR, 2005). Quando esses microrganismos estão presentes na água indicam a presença de contaminação fecal recente e, possivelmente, a presença de patógenos entéricos. Isto é devido ao fato da referida espécie ser naturalmente encontrada nas fezes de todos os animais de sangue quente, inclusive no homem (DAVIS, 1979; TRABULSI, 2005).

Portanto, tendo em vista que os coliformes fecais são bioindicadores de contaminação fecal recente, fez-se, neste estudo, uma avaliação do índice de contaminação por *E. coli* nas águas do Rio Piracicaba e em 7 dos tributários analisados, além de um sítio no Rio Doce. Nesta avaliação foi utilizada a Técnica de Fermentação em Tubos Múltiplos, que é baseado na habilidade das bactérias coliformes produzirem gás a partir da fermentação da lactose. Quando crescem em ágar EMB, as colônias de *E. coli* apresentam um brilho característico verde metálico (Figura 3.12), o que indica que o microrganismo foi capaz de formar ácido a partir da lactose do meio.

De todos os sítios amostrados neste trabalho, apenas em três (IFRP: 3, 5 e 9) não foram realizados os testes para coliformes fecais, por perda das amostras durante o transporte. Os resultados das demais amostras mostraram um altíssimo nível de coliformes fecais na maior parte dos sítios analisados, apresentando muitas vezes valores acima do limite permitido pela legislação ambiental.

Há duas importantes Resoluções que tratam a respeito do nível de coliformes termotolerantes permitidos para as águas doces, a CONAMA 357/05 e a CONAMA 274/00. Quando se trata de água doce para o uso de recreação para contato primário,

deverão ser observados os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA N°. 274, de 2000 e, para os demais usos, deverão ser observados os limites previstos na Resolução CONAMA nº357 de 2005.

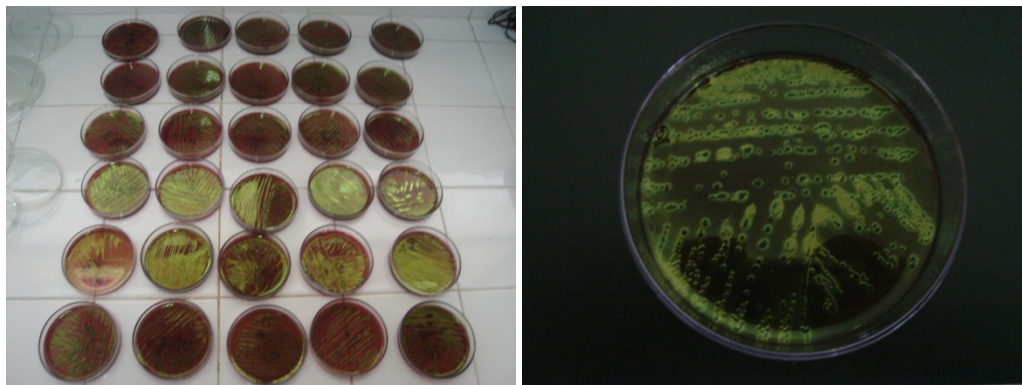


Figura 3.12: Colônias com brilho verde metálico, ágar EMB.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, dos sítios analisados no período chuvoso na Bacia do Rio Piracicaba apenas dois estariam dentro do limite estabelecido para as águas de classe 1, que é de até 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros de água (NMP/100ml de água). Estes sítios são: IFRP8a e IFRP13a. Quatro sítios apresentaram contagens de até 1000 coliformes/100 ml de água, características das águas doces de classe 2: IFRP: 1a, 4a, 11a e 14a. Todos os outros sítios analisados na Bacia no período chuvoso apresentaram contagens de até 2.500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros de água, características das águas de classe 3. São eles os sítios: IFRP: 2a, 6a, 7a, 10 a, 12a e 15a.

No período seco, cinco sítios ficaram dentro do limite desejável para as águas de classe 1, que é de até 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros de água. São os sítios: IFRP: 6b, 7b, 11b, 13b e 14b. O sítio IFRP1b apresentou a contagem de até 1000 coliformes/100 ml de água, o que o caracterizaria como classe 2. Todos os outros sítios analisados neste período apresentaram contagens de até 2500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros de água, possuindo as características das águas doces classe 3.

Observando-se o gráfico da Figura 3.13, percebe-se que dos 12 sítios analisados, 6 apresentaram uma elevação do nível de coliformes fecais no período chuvoso, 2 apresentaram uma elevação do nível de coliformes fecais no período seco e em 4 esta concentração foi igual. Esta elevação durante o período chuvoso pode ser devido ao aumento do carreamento de material sólido, líquido, micronutrientes e outros materiais particulados contaminados para o leito do rio: nesta estação o escoamento superficial

devido às chuvas é o fator que mais contribui para a modificação da qualidade microbiológica das águas superficiais uma vez que aumenta a taxa de sedimentos e excretas de animais e humanas que são carregados para o leito do rio (AMARAL *et al.*, 2003). Este quadro pode ser agravado uma vez que, de uma maneira geral, as matas ciliares encontradas na Bacia do Rio Piracicaba não estão preservadas, o que contribui para a intensificação desse efeito. Resultados semelhantes, de aumento da concentração de coliformes fecais no período chuvoso também foram encontrados por diversos autores (ROCHA, 1999; MESSIAS, 2008 e BARROS *et al.*, 2003).

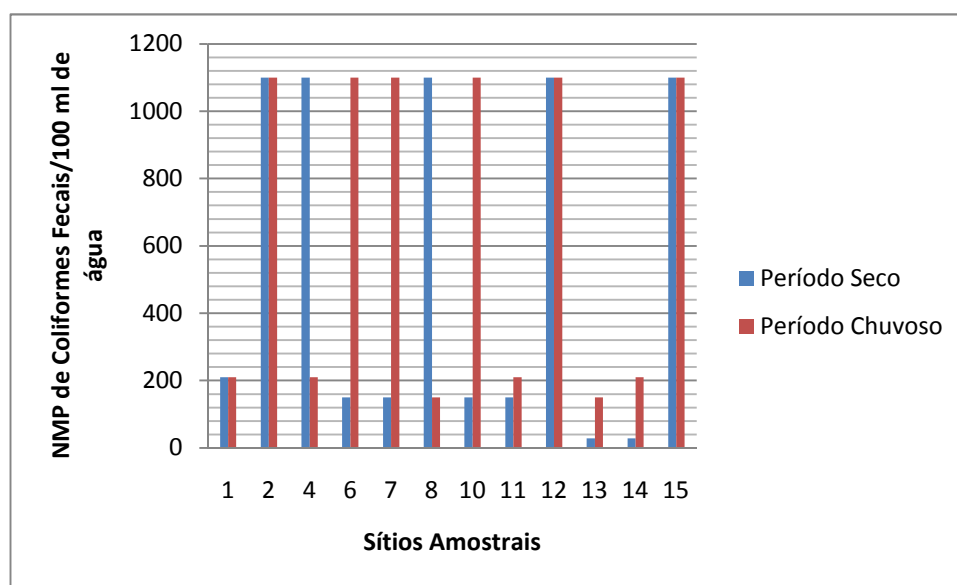


Figura 3.13: Variação sazonal do nível de coliformes fecais na Bacia do Rio Piracicaba

Nota-se que mesmo o aumento do volume de água durante o período chuvoso na Bacia, parece não estar sendo suficiente para proporcionar uma boa diluição e assim uma diminuição dos níveis de coliformes fecais, pois o recebimento de cargas poluidoras e resíduos sólidos, de uma maneira geral, ocorrem em maiores proporções.

Foi também observado que todos os sítios coletados no meio rural (IFRP: 6a, 7a e 10a) também apresentaram uma elevação do nível de coliformes fecais no período chuvoso, provavelmente devido aos lançamento de esgoto *in natura* das vilas e moradias rurais. Atividades típicas na região como a criação de animais (gados e porcos) pode contribuir com o aumento de *E. coli* nas águas da Bacia do Rio Piracicaba. Os resultados mostraram que esta Bacia apresenta contaminação microbiológica uma vez que os índices para *E. coli* estão fora dos padrões estabelecidos pela legislação, para rios de classe 2. A ocorrência destes microrganismos indica a possível contaminação da água por

microrganismos patogênicos, especialmente aqueles responsáveis por infecções intestinais. Em bacias hidrográficas rurais é extremamente importante a conservação do solo utilizando-o de acordo com suas aptidões. A recuperação da mata ciliar na Bacia do Rio Piracicaba se faz necessário para a proteção desse corpo hídrico, além de cuidados com a criação de animais e tratamento de esgotos domésticos.

Na Tabela 2 foi representada a distribuição dos sítios amostrais da Bacia do Rio Piracicaba em classes de usos preponderantes de acordo com a D. N. COPAM nº 9/1994 e de acordo com as características das águas apresentadas, para o parâmetro coliforme termotolerante. Observa-se que se basearmos apenas pela alta contagem dos coliformes termotolerantes encontrados, as águas da Bacia do Rio Piracicaba possuem, em sua maioria, as características das águas doces de classe 3, não apresentando portanto boas qualidades de balneabilidade.

Tabela 2: Distribuição dos sítios amostrais da Bacia do Rio Piracicaba em classes de usos preponderantes de acordo com a D. N. COPAM nº 9/1994 e de acordo com as características das águas apresentadas , para o parâmetro coliforme termotolerante. *Exceto para o Rib. Ipanema, que não tem as suas águas classificadas de acordo com a D. N. COPAM Nº. 9/94.

Sítio Amstral	Nome do Rio	Características das águas apresentadas no período chuvoso	Características das águas apresentadas no período seco	Classificação - D.N. COPAM nº 9/1994 *
IFRP1	Piracicaba	Classe 2	Classe 2	Classe 2
IFRP2	Sta Bárbara	Classe 3	Classe 3	Classe 2
IFRP4	Piracicaba	Classe 2	Classe 3	Classe 2
IFRP6	Figueiredo	Classe 3	Classe 1	Classe 2
IFRP7	Severo	Classe 3	Classe 1	Classe 2
IFRP8	Grande	Classe 1	Classe 3	Classe 2
IFRP10	Onça Grande	Classe 3	Classe 1	Classe 1
IFRP11	Piracicaba	Classe 2	Classe 1	Classe 2
IFRP12	Piracicaba	Classe 3	Classe 3	Classe 2
IFRP13	Piracicaba	Classe 1	Classe 1	Classe 2
IFRP14	Doce	Classe 2	Classe 1	Classe 2
IFRP15	Rib. Ipanema	Classe 3	Classe 3	*

O abastecimento de água, cada vez mais, tem preocupado os gestores públicos, pois a falta de acesso a água tem sido considerada fator de risco à saúde, além de limitante ao desenvolvimento. Dados do relatório “Saúde no Mundo”, editado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2004 (WHO, 2006), mostram que 85 dos 102 agravos à

saúde e traumatismo são atribuídos ao saneamento ambiental deficientes. Estimativas em âmbito mundial retratam que 24% das enfermidades e 23% das mortes prematuras resultam da exposição a ambientes insalubres e sem atenção sanitárias. Outra publicação da OMS e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) relata que 90,5% das mortes por diarreia aguda, em países em desenvolvimento, atingem população menor que 15 anos de idade, distintamente do observado em países desenvolvidos.

3.2 - METAIS E OUTROS CONSTITUINTES IÔNICOS PRINCIPAIS NAS ÁGUAS:

Vários fatores podem influenciar a composição iônica dos corpos de água, como a geologia da área de drenagem dos tributários, a geologia da bacia de acumulação e o regime de chuvas. Em regiões com baixa precipitação e predominância de rochas magmáticas, a composição iônica da água é, em geral, determinada por produtos do intemperismo destas rochas. Por outro lado, em regime de alta pluviosidade e predominância de rochas sedimentares, a composição iônica da água é determinada pela composição das rochas, ou seja, pela geologia da bacia de drenagem (HUTCHINSON, 1957).

Na água, alguns metais apresentam efeitos benéficos, enquanto outros são potencialmente tóxicos, dependendo da sua concentração. Podem ser introduzidos nos ecossistemas naturalmente, quando são provenientes dos intemperismos das rochas, ou antropogenicamente, através das diversas atividades humanas (ESTEVES, 1988).

Na Bacia do Rio Piracicaba identificam-se como principais atividades econômicas a mineração de ferro, exploração de berilo, mica, crisoberilo, feldspato, além da presença das indústrias metalúrgicas e do garimpo. Muitos rios tornaram-se assoreados, devido às atividades garimpeiras (Figuras 3.14 e 3.15).



Figura 3.14: Rio Piracicaba, assoreamento devido às atividades garimpeiras e desmatamento. Fonte: IGAM, 2007.



Figura 3.15: Rio Piracicaba: assoreamento e desmatamento.

Neste estudo foi analisada em todas as amostras de água, nas duas campanhas, uma série de elementos químicos através do ICP. Nos anexos 2 e 3 foram apresentados estes resultados, discutidos abaixo.

3.2.1 - CÁTIONS

3.2.1.1 - CÁLCIO (Ca)

O cálcio é o quinto maior elemento em ordem de abundância na crosta terrestre. A sua principal fonte natural são os minerais contendo cálcio: carbonatos, sulfatos de cálcio (gipsita e anidrita) e também minerais silicáticos, como os feldspatos (plagioclásios) (VON SPERLING, 2005).

As concentrações de cálcio nas águas podem variar entre 0mg/l à >100mg/l, dependendo da fonte. A presença do cálcio contribui para a dureza da água. Apresenta-se, em geral, sob a forma de bicarbonato e raramente como carbonato (SANTOS, 1997 e GREENBERG *et al.*, 1992).

Conforme apresenta a Figura 3.16, na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, as concentrações de cálcio apresentaram variações entre 0,06mg/l e 2,22mg/l. No período seco a concentração variou entre 0,77mg/l e 3,96mg/l.

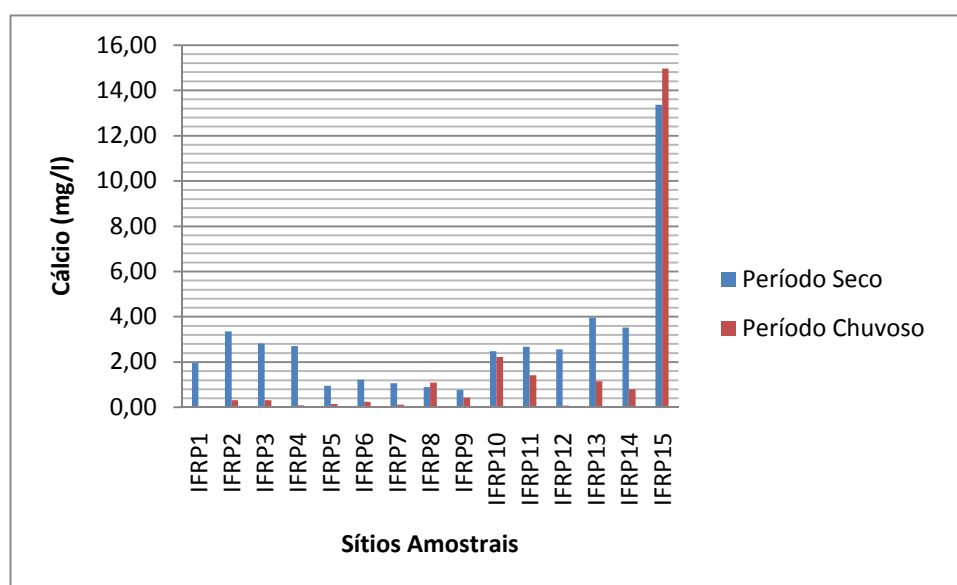


Figura 3.16: Variação sazonal da concentração de cálcio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

O Rio Doce apresentou a concentração de cálcio entre 0,79mg/l durante o período chuvoso e 3,72mg/l durante o período seco. As maiores concentrações de cálcio foram determinadas no Ribeirão Ipanema: 14,96mg/l e 13,4mg/l, no período chuvoso e seco, respectivamente.

3.2.1.2 - MAGNÉSIO (Mg)

Semelhante ao cálcio, o magnésio é um elemento litófilo importante, aparecendo com 2,1% na crosta terrestre, e também contribui significativamente para a dureza das águas. Sob temperaturas elevadas o magnésio pode precipitar-se causando incrustações em tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores. A concentração de magnésio nas águas varia geralmente de zero a alguns 100 miligramas por litro, dependendo da fonte e do seu tratamento (GREENBERG *et al.* 1992).

De acordo com a Figura 3.18, na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, as concentrações de Mg apresentaram variações entre 0,03mg/l e 0,74mg/l. No período seco a concentração variou entre 0,16mg/l e 1,80mg/l.

O Rio Doce apresentou a concentração de Mg entre 0,33mg/l durante o período chuvoso e 1,31mg/l durante o período seco. As maiores concentrações foram determinadas no Ribeirão Ipanema: 2,48mg/l e 2,22mg/l, no período chuvoso e seco, respectivamente.

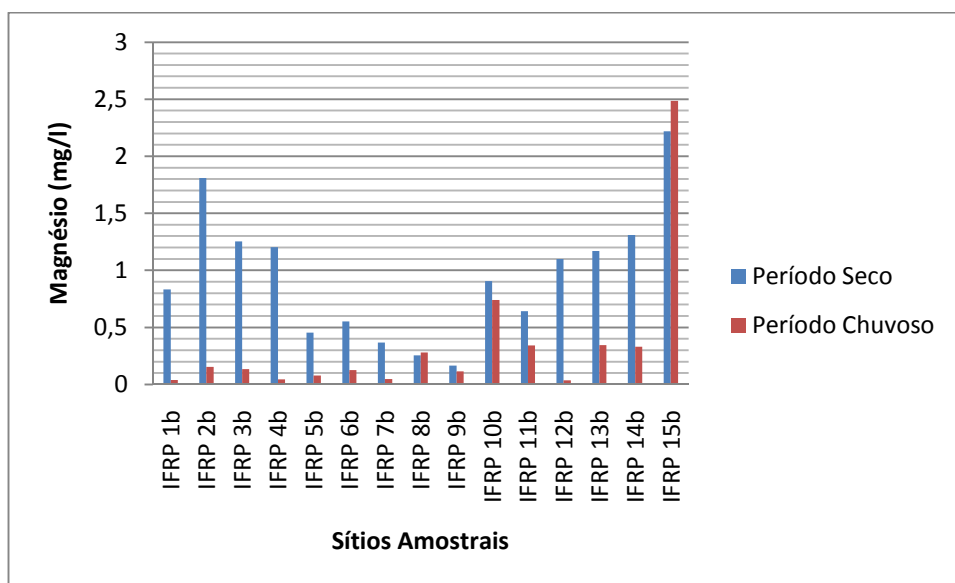


Figura 3.17: Variação sazonal da concentração de magnésio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

3.2.1.3 – FERRO (Fe)

A origem natural do ferro nas águas é resultado da dissolução de compostos do solo (VON SPERLING, 2005). Na crosta terrestre as rochas ígneas ou magmáticas, podem ser consideradas como fontes naturais de ferro por terem em sua composição minerais como

olivina ((Mg,Fe)₂SiO₄), magnetita (Fe₃O₄) e biotita K(Mg,Fe⁺⁺)₃[AlSi₃O₁₀(OH,F)₂, dentre outros.

O ferro pode estar presente em baixos teores (<0,3mg/l) em quase todas as águas e ocorre sob diversas formas químicas e, freqüentemente, aparece associado ao manganês. Este comportamento geoquímico é causado entre outros fatores pelos raios iônicos, e características semelhantes também são observadas nas rochas onde o ferro mostra afinidade com o manganês, cálcio e magnésio (carbonatos, piroxênios e olivinas). Ocorre nos sedimentos e solos principalmente sob a forma de Fe⁺³ (hidróxido férrico) e nas rochas muitas vezes como Fe⁺² (hidróxido ferroso). Formas mistas formam minerais como magnetita (Fe₃O₄ = FeO * Fe₂O₃).

Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carregamento de solos e à ocorrência de processos de erosão das margens (CETESB, *site* 2009). Este fenômeno foi comprovado neste trabalho, observando-se as médias das diferentes estações: 0,16mg/l na época chuvosa e 0,25mg/l na época seca.

Conforme apresentado na Figura 3.19, na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, as concentrações de Fe apresentaram variações entre 0,02mg/l e 0,59mg/l. No período seco a concentração variou entre 0,15mg/l e 0,39mg/l.

O Rio Doce apresentou a concentração de Fe entre 0,17mg/l durante o período chuvoso e 0,13mg/l durante o período seco. O Ribeirão Ipanema apresentou durante este mesmo período concentrações de 0,10mg/l e 0,17mg/l.

O ferro é essencial ao sistema bioquímico das águas. Em altos teores, afeta a cor e a dureza tornando a água inadequada para o consumo doméstico e industrial (IGAM, 2006). Apesar de não se constituir em um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água: desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactéria, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição (CETESB, *site* 2009). Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3mg/l pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. Assim, alguns sítios (IFRP 8a, 10a e 11a durante o período chuvoso e IFRP 2b, 6b, 10b, 11b e 12b durante o período seco) necessitariam terem as suas águas tratadas previamente para que a água potável esteja em conformidade com o padrão de aceitação de consumo humano.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05 o limite de concentração para as águas doces de classe 1 é de 0,3mg/l e para as de classe 2 e 3 é de 5mg/l. Todas os sítios monitorados apresentaram valores abaixo do estabelecido por esta Resolução.

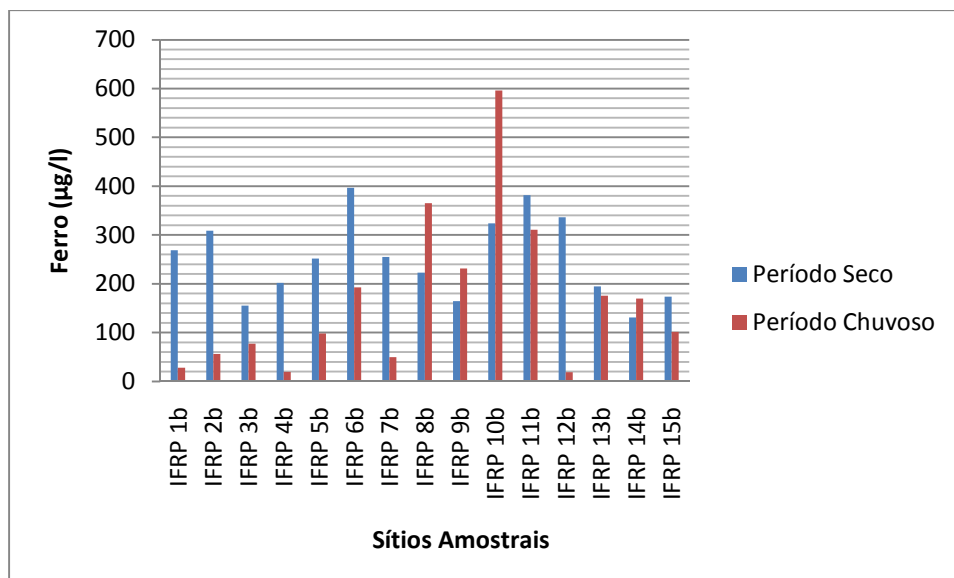


Figura 3.18: Variação sazonal da concentração de ferro nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

3.2.1.4 - POTÁSSIO (K)

O potássio é o sétimo maior elemento em ordem de abundância na crosta terrestre. Em águas naturais, ocorre em quantidades menores do que o sódio, devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser absorvido pelos sais minerais de argila. Além disso, os sais são bastante utilizados pelos vegetais, sendo o potássio, ao lado do sódio e fósforo, um dos principais elementos nutritivos da flora (GREENBERG *et al.*, 1992 e SANTOS, 1997).

O potássio ocorre principalmente nos feldspatos potássicos, micas e leucitas, em rochas ígneas e metamórficas. Altas concentrações de potássio podem ser encontradas nos minerais de carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e silvita (KCl), em evaporitos. As concentrações de potássio em águas doces naturais estão geralmente no intervalo de 0,1mg/l e 10mg/l (SANTOS, 1997).

Na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, as concentrações de K apresentaram variações entre 0,07mg/l e 1,46mg/l. No período seco a concentração variou entre 0,7mg/l e 1,78mg/l.

Conforme apresentado na Figura 3.20, o Rio Doce apresentou a concentração de K entre 0,46mg/l durante o período chuvoso e 1,51mg/l durante o período seco. Nestes mesmos períodos o Ribeirão Ipanema apresentou as seguintes concentrações: 3,08mg/l e 3,54mg/l, respectivamente.

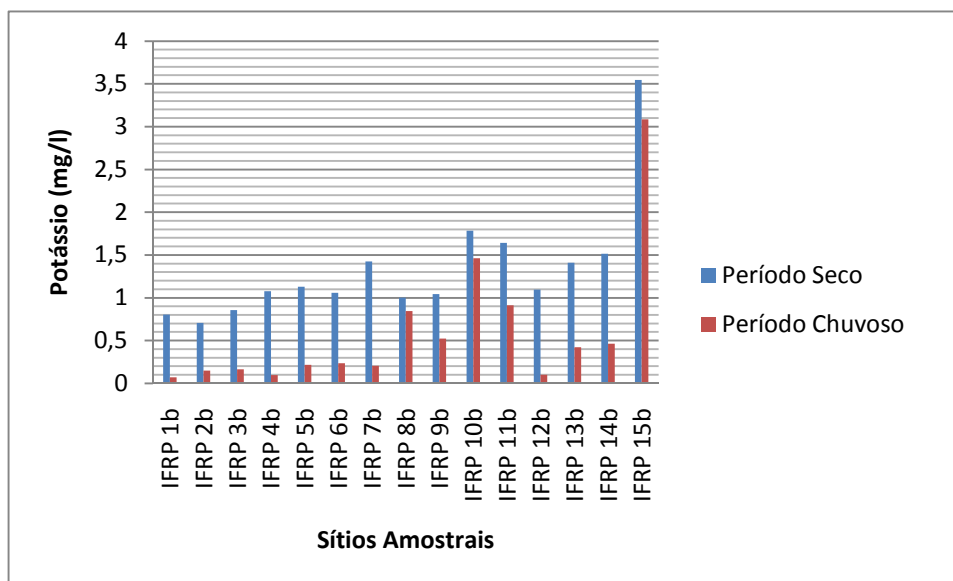


Figura 3.19: Variação sazonal da concentração de potássio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

3.2.1.5 – SÓDIO (Na)

O sódio é um metal alcalino e é um dos elementos mais abundantes nas águas devido as suas características como ampla distribuição na crosta terrestre e assim, nos minerais fontes. Os principais minerais de Na são os feldspatos plagioclásios, os feldspatoídes nefelina e sodalita, os anfibólios e os sais evaporíticos, em especial NaCl. A baixa estabilidade química de tais minerais causa freqüentemente uma elevada solubilidade de complexos de sódio, que mostra também uma difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução (SANTOS, 1997 e GREENBERG *et al.*, 1992). O sódio costuma estar associado ao íon cloreto (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983). É o sexto elemento em abundância na maioria das águas doces naturais. As concentrações de sódio em águas doce naturais variam entre 1mg/l e 150mg/l (GREENBERG *et al.*, 1992).

Conforme apresentado na Figura 3.21, na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, as concentrações de Na apresentaram variações entre 0,04mg/l e 2,68mg/l. No período seco a concentração variou entre 1,81mg/l e 4,86mg/l.

O Rio Doce apresentou a concentração de Na entre 0,63mg/l durante o período chuvoso e 4,09mg/l durante o período seco e o Ribeirão Ipanema apresentou durante estes períodos as concentrações de 7,45mg/l e 14,9mg/l, respectivamente.

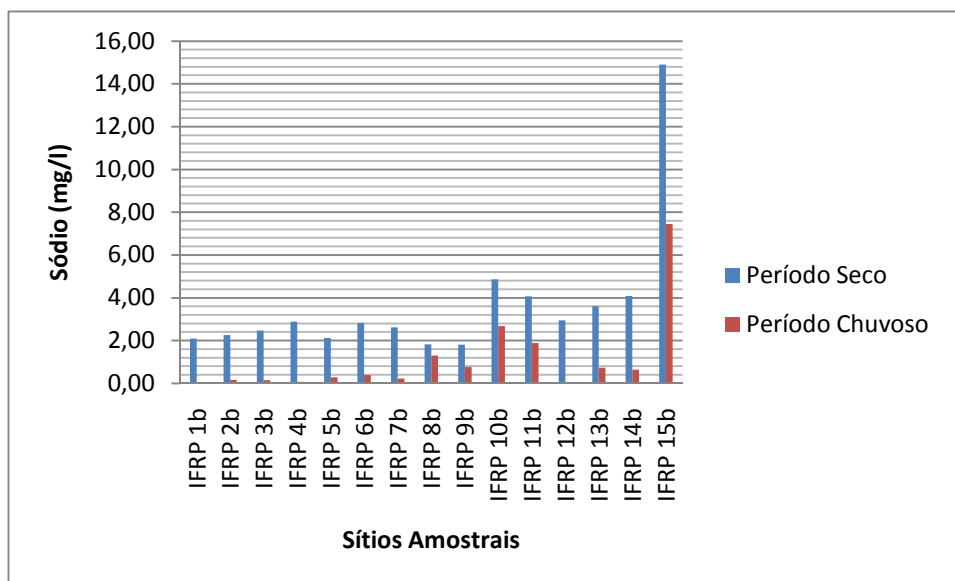


Figura 3.20: Variação sazonal da concentração de sódio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

3.2.2 – PRINCIPAIS CONSTITUINTES SECUNDÁRIOS

3.2.2.1 – ALUMÍNIO (Al)

O alumínio é o terceiro maior elemento em ordem de abundância na crosta terrestre. Ocorre em minerais, rochas e argilas. A sua vasta distribuição está ligada ao fato de o alumínio estar presente em quase todas as águas naturais, sob a forma de sais solúveis, colóides ou componentes insolúveis (GREENBERG *et al.*, 1992).

Porém o alumínio encontrado nas águas doces possui solubilidade extremamente baixa. Muitas vezes tem nestes casos a forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$. O alumínio se torna solúvel para condições de pH menor do que 4,2 e maior do que 8, sendo esses valores, geralmente não usuais, encontrados nas drenagens superficiais (CARVALHO, 1995).

Para o alumínio, foi estabelecida a concentração limite de 0,1mg/l para as águas doces de classe 1 e 2 e 0,2mg/l para as de classe 3, pela Resolução CONAMA 357/05.

Na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, as concentrações de Al apresentaram variações entre 0,02mg/l e 0,06mg/l. No período seco a concentração variou entre 0,02mg/l e 0,08mg/l.

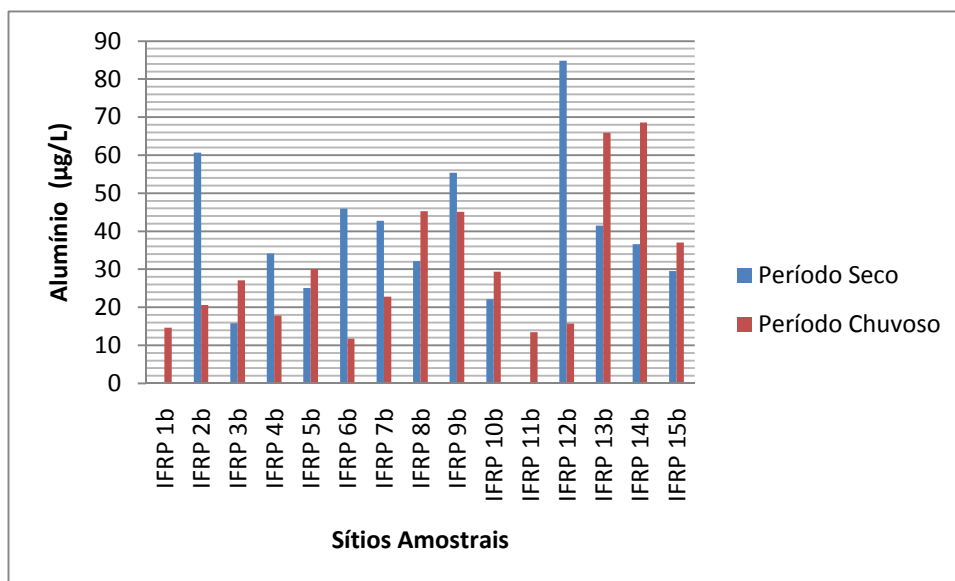


Figura 3.21: Variação sazonal da concentração de alumínio nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

O Rio Doce apresentou a concentração de Al entre 0,06mg/l durante o período chuvoso e 0,03mg/l durante o período seco. O Ribeirão Ipanema apresentou as concentrações de 0,04mg/l e 0,03mg/l, nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. Estes valores estão representados na Figura 3.22.

Todos os sítios monitorados estiveram dentro do limite permitido pela legislação em relação à concentração de alumínio.

3.2.2.2 – BÁRIO (Ba)

Apesar da sua abundância relativamente elevada, em comparação com outros elementos menores na crosta terrestre (é o décimo sexto maior elemento em ordem de abundância), o bário ocorre apenas em quantidades traço na água (GREENBERG *et al.*, 1992).

É capaz de causar bloqueio nervoso e – mesmo em doses pequenas ou moderadas – vaso constricção, com aumento da pressão sanguínea (SANTOS, 1997).

O bário pode ocorrer naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes minerais. Em geral, ocorre nas águas naturais em concentrações muito baixas, de $7 \cdot 10^{-4}$ a 0,9mg/l (IGAM, 2007). Para o bário, foi estabelecida a concentração limite de 0,7mg/l para as águas doces de classe 1 e 2 e 1,0mg/l para as de classe 3, pela Resolução CONAMA 357/05.

Na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, as concentrações de bário apresentaram variações entre $6,2 \cdot 10^{-4}$ mg/l e 0,01mg/l. No período seco a concentração variou entre $8,7 \cdot 10^{-3}$ mg/l e 0,02mg/l.

O Rio Doce apresentou a concentração de bário entre $6,89 \cdot 10^{-3}$ mg/l durante o período chuvoso e 0,02mg/l durante o período seco. No Ribeirão Ipanema foi determinada a mesma concentração no período chuvoso e período seco: 0,02mg/l. Estes valores estão representados na Figura 3.23.

Todos os sítios monitorados estiveram dentro do limite permitido pela legislação em relação à concentração de bário.

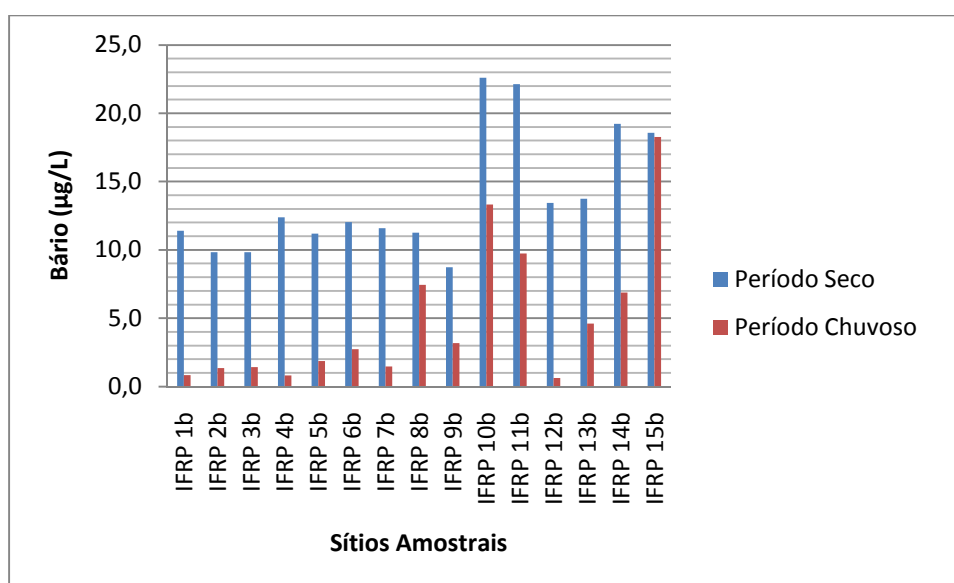


Figura 3.22: Variação sazonal da concentração de bário nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

3.2.2.3 - MANGANÊS (Mn)

O manganês assemelha-se ao ferro quimicamente, sendo menos abundante que o mesmo, conseqüentemente, sua presença nas águas naturais é menos comum e sua concentração, em geral, é muito menor que a do ferro. Este elemento desenvolve coloração negra na água, podendo-se se apresentar nos estados de oxidação Mn^{+2} (forma mais solúvel) e Mn^{+4} (forma menos solúvel).

Raramente atinge concentrações de 1,0mg/l em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de 0,2mg/l ou menos. É muito usado na indústria do aço, na fabricação de ligas metálicas e baterias e na indústria química em tintas, vernizes, fogos de artifícios e fertilizantes, entre outros (CETESB, *site* 2009).

A presença excessiva do manganês afeta o sabor da água, provoca o tingimento em instalações sanitárias e em roupas após lavagem e depósitos em sistemas de distribuição de águas. O manganês também afeta pela doença denominada manganismo – a exposição a este metal pode interagir com o processo de envelhecimento, levando indivíduos mais velhos a um maior risco de desenvolverem uma síndrome semelhante à doença de Parkinson (IGAM, 2006). Para o manganês, foi estabelecida a concentração limite de 0,1mg/l para as águas doces de classe 1 e 2 e 0,5mg/l para as de classe 3, pela Resolução CONAMA 357/05.

Conforme mostra a Figura 3.24, na Bacia do Rio Piracicaba, durante o período chuvoso, as concentrações de manganês apresentaram variações entre $2,15 \cdot 10^{-3}$ mg/l e 0,04mg/l. No período seco a concentração variou entre 0,01mg/l e 0,05mg/l.

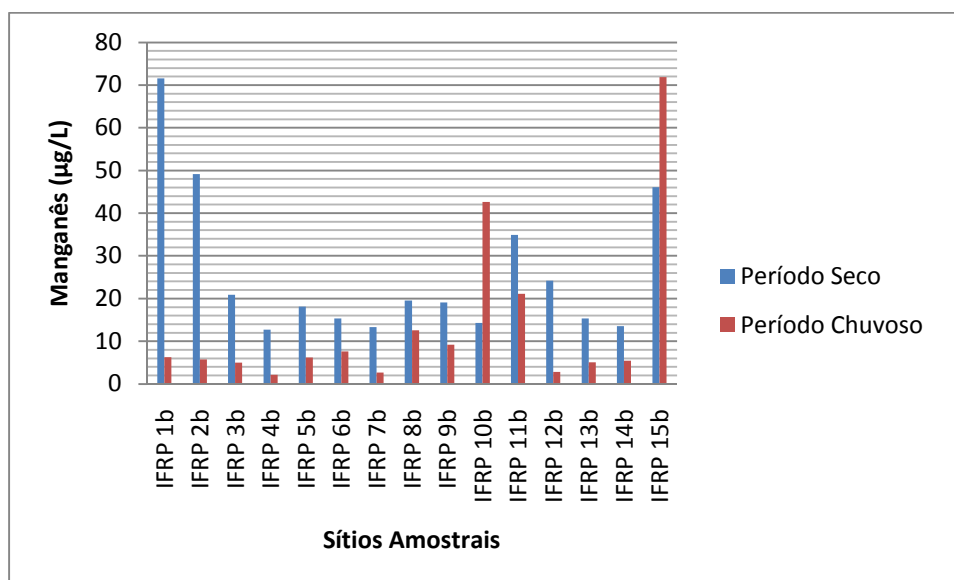


Figura 3.23: Variação sazonal da concentração de manganês nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

O Rio Doce apresentou a concentração de Mn entre $5,44 \cdot 10^{-3}$ mg/l durante o período chuvoso e 0,01mg/l durante o período seco. As maiores concentrações foram determinadas no Ribeirão Ipanema: 0,07mg/l e 0,05mg/l, nos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

Todos os valores encontrados ficaram abaixo do permitido pela legislação para as águas doces de classe 2.

3.2.3 – OUTROS ELEMENTOS

Neste grupo foram incluídos As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, P, Pb, S, Sc, Si, Sr, Ti, V, Y e Zn. Os elementos berílio, cobalto, lítio, molibdênio, chumbo, escândio, titânio e ítrio apresentaram concentrações menores que o limite de quantificação (<LQ) do ICP-EOS em todos os sítios amostrados durante as campanhas das épocas chuvosa e seca. Os elementos arsênio e cobre apresentaram concentrações menores que o limite de quantificação (<LQ) do ICP-EOS em todos os sítios amostrados durante as campanhas da época seca e os elementos cromo, níquel e vanádio apresentaram concentrações menores que o limite de quantificação (<LQ) do ICP-EOS em todos os sítios amostrados durante a campanha da época chuvosa.

3.2.3.1 – ARSÊNIO (As)

O arsênio, quando muito puro, é utilizado na tecnologia de semicondutores, para preparar arsenieto de gálio. Este composto é utilizado na fabricação de diodos, transistores e lasers. A toxicidade do arsênio depende do seu estado químico. Enquanto o arsênio metálico e o sulfeto de arsênio são praticamente inertes, o gás AsH_3 é extremamente tóxico. De um modo geral, os compostos de arsênio são perigosos, principalmente devido aos seus efeitos irritantes na pele. A toxicidade destes compostos se deve, principalmente, à ingestão e não à inalação, embora cuidados de ventilação em ambientes industriais que usem compostos de arsênio sejam necessários (IGAM, 2007).

É um elemento calcófilo, e a sua presença nas amostras de rocha estão relacionados freqüentemente com os veios de sulfeto presentes nas áreas estudadas (PARRA, 2006). A Resolução CONAMA 357/05 fixa os valores de arsênio em até 0,01mg/l para as águas doces de classe 1 e 2 e 0,033mg/l para as águas doces de classe 3. Além disso, nas águas doces onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, além dos padrões estabelecidos acima, aplica-se o valor de $1,4 \cdot 10^{-4}$ mg/l de As para as águas doces de classe 1.

Em todos os sítios amostrados a concentração de As ficou abaixo do limite de quantificação, que é de 0,001mg/l, exceto em um único sítio no período chuvoso (IFRP5a, Ribeirão Bicudo) que alcançou o valor de 0,06mg/l. Este valor está bem acima dos valores limites estipulados pela Resolução CONAMA 357/05, e é extremamente preocupante pelo fato de o Ribeirão Bicudo ser utilizado pela população para a pesca e recreação (FCTH, 2000).

3.2.3.2 – CÁDMIO (Cd)

O cádmio é muito utilizado na indústria, apresenta alta afinidade pelo grupo sulfeto, o que leva à um aumento da sua solubilidade em lipídeos, sua bioacumulação e sua toxicidade. O cádmio se acumula por toda a cadeia trófica, e também diminui a capacidade de osmorregulação dos peixes (NAVAS-PEREIRA *et al.*, 1985).

O cádmio se apresenta nas águas naturais devido às descargas de efluentes industriais, principalmente as galvanoplastias, produção de pigmentos, baterias, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes e acessórios fotográficos. É também usado como inseticida. A queima de combustíveis fósseis consiste também numa fonte de cádmio para o ambiente. É um subproduto da mineração do zinco (VON SPERLING, 2005). O cádmio pode ser fator para vários processos patológicos no homem, incluindo disfunção renal, hipertensão, arteriosclerose, inibição no crescimento, doenças crônicas em idosos e câncer (IGAM, 2006).

Em todos os sítios amostrados no período chuvoso a concentração de cádmio ficou abaixo do limite de quantificação ($4,29 \cdot 10^{-3}$ mg/l), exceto em um (IFRP9a, Rio Ipanema), que alcançou o valor de $4,47 \cdot 10^{-3}$ mg/l. No período seco, 2 sítios ficaram acima do limite de quantificação: IFRP3b e 5b, com os valores de 0,01mg/l e 0,008mg/l, respectivamente. A Resolução CONAMA 357/05 determina que a concentração de Cd não deverá ultrapassar o valor limite de 0,001mg/l para as águas doces de classe 1 e 2 e 0,01mg/l para as águas doces de classe 3. Portanto, todos os sítios em que foi possível quantificar os valores de Cd apresentaram valores bem acima do permitido pela legislação.

3.2.3.3 – COBRE (Cu)

O cobre ocorre geralmente nas águas, naturalmente, em concentrações inferiores a 0,02mg/l. O cobre em pequenas quantidades é até benéfico ao organismo humano, catalisando a assimilação do ferro e seu aproveitamento na síntese da hemoglobina do sangue humano, facilitando a cura de anemias.

As fontes de cobre para o meio ambiente são as mais variáveis. Elas incluem, por exemplo, corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos e uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos. Ocorrem também escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos

agrícolas do cobre como fungicidas e agroquímicos no tratamento de solos. Outras fontes são efluentes, e precipitação atmosférica de fontes industriais. As principais fontes industriais incluem indústrias de mineração, fundição e refinação (CETESB, *site* 2009). Já no homem a principal via de entrada é pela dieta alimentar, incluindo tanto bebidas como comidas. Entre 40% e 70% do cobre ingerido via oral é retido, sendo o restante eliminado pela bile, fezes e urina. O cobre acumula-se nos organismos aquáticos (NAVAS-PEREIRA *et. al.*, 1985).

A Resolução CONAMA 357/05 determina que a concentração de Cu não deverá ultrapassar o valor limite de 0,009mg/l para as águas doces de classe 1 e 2 e 0,013mg/l para as águas doce de classe 3.

Em todas as campanhas os teores do cobre nas águas do Rio Piracicaba e em seus afluentes ficaram abaixo do limite de quantificação (7,12µg/l), exceto em um único sítio, no período chuvoso, onde o teor de cobre alcançou o altíssimo valor de 0,045mg/l (Rio Ipanema, IFRP9a).

O Projeto Águas de Minas (IGAM, 2006) que monitora diversas estações de coleta em diferentes bacias de Minas Gerais também encontrou em vários pontos de amostragem concentrações acima dos limites estabelecidos na legislação para o cobre dissolvido: este metal provavelmente vem acumulando-se no sedimento deste rio ao longo dos anos. A sua origem está associada com fábricas e indústrias (por exemplo, materiais cerâmicos e siderúrgicas), sendo portanto revolvido na época das chuvas.

3.2.3.4 – FÓSFORO (P)

O fósforo é um nutriente essencial para os organismos vivos e existe nos corpos de água nas formas dissolvida e particulada. Geralmente é o fator limitante da produtividade primária e incrementos artificiais nas concentrações podem indicar poluição, sendo a principal causa da eutrofização dos corpos de água. As fontes naturais de fósforo são principalmente as rochas (intemperismo) e a decomposição da matéria orgânica. Águas residuárias domésticas (particularmente contendo detergentes), efluentes industriais e fertilizantes (escoamento superficial) contribuem para a elevação dos níveis de fósforo nas águas superficiais (ESTEVES, 1988).

A Resolução CONAMA 357/05 fixa os valores para o fósforo total para as águas doces de ambientes lóticos classe 1 e 2 em até 0,025mg/l e para as águas doces de classe 3 em até 0,15mg/l.

As concentrações de fósforo, na maioria das águas naturais, encontram-se entre 0,005mg/l e 0,020mg/l (CHAPMAN, 1992).

Em todos os sítios amostrados a concentração de fósforo ficou abaixo do limite de quantificação ($4,79 \cdot 10^{-5}$ mg/l), exceto em um único sítio (IFRP15a, Ribeirão Ipanema), que alcançou o valor de 0,068mg/l no período chuvoso e 0,347mg/l no período seco. Estes dois valores ficaram bem acima do estipulado pela legislação.

É importante observar que os nutrientes (nitrogênio e fósforo) estão associados às partículas finas em suspensão, cujo transporte depende da descarga. Dessas formas, as variações nas concentrações e nutrientes dependem principalmente do seu regime hidrológico, sendo possível observar as maiores concentrações no período seco, quando a diluição dos poluentes é menor. Neste trabalho apenas no ponto IFRP-15 foi detectado P, e o menor valor detectado foi encontrados no período chuvoso e o maior no período seco, podendo este fato estar relacionado com o período pluviométrico, diluindo as cargas de despejo sanitário e industrial.

3.2.3.5 – ENXOFRE (S)

O S é elemento essencial a todas as plantas, visto que é necessário para a síntese dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina, os quais constituem vitaminas, hormônios e enzimas (CARMONA, 2007). A Resolução CONAMA 357/05 não determina valores limites para o enxofre.

No período chuvoso, a concentração de S na Bacia do Rio Piracicaba variou entre <LQ e 0,21mg/l. No período seco, variou entre 0,09mg/l e 0,95mg/l.

O Rio Doce apresentou a concentração de S entre 0,16mg/l no período chuvoso e 0,82mg/l no período seco. O Ribeirão Ipanema apresentou os seguintes valores nestes mesmos períodos: 2,79mg/l e 5,47mg/l, respectivamente.

3.2.3.6 – SILÍCIO (Si)

A Resolução CONAMA 357/05 não determina valores limites para o silício.

Nas águas da Bacia do Rio Piracicaba, os teores de Si variaram entre $1,7 \cdot 10^{-3}$ mg/l e 5,63mg/l, durante o período chuvoso. No período seco as concentrações do silício variaram entre 4,18mg/l e 10,93mg/l.

A concentração de Si no Rio Doce variou entre 0,05mg/l e 5,10mg/l nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. No Ribeirão Ipanema, nestes mesmos períodos, as concentrações alcançaram os valores de 5,68mg/l e 6,73mg/l.

3.2.3.7 – ESTRÔNCIO (Sr)

As fontes naturais de estrôncio são minerais silicáticos, onde o Sr substitui elementos com Na, K e Rb, que ocorre, por exemplo, freqüentemente nos feldspatos.

Nas águas da Bacia do Rio Piracicaba, os teores do Sr variaram entre $7 \cdot 10^{-4}$ mg/l e $1,97 \cdot 10^{-3}$ mg/l, durante o período chuvoso. No período seco as concentrações do estrôncio variaram entre $5,59 \cdot 10^{-3}$ mg/l e $2,91 \cdot 10^{-2}$ mg/l.

O Rio Doce apresentou a concentração de estrôncio entre $6,03 \cdot 10^{-3}$ mg/l durante o período chuvoso e $2,83 \cdot 10^{-2}$ mg/l durante o período seco. O Ribeirão Ipanema apresentou durante estes mesmos períodos as seguintes concentrações: $6,91 \cdot 10^{-2}$ mg/l e $6,97 \cdot 10^{-2}$ mg/l, respectivamente.

3.2.3.8 – ZINCO (Zn)

O zinco é considerado como um dos elementos essenciais à saúde humana, mas dependendo da concentração pode chegar a ser tóxico (NAVAS-PEREIRA *et al.*, 1985). A presença de zinco é comum nas águas naturais. Em águas superficiais, normalmente as concentrações estão na faixa de <0,001 a 0,10mg/l. É largamente utilizado na indústria e pode entrar no meio ambiente através de processos naturais e antropogênicos, entre os quais destacam-se a produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, efluentes domésticos e produção de ferro e aço (CETESB, *site* 2009).

A Resolução CONAMA 357/005 fixa os seguintes limites máximos para o zinco total: 0,18mg/l para as águas doces classe 1 e 2 e 5mg/l para as águas doces classe 3.

No período chuvoso os teores do zinco nas águas do Rio Piracicaba e em seus afluentes ficaram em sua maioria abaixo do limite de quantificação ($1,89 \cdot 10^{-3}$ mg/l), exceto

em três sítios: IFRP2a, com o valor de 0,0048mg/l; IFRP9a, com 0,026mg/l e IFRP13a, que alcançou o valor de 0,28mg/l.

No período seco apenas três sítios ficaram acima do limite de quantificação: IFRP 2b e 13b, apresentando os seguintes valores: $7,73 \cdot 10^{-3}$ mg/l e $9,99 \cdot 10^{-3}$ mg/l.

3.2.3.9 - NÍQUEL (Ni)

No período chuvoso os teores de níquel nas águas do Rio Piracicaba e em seus afluentes ficaram abaixo do limite de quantificação, e no período seco apenas um sítio (IFRP7b) alcançou um valor acima do LQ: $8,57 \cdot 10^{-3}$ mg/l.

3.2.3.10 – BERÍLIO (Be), CHUMBO (Pb), COBALTO (Co), CROMO (Cr), ESCÂNDIO (Sc), ÍTRIO (Y), LÍTIO (Li), MOLIBIDÊNIO (Mo), TITÂNIO (Ti), VANÁDIO (V)

Todos os elementos citados ficaram abaixo do limite de quantificação possíveis de serem determinados pelo ICP-EOS, conforme apresentado nos Anexos 2 e 3.

3.3 – DIAGRAMAS DE CORRELAÇÃO NAS ÁGUAS

Muitos minerais, mesmo tendo uma composição definida, não são compostos estequiométricos, isto é, acontecem substituições de elementos químicos nos seus retículos cristalinos. Tais substituições, favorecidas por cargas e raios iônicos similares (regras de Goldschmidt), podem atingir poucas percentagens. Fala-se nesse caso de diadécia. Um exemplo disso: os teores de Ag na galena (PbS). Em outros casos, a substituição pode ser até completa. Fala-se neste caso de isomorfismo, exemplo: olivina com seus membros extremos Fayalita (Fe_2SiO_4) e Forsterita (Mg_2SiO_4). Ocorrem, além disso, muitos minerais contendo mais do que um cátion, numa relação quase constante, exemplo Dolomita ($\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$).

Tais minerais, sofrendo processos de desagregação, liberam sempre os seus constituintes em quantias similares. Ou seja, se, por exemplo, um dolomito, contendo principalmente o mineral dolomita, intemperiza-se, Ca e Mg são liberados simultaneamente. Se muita rocha é desintegrada, os teores de Ca e Mg crescem numa escala igual. Se só pouco material foi alterado, as concentrações de Ca e Mg ficam baixas, mas sempre nas mesmas relações.

Tomando este princípio como base, foram elaborados alguns gráficos exemplificando as semelhanças na distribuição das concentrações existentes entre alguns elementos no Rio Piracicaba e em seus tributários.

3.3.1 - CÁLCIO E MAGNÉSIO

Como mostram as Figuras 3.25 e 3.26, o cálcio e o magnésio apresentam correlações positiva, ou seja, distribuições bastante semelhantes na Bacia do Rio Piracicaba.

O cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) são dois elementos tipicamente litófilos no sentido da classificação de GOLDSCHMIDT (1937). Eles fazem parte dos elementos maiores na composição da crosta terrestre.

Favorecido por raios iônicos semelhantes, seguindo a regra das substituições de Goldschmidt, eles ocorrem em comum em muitos minerais formadores de rochas. Outra característica típica dos dois elementos é a possibilidade e a frequência da sua substituição em muitos minerais.

Participam, deste modo, na formação do grupo dos carbonatos (calcita = CaCO_3 , magnesita = MgCO_3 e, principalmente dolomita = $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Ocorrem como nesosilicatos (granadas $\text{X}^{2+}_3\text{Y}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$ – com Ca e Mg na posição de X^{2+}), como olivina ($\text{Fe,Mg}(\text{SiO}_4)$ e, além disso, inossilicatos como piroxênios ($\text{X}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) e anfibólios ($(\text{X}^{2+})_7[(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}]$) incorporando esses elementos também nas posições de X^{2+} .

Assim não surpreende a correlação positiva destes dois elementos na região em estudo. Isso reflete, com certeza, uma ocorrência litológica em comum, já que muito dos minerais mencionados ocorrem em rochas do embasamento (EVANGELISTA & ROESER, 1990), cuja litologia influencia grande parte da área em estudo. Parte do cálcio pode ser resultante do intemperismo dos feldspatos.

Toda essa discussão evidencia, assim, que estes elementos são oriundos de uma mesma fonte, neste caso as formações litológicas em que se encontram.

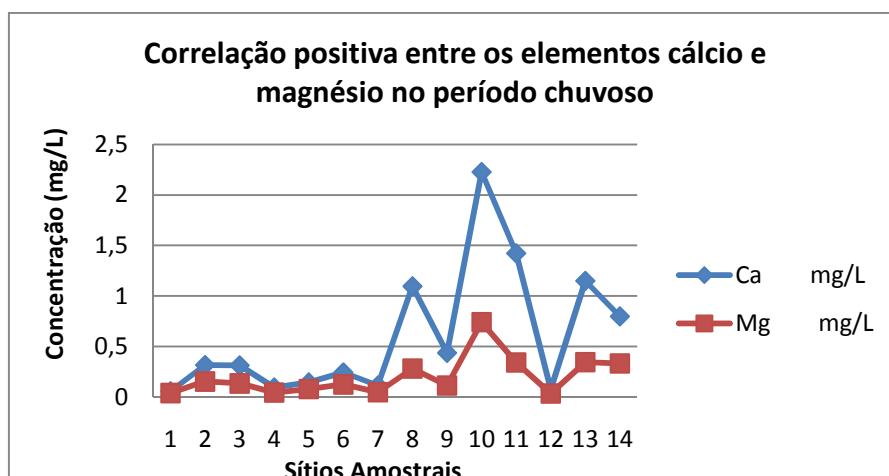


Figura 3.24: Correlação positiva entre os elementos cálcio e magnésio no período chuvoso, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

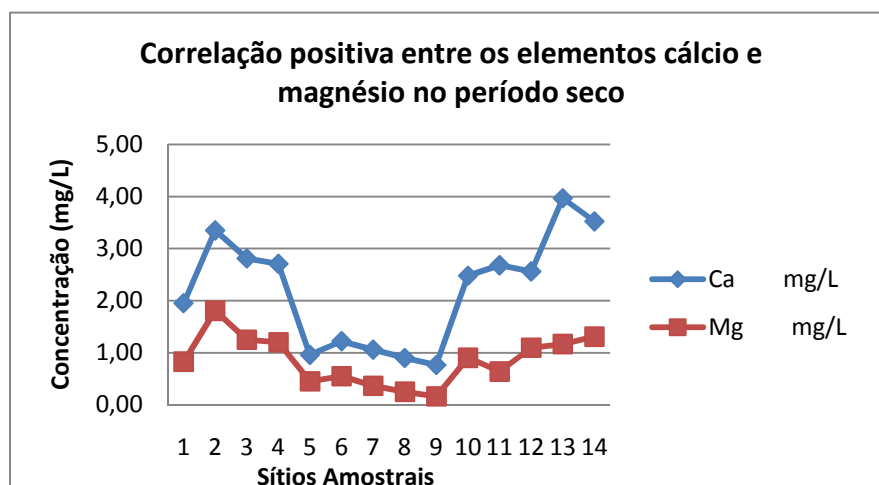


Figura 3.25: Correlação positiva entre os elementos cálcio e magnésio no período seco, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

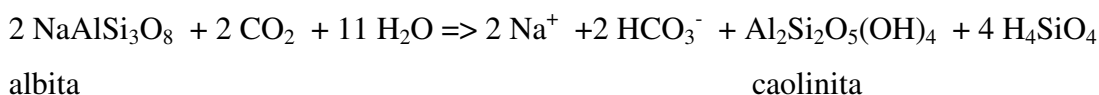
3.3.2 - POTÁSSIO E SÓDIO

A distribuição de potássio e sódio deve-se, com certeza, à litologia local. Os dois elementos fazem parte dos dez elementos mais abundantes na crosta terrestre. Eles são fixados principalmente nos feldspatos. Como mostra o mapa geológico simplificado da região (Figura 1.7), as rochas predominantes na região são as do tipo granitos e gnaisses.

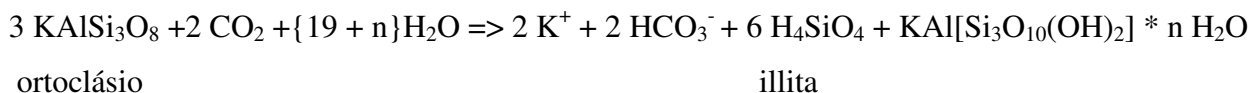
O sódio forma juntamente com cálcio a solução sólida dos plagioclásios e encontra-se na composição de albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). O potássio ocorre na forma de um feldspato alcalino (ortoclásio KAlSi_3O_8).

Os feldspatos fazem parte dos 6 (seis) grupos de minerais mais frequentes da crosta da Terra, os plagioclásios com 39% Vol. e o ortoclásio com 12% Vol. Durante processos do intemperismo, muito comum na área em estudo, estes feldspatos se desintegram sob a influência dos componentes do intemperismo, basicamente H_2O e CO_2 , conforme as Equações (1) a (3), liberando K^+ e Na^+ :

Equação (1):

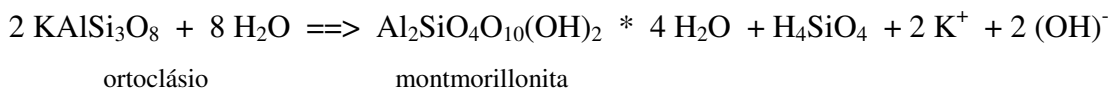


Equação (2):

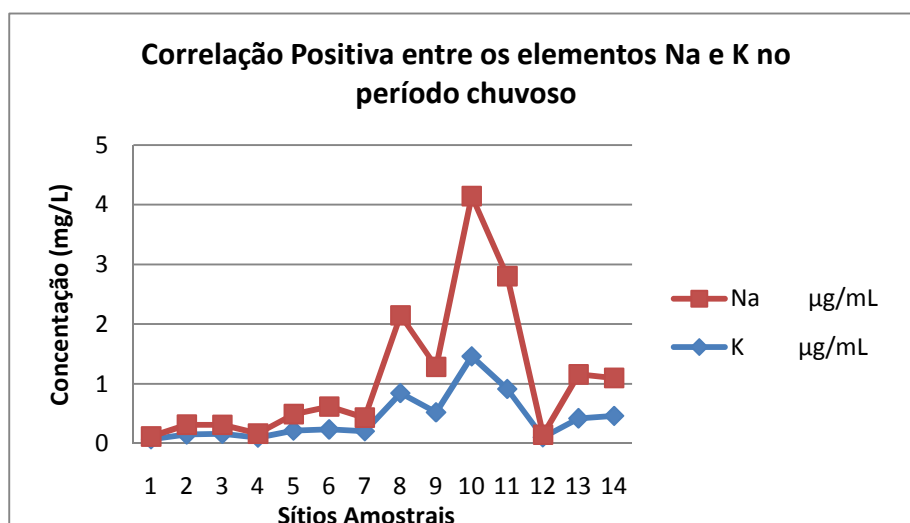


É interessante mencionar neste sentido que o intemperismo de 280g de ortoclásio gasta 88g de CO_2 . Muito comuns também são os simples processos de hidrólise que atuam sem participação de CO_2 , como mostra a Equação (4):

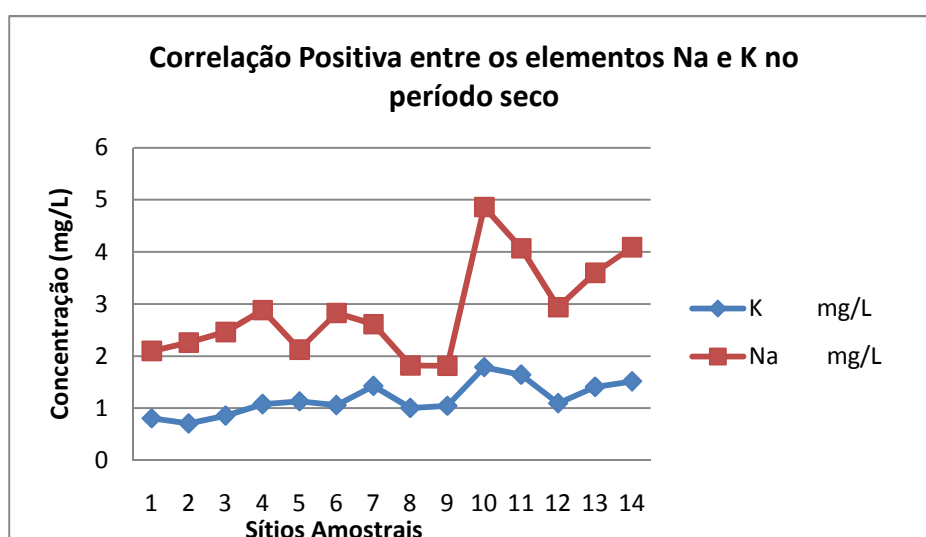
Equação (4):



Os resultados desse complexo grupo de reações do intemperismo refletem-se, como se pode observar, na semelhança na distribuição destes elementos, contribuindo para a presença destes na água da Bacia do Rio Piracicaba (Figura 3.27 e 3.28).



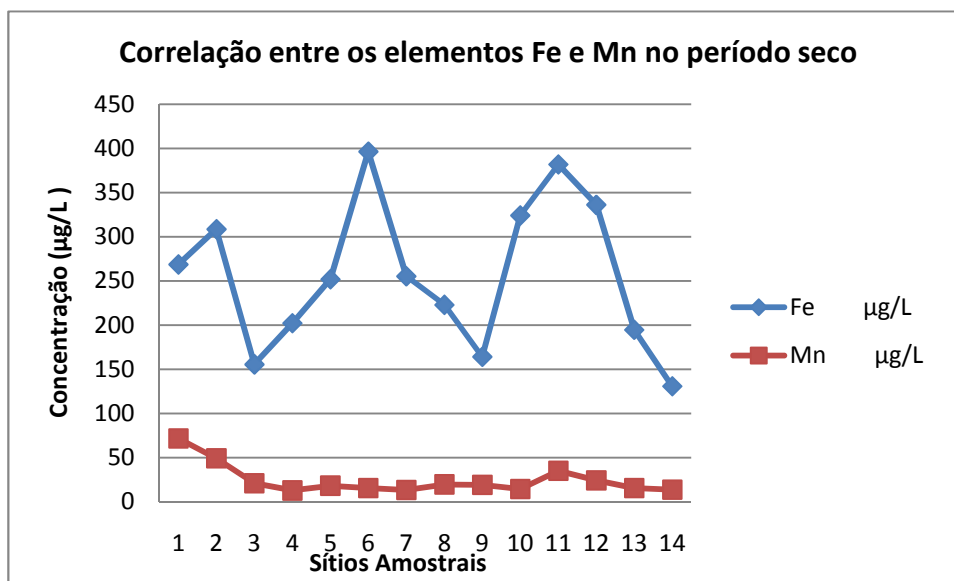
Figuras 3.26: Correlação Positiva entre os elementos Sódio e Potássio no período chuvoso, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.



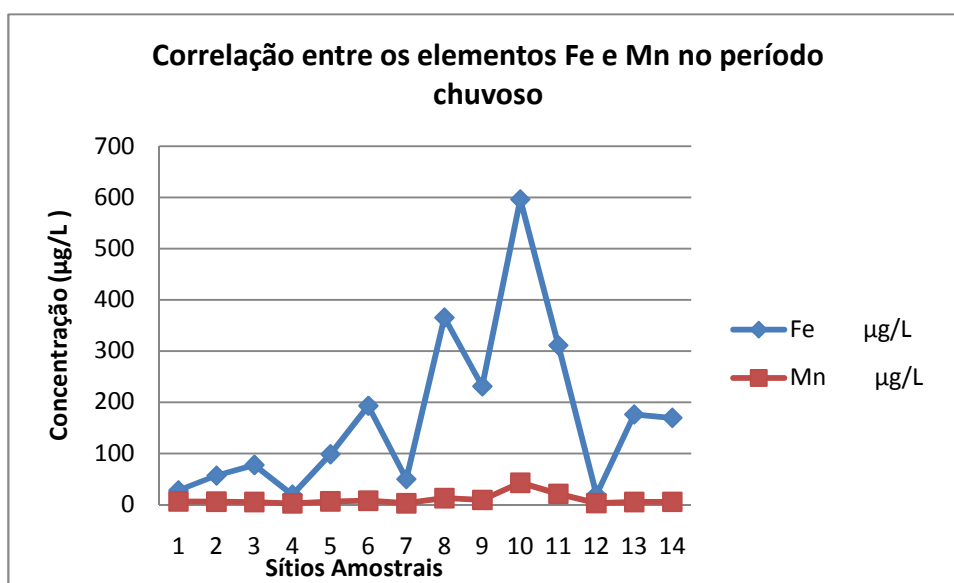
Figuras 3.27: Correlação Positiva entre os elementos Sódio e Potássio no período seco, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

3.3.3 - FERRO E MANGANÊS

Por outro lado, alguns elementos não apresentaram quase nenhuma correlação, como o caso do ferro e manganês, como pode ser observado nos gráficos das Figuras 3.29 e 3.30. Apenas o ponto IFRP 11 apresentou uma correlação positiva.



Figuras 3.28: Correlação Positiva entre os elementos Manganês e Ferro no período seco, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.



Figuras 3.29: Correlação Positiva entre os elementos Manganês e Ferro no período chuvoso, nas águas da Bacia do Rio Piracicaba.

Geralmente o Fe ocorre junto com Mn, mas aqui não parece o caso. Pode ser que o comportamento diferente durante os processos de intemperismo causou esta “não correlação”, já que o Fe é um elemento influenciado principalmente pelos processos de oxidação (oxigênio), enquanto no caso de manganês o CO₂ poder interferir. Isso seria um ponto para estudos mais aprofundados.

3.4 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SEDIMENTO

Os teores de metais e metalóides como Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sn, Ti, V e Zn foram determinados por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS), marca SPECTRO/ modelo *Ciros* CCD em operação no LGqA/DEGEO/UFOP. Pesquisaram-se todos os elementos citados acima por fazer parte da rotina do LGqA.

Os elementos Berílio (Be) e Cádmio (Cd) ficaram abaixo do limite de quantificação em todos os sítios amostrados, conforme os Anexos 4 e 5.

3.4.1 – ELEMENTOS MAIORES: ALUMÍNIO, POTÁSSIO E MAGNÉSIO

3.4.1.1 – ALUMÍNIO

Durante o período chuvoso, a concentração de alumínio nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 28569mg/kg a 160233mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 60358mg/kg a 169588mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Al nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 42436mg/kg a 157625mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 66287mg/kg a 173885mg/kg.

A concentração de Al no Rio Doce variou de 111614mg/kg durante o período chuvoso e 133921mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 108782mg/kg e 127214mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.1.2 – POTÁSSIO

Os minerais que contém potássio como principal constituinte são os feldspatos, micas (moscovitas) leucita e nefelina (WEDEPOHL, 1978).

Durante o período chuvoso, a concentração de K nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 2772mg/kg a 20594mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 8428mg/kg a 35260mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de K nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 3303mg/kg a 18267mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 8428mg/kg a 35260mg/kg.

A concentração de K no Rio Doce variou de 10967mg/kg durante o período chuvoso e 12041mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 22356mg/kg e 14884mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.1.3 – MAGNÉSIO

O magnésio participa da composição de minerais de vários grupos: óxidos e hidróxidos; silicatos; carbonatos; sulfatos; arseniados; boratos, halóides e outros minerais. Nos sedimentos, além dos minerais evaporitos, que é um caso especial, está presente principalmente na dolomita e filos-silicatos (WEDEPOHL, 1978).

Durante o período chuvoso, a concentração de Mg nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 1388mg/kg a 1975mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 547mg/kg a 33202mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Mg nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 1474mg/kg a 2974mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 480mg/kg a 7817mg/kg.

A concentração de Mg no Rio Doce variou de 3362mg/kg durante o período chuvoso e 2533mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 6258mg/kg e 6498mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.2 - CÁLCIO, FERRO E MANGANÊS

3.4.2.1 - CÁLCIO

Durante o período chuvoso, a concentração de Ca nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 1174mg/kg a 3212mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 1874mg/kg a 8026mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Ca nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 1468mg/kg a 3664mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 1272mg/kg a 6272mg/kg.

A concentração de Ca no Rio Doce variou de 3057mg/kg durante o período chuvoso e 4779mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 11691mg/kg e 13893mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.2.2 - FERRO

Minerais de rochas ígneas cujo conteúdo de ferro é relativamente alto incluem piroxênios, anfibólios, biotina, magnetita e principalmente olivina (WEDEPOHL, 1978).

Durante o período chuvoso, a concentração de Fe nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 58295mg/kg a 599601mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 44626mg/kg a 341233mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Fe nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 64703mg/kg a 412136mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 48742mg/kg a 317727mg/kg.

A concentração de Fe no Rio Doce variou de 192621mg/kg durante o período chuvoso e 156722mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 95105mg/kg e 138276mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.2.3 – MANGANÊS

O manganês é um constituinte significativo das rochas basálticas, ricas em olivina, piroxênios e anfibólios. Pequenas quantidades de manganês estão comumente presente em dolomita e no calcário, substituindo o cálcio. O principal mineral do manganês é a pirolusita (MnO_2), uma formação do intemperismo, que forma ainda outros óxidos e hidróxidos de manganês (WEDEPOHL, 1978).

Durante o período chuvoso, a concentração de Mn nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 790mg/kg a 1790mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 649mg/kg a 1394mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Mn nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 686mg/kg a 4097mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 580mg/kg a 2445mg/kg.

A concentração de Mn no Rio Doce variou de 1726mg/kg durante o período chuvoso e 1514mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 4521mg/kg e 7562mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.3 – METAIS-TRAÇO

Os metais traços são definidos como elementos químicos que ocorrem em concentrações de no máximo 0,1% nas rochas da crosta terrestre (ALLOWAY, 1993). O teor absoluto daqueles elementos na crosta é 0,126%. Esse grupo de elementos foi classificado neste trabalho em dois grupos. No primeiro grupo estão incluídos Co, Li, Ni e V. Os elementos Cr, Zn, Cu, As e Pb, também denominados metais pesados, correspondem ao tópico 3.3.4.

3.4.3.1 – COBALTO (Co)

O cobalto faz parte dos oligoelementos indispensáveis ao desenvolvimento e crescimento da maior parte dos animais. Em particular, entra na composição da vitamina B12 ou cobalamina, antianêmica (CETEM, 2008). O cobalto não é um elemento muito abundante, mas está bastante distribuído nas rochas, mar, águas minerais, carvão, meteoritos e atmosferas estelares. Praticamente todo o cobalto que se utiliza no mundo provém do tratamento de minérios complexados com outros elementos, nomeadamente cobre e níquel. O cobalto e seus compostos têm variadíssimas aplicações. São largamente usados nos laboratórios e nas indústrias como catalisadores. O molibdato de cobalto, por exemplo, é um catalisador muito utilizado na indústria petrolífera para a hidrodessulfuração e *reforming* de petróleos.

Durante o período chuvoso, a concentração de Co nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 18,7mg/kg a 28,8mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 13,9mg/kg a 56,5mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Co nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 20,17mg/kg a 38,14mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 12,2mg/kg a 34,2mg/kg.

A concentração de Co no Rio Doce variou de 40,8mg/kg durante o período chuvoso e 29,7mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 25,3mg/kg e 32,5mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.3.2 – LÍTIO (Li)

Durante o período chuvoso, a concentração de Li nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 4,63mg/kg a 21,97mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 10,4mg/kg a 23,7mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Li nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 5,86mg/kg a 17,78mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 8,78mg/kg a 21,67mg/kg.

A concentração de Li no Rio Doce variou de 14,10mg/kg durante o período chuvoso e 16,6mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 9,72mg/kg e 14,6mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.3.3 – VANÁDIO (V)

O vanádio pode ser encontrado, em menor quantidade, como um constituinte da magnetita, do piroxênio, do anfibólio e da biotita (WEDEPOHL, 1978).

Durante o período chuvoso, a concentração de V nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 80mg/kg a 221mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 142mg/kg a 266mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de V nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 76,6mg/kg a 213,3mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 83mg/kg a 206mg/kg.

A concentração de V no Rio Doce variou de 220mg/kg durante o período chuvoso e 142mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 210mg/kg e 301mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.4 – OUTROS METAIS PESADOS

Metais pesados, comumente definidos como sendo elementos químicos com densidade maior que 6g/cm^3 , ocorrem naturalmente nas formações rochosas e nos minérios. Portanto, existem em uma vasta variedade de concentrações normais na matriz desses elementos nos solos, sedimentos, águas e organismos vivos. O grau de poluição se eleva de forma anormal na presença de altas concentrações desses elementos comparados com os níveis normais; portanto, a presença do metal não é evidência suficiente, a concentração relativa é o que se deve levar em consideração (ALLOWAY, 1993).

As principais fontes antropogênicas de metais pesados que se somam às naturais, têm sido relacionadas aos efluentes urbanos (principalmente Cr, Cu, Pb, Zn, Mn e Ni), a queima de combustíveis fósseis (Cu, Ni, Pb), as indústrias de beneficiamento de ferro e aço (Cr e Zn), fertilizantes (Cu, Fe, Mn, Ni, As e Zn) e depósitos de rejeitos (Zn, Mn, As e Pb) (FÖRSTNER & WITTMAN, 1983).

3.4.4.1 – CROMO (Cr)

O cromo ocorre principalmente em rochas máficas e ultramáficas, sendo as últimas as mais ricas em cromo. É encontrado nas águas como Cr^{3+} e Cr^{6+} . O Cr^{6+} é facilmente reduzido pelo Fe^{2+} e sulfetos dissolvidos. Em contraste, o Cr^{3+} é oxidado rapidamente pelo excesso de MnO_2 e mais lentamente pelo próprio oxigênio da água (NAVAS-PEREIRA, *et. al.*, 1985).

Durante o período chuvoso, a concentração de Cr nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 81mg/kg a 222mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 53mg/kg a 1523mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Cr nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 103mg/kg a 230mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 35mg/kg a 425mg/kg.

A concentração de Cr no Rio Doce variou de 211mg/kg durante o período chuvoso e 900mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 288mg/kg e 438mg/Kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.4.2 – ZINCO (Zn)

O zinco pode substituir o ferro e o manganês em carbonatos, silicatos e óxidos. Minerais de argila, óxidos de ferro e substâncias orgânicas podem conter zinco (WEDEPOHL, 1978).

Durante o período chuvoso, a concentração de Zn nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 94,4mg/kg a 139mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 91mg/kg a 159mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Zn nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 89mg/kg a 164mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 91mg/kg a 266mg/kg.

A concentração de Zn no Rio Doce variou de 126mg/kg durante o período chuvoso e 201mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 1200mg/kg e 335mg/kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.4.3 – COBRE (Cu)

O cobre ocorre sob a forma dos minerais cobre nativo, uma grande variedade de sulfetos, como: calcopirita e covellita, óxidos como: cuprita e hidróxi - carbonatos como malaquita e azurita. Os últimos dois geralmente são produtos de intemperismo acima de jazidas de sulfetos (WEDEPOHL, 1978).

Durante o período chuvoso, a concentração de Cu nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de <LQ a 64,2mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 9,5mg/kg a 117mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Cu nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 17mg/kg a 175mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 16mg/kg a 571mg/kg.

A concentração de Cu no Rio Doce variou de 43,8mg/kg durante o período chuvoso e 92mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 3354mg/kg e 593mg/kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.4.4.4 – ARSÊNIO (As)

As ocorrências de As na região do Quadrilátero Ferrífero geralmente são conectadas com minas de Au, de onde As é liberado a partir de minerais como arsenopirita, que ocorrem em paragênese com outros sulfetos.

Durante o período chuvoso, a concentração de As nos sedimentos do Rio Piracicaba e em seus tributários ficaram todos abaixo do limite de quantificação, que é de 6,96mg/kg, exceto em dois sítios: IFRP10a e IFRP14a, onde alcançou os valores de 8,22mg/kg e 45,7mg/kg, respectivamente.

Durante o período seco a concentração de As nos sedimentos do Rio Piracicaba e em seus tributários ficaram todos abaixo do limite de quantificação, exceto em dois sítios: IFRP9b e IFRP14b, onde alcançou os valores de 9,75mg/kg e 10,8mg/kg, respectivamente.

3.4.4.5 – CHUMBO (Pb)

O chumbo é um dos metais tóxicos que tendem a se acumular nos tecidos dos homens e dos outros animais. No homem, a absorção do chumbo no trato digestivo varia consideravelmente com a idade: crianças absorvem até 50%, enquanto que os adultos retêm apenas 10% (NAVAS-PEREIRA *et. al.*, 1985). O chumbo é amplamente distribuído na crosta terrestre, sendo o maior constituinte de mais de 200 minerais, na sua maioria sulfetos. Os seus minerais mais importantes são o sulfeto de chumbo (galena), o carbonato de chumbo (cerussita), o sulfato de chumbo (anglesita) e o clorofosfato de chumbo (piromorfita). O chumbo apresenta tendência de se acumular em sedimentos e solos (WEDEPOHL, 1978).

Durante o período chuvoso, a concentração de Pb nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 42,54mg/kg a 85mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de <LQ a 63,3mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Pb nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 30mg/kg a 68,3mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 8,62mg/kg a 59,2 mg/kg.

A concentração de Pb no Rio Doce variou de 35,9mg/kg durante o período chuvoso e 45,3mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 60,6mg/kg e 88,9mg/kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

Segundo ALLOWAY (op. cit.), dentre outras fontes do chumbo estão o esgoto doméstico e a queima de combustíveis fósil.

3.4.4.6 – NÍQUEL (Ni)

O níquel pode substituir Fe^{2+} e magnésio em minerais ferro-magnesianos de rochas ígneas e tende a ser co-recipitado em óxidos de ferro e especialmente com óxidos de manganês, devido ao seu alto valor, o níquel é alvo da atividade mineradora (WEDEPOHL, 1978). Semelhantemente ao chumbo, é considerado altamente tóxico e bioacumulável (NAVAS-PEREIRA *et. al.*, 1985).

Durante o período chuvoso, a concentração de Ni nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 26,3mg/kg a 66,8mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 11,7mg/kg a 672mg/kg.

Durante o período seco, a concentração de Ni nos sedimentos do Rio Piracicaba variou de 32,11mg/kg a 72,5mg/kg. Nos tributários, a concentração variou de 11,2mg/kg a 158,3mg/kg.

A concentração de Ni no Rio Doce variou de 84,4mg/kg durante o período chuvoso e 183mg/kg durante o período seco, e no Ribeirão Ipanema variou entre 37,8mg/kg e 46,8mg/kg, nestes mesmos períodos, respectivamente.

3.5 – NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO DOS SEDIMENTOS

A Resolução CONAMA 357/05 não leva em conta o fato de os sedimentos agirem como um reservatório de contaminantes para o ambiente e para os organismos que vivem ou estão em contato direto com esse meio e que, portanto, eles podem representar um risco potencial para a biota. Na prática têm sido utilizados Valores-Guia de Qualidade de Sedimento para avaliar o risco dependente da exposição de organismos aquáticos à contaminantes que, eventualmente, possam estar presentes nos sedimentos.

A CETESB com base em critérios adotados pela *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME, 2001) estabelece padrões para a caracterização química e avaliação do teor de contaminação dos sedimentos. Os mesmos critérios foram adotados pela Resolução CONAMA 344/04 que estabelece diretrizes e procedimentos mínimos para a avaliação do material dragado. Os limites são para os elementos arsênio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, mercúrio, níquel e zinco, e baseiam-se nas concentrações totais e na probabilidade de ocorrência de efeito deletério sobre a biota. Os critérios dividem-se em

dois níveis: um mais baixo denominado TEL – *threshold effect level*- e o mais alto, denominado PEL – *probable effect level*. Estes níveis delimitam intervalos de probabilidade de ocorrência de efeitos biológicos adversos. Abaixo destes limites, espera-se que raramente seja observado algum efeito adverso para os organismos e acima destes limites, espera-se observar algum efeito adverso na biota com maior frequência. Na faixa entre TEL (Nível 1) e PEL (Nível 2) situam-se os valores onde ocasionalmente espera-se tais efeitos. A adoção desses valores teve caráter meramente orientativo na busca de evidências da presença de contaminantes em concentrações capazes de causar efeitos deletérios, sobretudo com relação à toxicidade para a biota (CETESB, *site* 2009).

Os teores dos elementos arsênio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, zinco e níquel encontrados nos sedimentos analisados neste trabalho foram comparados com os níveis TEL e PEL e estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3: Valores TEL e PEL apresentados para os elementos As, Cd, Pb, Cu, Cr, Zn e Ni.

Elemento	TEL (mg/Kg)	PEL (mg/Kg)	Amostras com valores entre PEL e TEL (período chuvoso)	Amostras com valores entre PEL e TEL (período seco)	Amostras com valores acima do PEL (período chuvoso)	Amostras com valores acima do PEL (período seco)
Arsênio	5,9	17	IFRP 10a	IFRP (b): 3, 9 e 14	IFRP 14a	IFRP (b): 4 e 13
Cádmio	0,6	3,5	-	-	-	-
Chumbo	35	90	IFRP (a): 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 14 e 15	IFRP (b): 1, 2, 3, 4, 9, 12, 14 e 15	-	-
Cobre	35,7	197	IFRP (a): 2, 5, 6, 7, 13 e 14	IFRP (b): 2, 3, 4, 5, 6, 11, 13 e 14	IFRP 15a	IFRP (b): 7, 8 e 15
Cromo	37,3	312,1	Todos os sítios, exceto IFRP 6a	IFRP (b): 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12 e 13	IFRP6	IFRP (b): 6, 14 e 15
Zinco	123	315	IFRP (a): 2, 3, 5, 8, 9, 11 e 14	IFRP (b): 3, 7, 9, 11, 13 e 14	IFRP15a	IFRP 15b
Níquel	18	35,9	IFRP (a): 2, 3, 4, 8, 11 e 12	IFRP (b): 2 e 11	IFRP (a): 1, 5, 6, 7, 10, 13, 14 e 15	IFRP (b): 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 12

De acordo com essa comparação, alguns sítios merecem destaque: IFRP15, por exemplo, apresentou concentrações acima do PEL para quatro dos sete elementos analisados: cobre (17 vezes maior no verão), zinco (3,8 vezes maior), cromo (1,4 vezes

maior no inverno) e para o níquel (1,3 vezes maior no inverno). O sítio IFRP6 merece destaque, pois apresentou uma concentração de níquel 18 vezes maior do que o limite esperado para o TEL no período seco.

O elemento cádmio não apresentou concentração dentro destes parâmetros para nenhuma das amostras analisadas durante os dois períodos analisados. O elemento níquel apresentou a concentração maior que o TEL em nove dos quinze sítios analisados, conforme observa-se na Tabela 3.

3.6 - DIAGRAMAS DE CORRELAÇÃO NOS SEDIMENTOS

3.6.1 - SÓDIO, CÁLCIO E POTÁSSIO

A distribuição de cálcio, sódio e potássio está relacionada à litologia local. Estes elementos fazem parte dos dez elementos mais abundantes na crosta terrestre. Eles são fixados principalmente nos feldspatos. As rochas predominantes na região são as do Complexo Mantiqueira, composto principalmente de rochas feldspáticas.

Como era esperado, foi verificada uma correlação positiva para os 3 elementos, conforme observa-se nas Figuras abaixo:

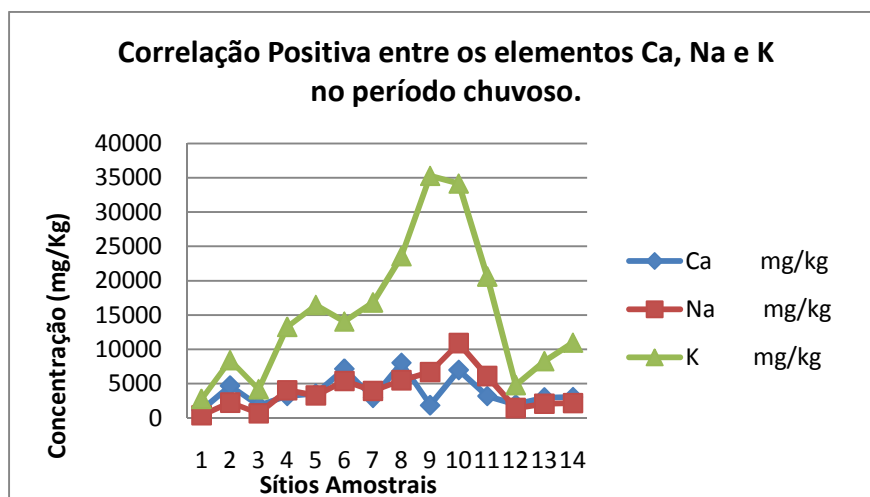


Figura 3.30: Correlação Positiva entre os elementos Na, Ca e K no período chuvoso, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba.

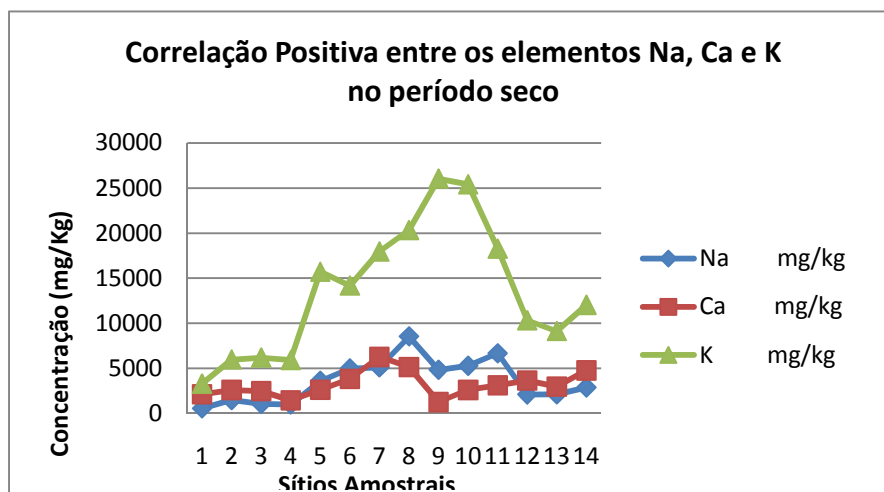


Figura 3.31: Correlação Positiva entre os elementos Na, Ca e K no período seco, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba.

3.6.2 – COBRE E ZINCO

Nas amostras de sedimento o cobre e o zinco apresentam correlações bastante positivas. São elementos tipicamente calcófilos e, muito provavelmente, derivados da mesma fonte, como mostram as correlações positivas entre eles (Figura 3.33 e 3.34). Estudos em outras regiões do Quadrilátero Ferrífero, como por exemplo no baixo curso do Rio Conceição, onde se encontram as minas de ouro, a ocorrência destes elementos é ligada aos processos de drenagem ácida, conectadas geralmente com minas de ouro (PARRA *et. al.*, 2007). Porém, em três pontos essas relações não foram observadas no inverno: IFRP 3, 5 e 9 e em um ponto no verão: IFRP 14. Assim, esses teores elevados de Cu, não correlacionáveis com o Zn, podem indicar eventualmente origem antropogênica.

No presente caso é necessário considerar que a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba possui unidades litológicas como xistos e metassedimentos vulcânicos que contêm esses elementos (ver Mapa 1.7). Além disso, o Piracicaba inferior recebe boa parte dos sedimentos do Rio Santa Bárbara, vindos do QF. São especialmente tais influências, e também contribuições do Rio Conceição (com minas ativas de Au) e do Piracicaba Superior (com antigas minas e ocorrências de Au) que provocam essas concentrações destes elementos nos sedimentos.

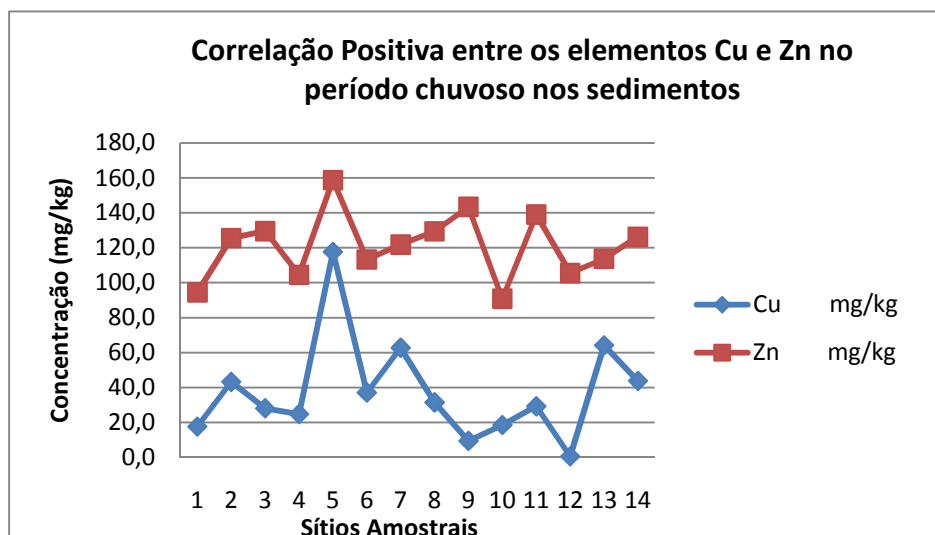


Figura 3.32: Correlação Positiva entre os elementos Cu e Zn no período chuvoso, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba.

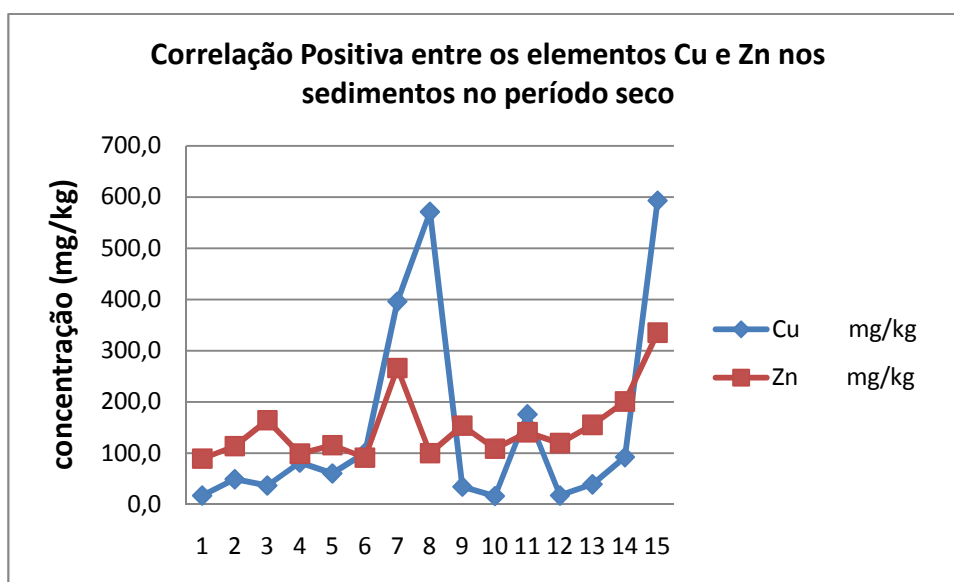


Figura 3.33: Correlação Positiva entre os elementos Cu e Zn no período seco, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba.

3.6.3 - CROMO E NÍQUEL

Os elementos siderófilos como Ni, Cr (e em parte o Co) são produtos de intemperismo de litotipos básicos-ultrabásicos. Na região em estudo, ocorrem muitos afloramentos de rochas contendo esses elementos. Convém mencionar neste sentido, que a presença de Cr nas rochas da região provocam as famosas ocorrências de esmeralda na região de Nova Era.

Cromo e Níquel são classificados por GOLDSCHMIDT (1937) como típicos elementos siderófilos. A sua ocorrência como elementos traços acontece principalmente em relação com rochas máficas-ultramáficas. Especialmente o Ni, que tem no seu estado 2+ um raio iônico igual ao Mg^{2+} (78 pm - picômetro), está substituindo este elemento em rochas ricas em minerais ferro-magnesianos. Minerais máficos são os principais constituintes de rochas ultrabásicas - ultramáficas, que ocorrem na região. São olivina, piroxênios, serpentina e talco que ocorrem nas unidades litológicas da região, quer dizer no Supergrupo Rio das Velhas. O Cr por sua vez é intimamente ligado com o Ni, como mostram os estudos em rochas metabásicas e metaultramáficas em ROESER & MULLER, 1977. Com base nas relações positivas entre estes dois elementos, os autores puderam indicar uma origem “Orto” para anfíbolitos e esteatitos pesquisados, da região do Quadrilátero Ferrífero e suas bordas orientais.

Além disso, Cr anda junto com Fe, principalmente no estado 2+ como mostra o principal mineral de Cr, a Cromita ($Fe^{++}Cr_2O_4$). Nele Cr ocorre no estado 3+, que representa sua ocorrência principal na litosfera. Pela similaridade dos seus raios iônicos com Fe ($Fe^{2+}, Cr^{2+} = 82 - 84$ pm, $Fe^{3+}, Cr^{3+} = 67 - 64$ pm), Cr pode entrar nos lugares de Fe em outros compostos cristalinos. Assim se explica a relação positiva entre estes dois elementos, que foi observada em sedimentos do Rio Piracicaba indicando também para esses dois elementos uma origem natural litológica.

Apenas no sítio IFRP 15a não foi constatada essa correlação positiva. Isto pode ser devido à utilização de cromo pela indústria de curtume, que fica muito próxima às margens do Ribeirão Ipanema. Com isso, provavelmente este maior valor encontrado para o cobre pode ter, neste caso, uma origem antropogênica.

Destaca-se a amostra IFRP 6, no leito do Rio Figueiredo. A repetição dos valores altos, tanto na amostragem das épocas seca e chuvosa, indica que não se trata de erros analíticos. Conforme o mapa geológico de Minas Gerais, na região deste ponto amostrado afloram rochas da formação Dom Silvério, que são compostos de: paragneisses, xistos, anfíbolitos, gonditos, quartiztos, talco-clorita xistos e mármore. Pesquisas em várias regiões do QF mostram que pedra sabão e talcos xistos são portadores destes elementos (Cr e Ni) (LADEIRA; ROESER, 1983). Assim sendo, Cr e Ni podem ser ligados com os talcos xistos dessa formação.

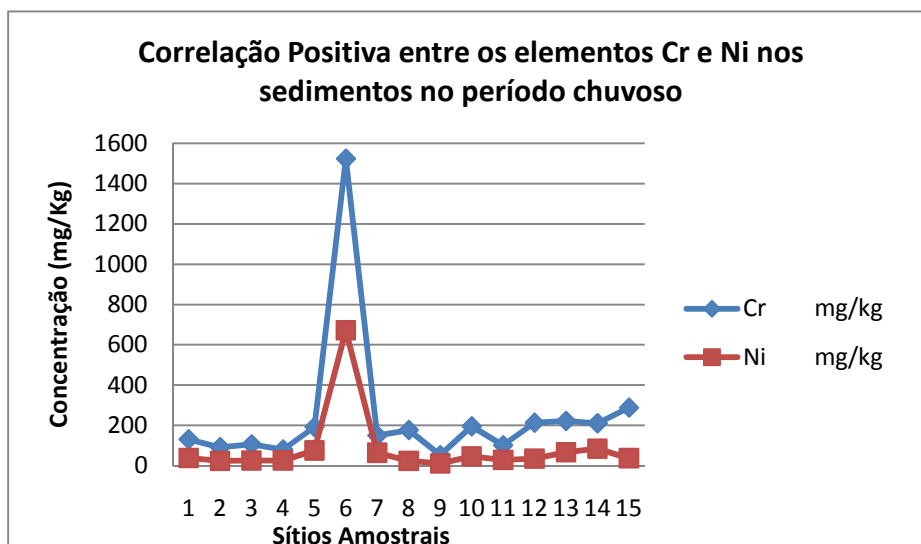


Figura 3.34: Correlação Positiva entre os elementos Cr e Ni no período chuvoso, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba.

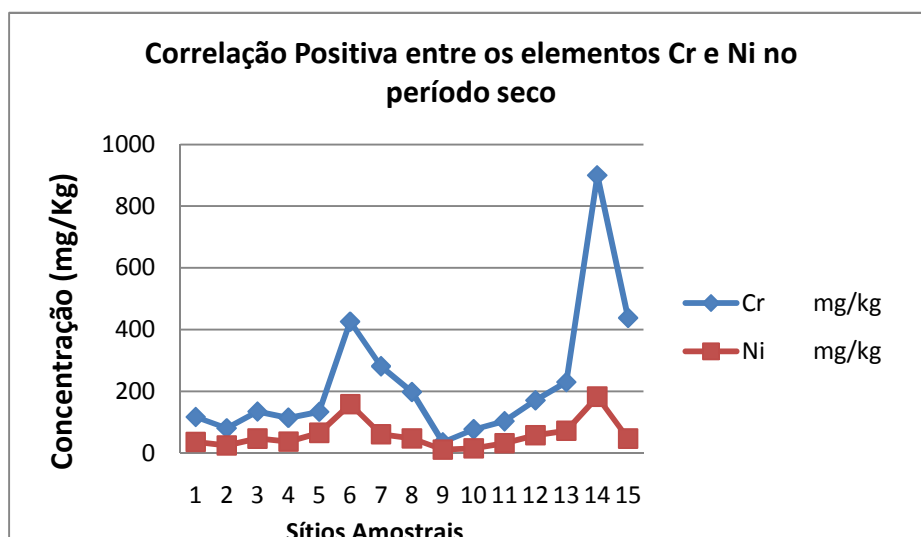


Figura 3.35: Correlação Positiva entre os elementos Cr e Ni no período seco, nos sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba.

3.7 – A CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SEGUNDO BERNER E BERNER

Em 1987 os pesquisadores BERNER & BERNER propuseram em seu livro clássico *The global water cycle* uma classificação dos rios apoiando-se num diagrama em forma de bumerangue, que até hoje é usado com grande sucesso. Segundo os autores, uma das razões para se classificar um rio é determinar quais dos fatores ambientais naturais (ou

mecanismos naturais) afetam a química de suas águas. Assim, através de estudos de rios bem conhecidos, pode-se extrapolar os resultados para aqueles menos conhecidos. Esta classificação foi baseada em GIBBS (1970). Segundo seus estudos, os principais mecanismos naturais que interferem na química das águas superficiais do mundo são:

- A precipitação atmosférica, tanto na composição quanto na quantidade;
- O intemperismo das rochas;
- A evaporação e a cristalização fracionada.

Assim, foi proposto por BERNER & BERNER um diagrama na forma de um bumerangue, plotando-se a média de dois cátions principais nas águas superficiais do mundo, Ca^{++} e Na^+ , por exemplo, dividido por $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ versus STD. Os rios são posicionados nos três cantos do bumerangue que representam as áreas dominadas por cada um dos três mecanismos, ou em áreas intermediárias, onde mais de um mecanismo influencia sua composição.

O eixo STD é quase inversamente proporcional à medida pluviométrica e a drenagem da chuva. Assim, essa classificação se baseia em sua extensão na quantidade de chuva, e conseqüentemente, no escoamento:

- A precipitação atmosférica interfere nos rios localizados em áreas com elevada precipitação;
- A evapo-cristalização, interfere em rios localizados em regiões áridas;
- O intemperismo interfere em rios localizados em áreas de precipitação intermediárias.

De acordo com GIBBS (1970), rios em que a composição é influenciada basicamente pela precipitação atmosférica são aqueles que a composição se assemelha à composição da chuva, isto é, baixo STD e alto Na comparado ao Ca.

Assim, os rios são posicionados nos três cantos do bumerangue que representam as áreas dominadas por cada um dos três mecanismos, ou em áreas intermediárias, onde mais de um mecanismo influencia sua composição:

- O canto inferior direito do diagrama bumerangue caracteriza os rios tropicais da América do Sul, África e rio das planícies da costa do Atlântico dos EUA, áreas de elevada pluviometria, baixo relevo e elevada influência do intemperismo ou erosão

de rochas arenosas, o que resulta no baixo aporte de sais dissolvidos. Um exemplo dessa influência é a Bacia do Rio Amazonas.

- A porção média do bumerangue, onde os valores de STD são intermediários e os valores de $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ são baixos, é a posição que caracteriza os rios que têm sua composição influenciada pelo intemperismo. Esta posição é a da maioria dos rios do mundo, para esses rios, o intemperismo promove o aporte de grande parte dos sais dissolvidos. Desde que as rochas sedimentares ocuparam cerca de 75% da superfície da Terra e o seu intemperismo é dominado pela dissolução de CaCO_3 , pode-se esperar que rios influenciados pelo intemperismo se constituíram principalmente de $\text{Ca}^{++} + \text{HCO}_3^-$ resultantes da dissolução do carbonato. Isso é porque tais rios são plotados com valores baixos de $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$.
- A porção superior do bumerangue caracteriza os rios que tem sua composição influenciada pela cristalização fracionada. Esses rios têm alta concentração de STD e alta de Na se comparada a Ca^{++} . Dois exemplos dados por GIBBS são os Rio Grande e Rio Pecos.

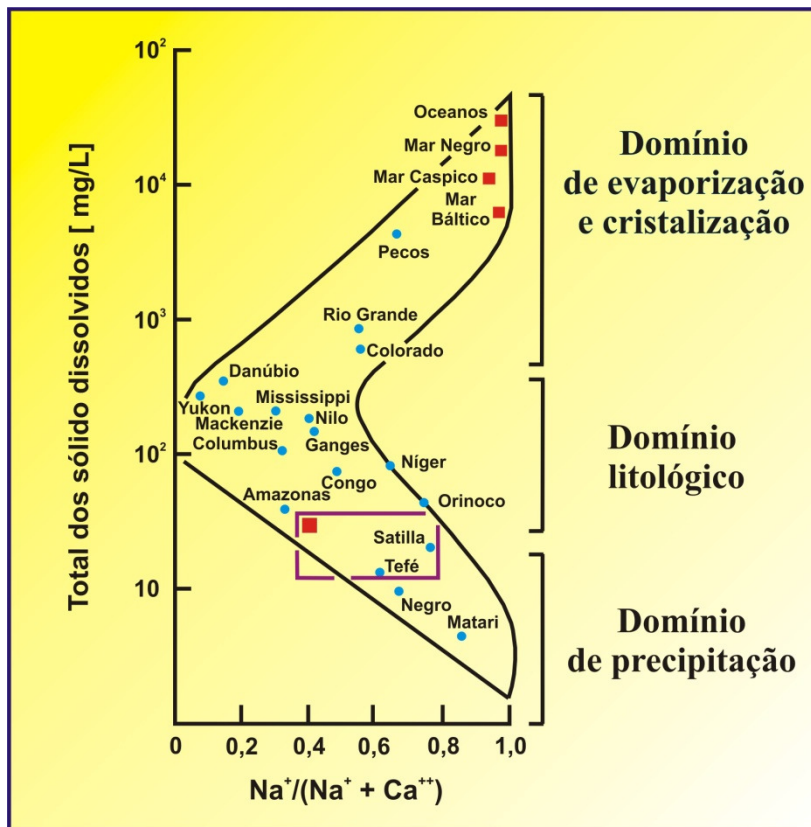


Figura 3.36: Classificação do Rio Piracicaba comparada com outros rios de regiões tropicais.

Com base nesta proposta para a classificação dos rios utilizando o Diagrama Bumerangue, o Rio Piracicaba enquadra-se no canto direito inferior (Figura 3.37). Assim, sofre elevada influência da litologia, do intemperismo ou erosão de rochas arenosas, o que resulta no baixo aporte de sais dissolvidos. Para a confecção do diagrama, utilizou-se a média simples dos STD e do $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{++})$.

3.8 – A QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO PIRACICABA

Com os resultados de alguns atributos físico-químicos das águas do Rio Piracicaba determinados, os limites máximos e mínimos em toda a Bacia foram comparados com limites permissíveis pela Resolução CONAMA 357/05, conforme apresentado na Tabela 4. Observa-se que não foram registrados os valores obtidos no Ribeirão Ipanema (IFRP-15).

Tabela 4 – Comparação dos resultados dos parâmetros físico-químicos obtidos com valores permissíveis pela Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetros	Unid.	Classes			Período seco		Período chuvoso	
		1	2	3	max.	min.	max.	min.
Alumínio	mg/l	0,10	0,10	0,20	0,08	0,02	0,06	0,02
Bário	mg/l	0,70	0,70	1,00	0,02	$8,7 \cdot 10^{-3}$	0,01	$6,89 \cdot 10^{-3}$
Cobalto	mg/l	0,05	0,05	0,20	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Cromo	mg/l	0,05	0,05	0,05	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Cobre	mg/l	0,009	0,009	0,0013	<LQ	<LQ	0,045	<LQ
Cádmio	mg/l	0,001	0,001	0,01	0,01	<LQ	$4,47 \cdot 10^{-3}$	<LQ
Ferro	mg/l	0,30	0,30	5,00	0,39	0,13	0,59	0,02
Manganês	mg/l	0,10	0,10	0,50	0,05	0,01	0,04	$2,1 \cdot 10^{-3}$
Lítio	mg/l	2,50	2,50	2,50	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Arsênio	mg/l	0,01	0,01	0,033	<LQ	<LQ	0,06	<LQ
Fósforo	mg/l	0,02	0,03	0,075	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Vanádio	mg/l	0,10	0,10	0,10	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Zinco	mg/l	0,18	0,18	0,50	$9,9 \cdot 10^{-3}$	<LQ	0,28	<LQ
Turbidez	FTU	40,00	100,00	100,00	13,64	2,28	236,00	18,58
Cloreto	mg/l	250,00	250,00	250,00	23,70	6,58	5,79	2,41
Sulfato	mg/l	250,00	250,00	250,00	6,10	2,20	5,00	2,60
Coliformes	NMP/ 100 ml	200	1000	2500	1100	28	150	1100
OD	mg/l	> 6,00	> 5,00	> 4,00	-	-	11,45	4,20
pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	9,00	6,70	7,32	6,25
STD	mg/l	500,00	500,00	-	37,76	11,54	36,68	11,41

OBS:LQ = Limite de quantificação.

Baseando-se nos parâmetros físicos e químicos encontrados, verificamos que em todos os sítios amostrais, pelo menos um dos parâmetros não estão de acordo com as características das águas de classe 2. Na tabela abaixo estão representados todos os sítios amostrais, com os parâmetros que não estão de acordo com a Resolução CONAMA N°. 357/2005 para as águas doces de classe 2.

Tabela 5: Trechos dos rios possuidores de parâmetros característicos das águas doces classe 3.

Sítio Amostral	Nome do Rio	Parâmetros que não estão de acordo com as águas doces classe 2
IFRP1	Piracicaba	Turbidez.
IFRP2	Santa Bárbara	Turbidez, Coliforme Fecal e Ferro.
IFRP3	Piracicaba	Cádmio.
IFRP4	Piracicaba	Turbidez e Coliforme Fecal.
IFRP5	Santa Cruz ou Bicudo	Arsênio e Cádmio.
IFRP6	Figueiredo	Coliforme Fecal e Ferro.
IFRP7	Severo	Coliforme Fecal.
IFRP8	Grande	Coliforme Fecal e Ferro.
IFRP9	Ipanema	Cádmio e Cobre.
IFRP10	Córrego da Onça ou São Lourenço	Turbidez, Coliforme Fecal e Ferro.
IFRP11	Onça Grande	
IFRP12	Piracicaba	Turbidez, Coliforme Fecal e Ferro.
IFRP13	Piracicaba	Turbidez, Ferro e Zinco.
IFRP14	Piracicaba	Turbidez.
IFRP15	Ipanema	Coliforme Fecal e Fósforo.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÃO

Realizou-se a determinação dos parâmetros físico-químicos de qualidade das águas, bem como a geoquímica dos sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba em duas diferentes estações: seca e chuvosa. Os dados encontrados poderão contribuir para o entendimento da dinâmica do sistema e para a escolha de medidas de manejo e recuperação, que são essenciais em toda a Bacia.

De uma maneira geral observou-se que:

- a composição das águas é fortemente influenciada pelo intemperismo ou erosão de rochas arenosas e pela litologia;
- os corpos d'água pesquisados não possuem, de uma maneira geral, as características das águas desejadas para as classes de acordo com o enquadramento, sem possuírem portanto a qualidade necessária compatível com os usos mais exigentes a que foram destinadas;
- o alto nível de coliformes fecais, indicadores de qualidade ambiental, serviram para demonstrar a inviabilidade do uso de contato primário de vários corpos d'água estudados. Porém, não é isso que verificamos na maior parte dos casos. Assim, torna-se necessária medidas saneadoras e restritivas nestas áreas.
- foram encontrados altos níveis de arsênio, cádmio, zinco e cobre nas águas de alguns sítios analisados, acima do permitido pela legislação ambiental. Também em relação aos sedimentos, foram encontrados altíssimos níveis de arsênio, cádmio, cobre, zinco, cromo e níquel em valores que, de acordo com a Resolução CONAMA 344/04, espera-se observar algum efeito adverso na biota com maior frequência. Níveis de chumbo situaram-se nos valores onde ocasionalmente espera-se tais efeitos.

Em toda a Bacia do Rio Doce, os usos preponderantes são: abastecimento público, consumo humano, agroindustrial, dessedentação de animais, irrigação, industrial e geração de energia elétrica (IGAM, 2007). Em relação à distribuição dos usos da água na Bacia do Rio Piracicaba, os usos são concentrados para indústria. Os maiores volumes de água outorgados pelo IGAM também estão concentrados nesta Bacia, sendo que o maior volume de água outorgado é para água superficial e aparentemente em pólos minerários e

siderúrgicos, como por exemplo no município de Ipatinga. E é exatamente nestes locais que verificamos um maior grau de degradação ambiental.

Conforme consta no *site* eletrônico do ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais, a maior parte do território do município de Ipatinga encontra-se sob prioridade de recuperação muito alta, qualidade ambiental muito baixa na maior parte do território e vulnerabilidade ambiental de média a alta na zona urbana e baixa na zona rural. A integridade da flora, indispensável para manutenção de seu equilíbrio natural, e a estabilidade das margens de corpos hídricos, encontra-se muito baixa na maior parte do território, com severo comprometimento da qualidade de suas águas superficiais. Estes aspectos foram comprovados neste trabalho, com os resultados das análises realizadas no Ribeirão Ipanema, que foi considerado o mais poluído, dentre todos os outros estudados. Hoje ele é caracterizado como o coletor da grande massa de esgotos urbanos de Ipatinga, incluindo diversas pequenas indústrias (curtume, matadouros, diversas empresas ligadas ao setor de transportes, entre outras). Predominam os impactos do esgoto, gerando mau cheiro e má aparência visual (CEDEPLAR/UFMG, 1997). Foram encontradas nos sedimentos deste corpo d'água altas concentrações de cobre, cromo, zinco e níquel, em valores que, de acordo com a Resolução CONAMA 344/04, correspondem à grande probabilidade de se observar efeitos adversos na biota. Níveis de chumbo situaram-se nos valores onde ocasionalmente espera-se tais efeitos. Isto é especialmente preocupante, tendo em vista que o Ribeirão Ipanema é utilizado pela população também para a prática de lazer e recreação, com contato direto com suas águas, conforme observa-se na Figura 3.37.

Foi constatado que o Ribeirão Bicudo, localizado no meio rural, apresentou uma alta concentração de arsênio. Este fato é extremamente preocupante pelo fato de o Ribeirão Bicudo ser utilizado pela população para a pesca e recreação. Considerando-se que as crianças da comunidade ribeirinha utilizam diariamente este rio para brincar e tomar banho, esta pesquisa torna-se um indicador da necessidade de medidas saneadoras neste corpo d'água, além de poder tornar-se um instrumento importante para ser utilizado em ações educativas com o fim de conscientizá-las do perigo que correm com as atividades no rio.

Em relação aos demais elementos químicos analisados nas águas e nos sedimentos do rio, pode-se concluir que a presença da maioria está intimamente ligada à formação litológica da área pesquisada. Isso é evidenciado pelas relações positivas encontradas.

Os resultados obtidos caracterizam as condições atuais da qualidade da água da Bacia do Rio Piracicaba. Isto poderá auxiliar na definição de metas para se atingir uma qualidade de água desejável, compatível com os usos estabelecidos e pretendidos para a região.



Figura 4.1: População humana com contato direto com as águas do Ribeirão Ipanema. Fonte: Magalhães, 2010.

CAPÍTULO 5

REFERÊNCIAS

ALB SABER, A. N. *Os Domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 159 p. 2003.

AGUDO, E.G. (Coord). *Guia de coleta e preservação de amostra de água*. São Paulo: CETESB, 150 p. 1987.

AGUILA, P. S. *et al.* *Avaliação da Qualidade de Água para Abastecimento Público do Município de Nova Iguaçu*. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 16(3):791-798, jul-set, 2000.

ALLOWAY, B. J. *Heavy Metals in Soils*. 2 ed. Glasgow: John Wiley, 339 p. 1993.

AMARAL, L. A. *et al.* *Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais*. Revista de Saúde Pública, 37: 510-514. 2003.

ANDRADE, T. M. B. *Estudo das variações espaciais e temporais das concentrações de Cromo (Cr) no córrego dos Bagres no município de Franca – SP*. 2004. 81 p. Monografia: Trabalho de Conclusão de Curso de Ciências Biológicas. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, 2004.

AYOADE, J. O. *Introdução a climatologia para os trópicos*. Tradução: Maria Juraci Zani dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001.

BARBOSA, G. V. & RODRIGUES, D. M. S. *Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: UFMG. 130p. 1967.

BARRETO, A. S. *Estudo da distribuição de metais em ambientes lótico, com ênfase na assimilação das comunidades biológicas e a sua quantificação no sedimento e na água*. Tese: Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 274f. 1999.

BARROS, E. O.; PEIXOTO, R. H. P. B.; CLEVERLAND, C. A. *Estudos dos parâmetros bacteriológicos coliformes totais/fecais no Rio Tocantins e sua relação com a qualidade da água no trecho compreendido entre os municípios de Coronel Valente a Retiro (TO)*. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 14 a 19 de Setembro 2003 - Joinville - Santa Catarina. 2003.

BARROS, F. G. N. & AMIN, M. M. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional: G&DR*. Taubaté, v. 4, nº. 1, p. 75-108. 2008.

BRASIL. Lei Federal Nº. 9433. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da [Constituição Federal](#), e Altera o Art. 1º da [Lei 8.001](#), de 13 de Março de 1990, que modificou a [Lei 7.990](#), de 28 de dezembro de 1989. 1997.

BERNER, E.K., BERNER, R.A. *The global water cycle: geochemistry and environment*. Englewood Cliffs: Prentice-hall, 397p. 1987.

BRIGANTE, J. et. al. *Praguicidas nos sedimentos dos rios Mogi-Guaçu*. In: BRIGANTE, J. ESPÍNDOLA, E. L. G. *Limnologia fluvial. Um estudo no rio Mogi-Guaçu*. São Carlos, Rima, Cap. 7, pág. 121-128. 2003.

CAIRNS Jr, J. *Estimazing Hazard*. Bioscience, v. 30, Nº. 2, P. 101-107, 1980.

CARMONA, F. C.; *Enxofre para o arroz irrigado em solos da depressão central do Rio Grande do Sul*. Dissertação: Mestrado em Ciência do Solo. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 70 p. 2007.

CARVALHO, I. G. *Fundamentos da química dos processos exógenos*. 2 ed. Salvador: Ed. Bureau Gráfica. 296p. 1995.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. *Protocol for derivation of Canadian Sediment guidelines for protection of aquatic life*. CCME – EPC - 98E.

Prepared by Environment Canada Guidelines Division, Technical Secretariat of CCME Task Group on water quality guidelines, Ottawa, Canada, 2001.

CEDEPLAR/UFGM. *Biodiversidade, População e Economia: Uma região de Mata Atlântica*. Belo Horizonte, Julho de 1997.

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Série Tecnologia Ambiental. *Revisão acerca da utilização de microrganismos na biorremediação de rejeitos industriais contendo metais pesados*. CETEM/MCT. 2008.

CHAPMAN, D. (Ed). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Cambridge: Chapman & Hall. 585p. 1992.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº. 274 de 29 de novembro de 2000.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº. 344, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. 2004.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº. 357 – 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005.

COPAM - CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. Deliberação Normativa COPAM Nº. 9, de 19 de abril de 1994. Dispõe sobre o enquadramento da Bacia do Rio Piracicaba. Disponível no site <http://www.riodoce.cbh.gov.br/Diagnostico2005/Anexo%203.pdf>. 1994.

COTRIM, M. E. B. *Avaliação da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Ribeira do Iguape com vistas ao Abastecimento Público*. Tese: Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CRUZ, L. B. S.; *Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Uberaba – MG*. Tese: Doutorado em Engenharia Agrícola na área de concentração em Água e Solo. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Fevereiro de 2003.

CUSTÓDIO, E., LLAMAS, MR. *Hidrologia Subterrânea*. Barcelona: Ed. Omega, 1983.

DALFIOR, J. S. *Avaliação da Eficiência do Grupo Coliforme Fecal como Indicador de Balneabilidade de Praias quando Comparado com Enterococos: Estudo de caso da Praia da Curva da Jurema; Vitória, ES*. 2005.

DAVIS, D. B. *et al. Microbiologia de Davis – Infecções Bacterianas e Micóticas*; São Paulo; Harper and Row do Brasil LTDA. 2^a ed. 1979.

EMATER- MG; EMBRAPA. *Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais*. Coordenação Técnica: EMBRAPA/ CNPMS. Belo Horizonte: 1993.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos da Limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência: FINEP, 1988.

EVANGELISTA, H.J. & ROESER, H.M.P. *Sobre O Manganês no distrito de Saúde e suas Rochas Encaixantes O (Grupo Dom Silverio), Minas Gerais*. REM, 43: 36 – 43, 1990.

FARIA, J. L. *Conflitos e participação da sociedade civil na instalação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce*. 145 p. Dissertação: Mestrado em Extensão Rural – Departamento de Economia Rural/Universidade Federal de Viçosa. 2004.

FARIA, M.L.; ALMEIDA, G. W. *Monitoramento da fauna de macroinvertebrados bentônicos do ribeirão Ipanema - Ipatinga, MG: uma comunidade bioindicadora da efetividade de Programas de despoluição de cursos d'água II*. Iniciação Científica no Unileste-MG, Coronel Fabriciano, v. 1, n. 2, p.82-92, out. 2007.

FCTH – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. Material de apoio aos cursos. Gerenciamento de Recursos Hídricos. PHD5028, Meta 05. 2000. Disponível no site: <http://www.fcth.br/public/cursos/phd5028/Zoneamento%20das%20Aguas/meta05.pdf>

FELDMANN, F. *Guia da Ecologia: para entender e viver melhor a relação homem natureza*. São Paulo, Editora Abril, 320p. 1992.

FILHO, H. F. L. *Considerações sobre a florística de Florestas Tropicais e Sub- Tropicais do Brasil*. Campinas, IPEF, n.35, p.41-46, abr.1987.

FÖRSTNER, U & WITTMAN, G. T. W. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. 2^a Ed. Springer -Verlag, Berlin, 486 p. 1983.

FÖRSTNER, U. *Biogedynamics of Pollutants in Soils and Sediments*. Cap. 11. Berlim, 1995.

FÖRSTNER, U. *Traceability of sediments analysis*. Trends in Analytical Chemistry. v.23, n.3, p.217-235. 2004.

GIBBS, R. J. *Mechanism cotrolling world water chemistry*. Science. V170, p. 1088 -1090, 1970.

GOLDSCHMIDT, V.M. *Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente*. Videnskapsselskapets Skrifter I, Mat. Naturw. Kl. n. 3 /4. 1937.

GOOGLE EARTH: software livre. Europa Technologies, versão: 2007. Disponível em:

<http://baixaki.ig.com.br/download/Google-Earth.htm>. Acesso em 15/07/2009.

GREENBERG, A. E.; CLESCERI, L.S.; EATON A.D. (Ed.). *Standard methods for the examination or water and wastewater*. 18 ed. Washington: American Public Health Association, 1992.

GUERRA, C. B. *Expedição Piracicaba: 300 anos depois*. Belo Horizonte: SEGRAC., 2001.

HUTCHINSON, G.E. *A treatise on limnology*. Vol. 1. Geography, physics, and chemistry. John Wiley & Sons. 1957.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS - IGAM. *Aperfeiçoamento do Monitoramento da Qualidade das Águas da Bacia do Alto Curso do Rio das Velhas*. SEMAD. Unidade de Coordenação Estadual, Belo Horizonte, 2006.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *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*. Item 2.2 – Delimitação da Bacia. CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME. 2007. Disponível em <http://www.pirhdoce.com.br/diagnostico/2.2.pdf>. 2007.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *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*. Item 4.6 – Poluição Industrial. CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME. 2007. Disponível em <http://www.pirhdoce.com.br/diagnostico/4.6.pdf>.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *Projeto Águas de Minas. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais na Bacia do Rio Doce em 2006*. Relatório Anual. Belo Horizonte, Dezembro/2007.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *Projeto Águas de Minas. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais na Bacia do Rio Doce em 2007*. Relatório Anual. Belo Horizonte, Dezembro/2008.

LADEIRA, E. A., ROESER, H.M.P. *Petrography of the Rio das Velhas Greenstone Belt*. Zentralblatt für geologie und Paläontologie, 22, 430 – 445. Stuttgart. 1983.

MAGALHÃES, M. M. Dissertação: Mestrado em Engenharia Ambiental. A saúde ambiental e as condições de balneabilidade de uma região do médio Rio Doce – MG. Universidade Federal de Ouro Preto. 2010.

MESSIAS, T. G. *Influência da toxicidade da água e dos sedimentos dos rios São Joaquim e Ribeirão Clarona bacia do Corumbataí*. Dissertação: Mestrado em Ciências. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2008.

MEYBECK, M.; HELMER, R. *An introduction to water quality*. In: CHAPMAN, D. (Ed). Water quality assessment. Cambridge: University Press, 1992.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA N.º 1469, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. 2000.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA N.º 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. 2004.

MOULTON, T. P. *Saúde e integridade do ecossistema e o papel dos insetos aquáticos*. pp. 281 – 298. 1988.

MOUTTE, J. *Procedure for multiacid digestion of rocks and minerals*. Géochimie, École des Mines de Saint Etienne, France. 1990.

NAVAS-PEREIRA, D.; PÁDUA, H. B.; EYSINK, G. G. J. *Níveis de contaminação por metais pesados e pesticidas na água, sedimento e peixes da Represa de Barra Bonita*. Apresentado ao Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 13, out 18-23. Maceió, AL. 21 p. São Paulo: CETESB, 1985.

NOGUEIRA, G., NAKAMURA, C. V., TOGNIM, M. C. B., *et al.* *Qualidade Microbiológica de Água Potável de Comunidades Urbanas e Rurais, Paraná*. Rev. Saúde Pública, abr., vol.37. 2003.

PARRA, R. R. *Análise geoquímica de água e de sedimento afetados por minerações na bacia hidrográfica do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Brasil*. Dissertação: Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto. 113 p. 2006.

PARRA, R. R., ROESER, H. M. P., LEITE, M. G. P., NALINI JR., H. A., GUIMARÃES, A. T. A., PEREIRA, J. C., FRIESE, K. *Influência antrópica na geoquímica de águas e sedimentos do Rio Conceição, Quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Geochimica Brasiliensis, v.21, n.1, p.36-49. 2007.

PEDROSO, F.; BONETTO, C. A.; ZALOCAR, Y. A. *Comparative study on phosphorus and nitrogen transport in the Parana, Paraguay and Bermejo rivers*. Limnologia e Manejo de Represas. Séries: Monografias em Limnologia. São Paulo. ACIESP. v. 1, t. 1, p. 91-117. 1998.

PHILIPP, Arlindo Junior; MARTINS, Getúlio. *Controle da Qualidade da Água*. In: Saneamento, Saúde e Ambiente. Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole,.cap.5.p.117-180. 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IPATINGA. Lei Nº 1.535, de 26 de agosto de 1997. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Ipanema, no Município de Ipatinga. 1997.

ROCHA, S. M. *Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de poluição na represa do Guarapiranga – SP*. Dissertação: Mestrado em Saúde Pública. Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Saúde Ambiental. São Paulo. 1999.

ROCHA, G. P.; MONTEIRO, M. I. C.; CARNEIRO, M. C. *Determinação de metais-traço por ICP-OES em amostras de minério*. I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM. 2007.

ROESER, H.M.P. & MÜLLER, G. *Variation and different ages of precambrian amphibolites, Mariana District, Minas Gerais, Brazil*. N. Jb. Min. Abh. Stuttgart, p. 39 – 48. 1977.

SALOMONS, W. *et al.* J. *Sediments as a source for contaminants*. Hydrobiol., v. 149, p. 13-30. 1987.

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

SILVA, F. L.; et al. 2007. *Desempenho de dois índices biológicos na avaliação da qualidade das águas do Córrego Vargem Limpa, Bauru, SP, através de macroinvertebrados bentônicos*. Pan-American Journal of Aquatic Sciences. 2 (3): 231-234. 2007.

SIMÕES, E. C. Dissertação de Mestrado: *Diagnóstico ambiental em manguezais dos complexos estuarinos da Baixada Santista e de Cananéia – São Paulo, no tocante a metais e compostos organoclorados*. 2007.

TRABULSI, L.R. & ALTERTHUN, F. *Microbiologia*. Atheneu. 4^a ed 35:269-309. 2005.

TRINDADE, J. C. D. *Paisagem e Desenvolvimento Econômico da Bacia do Rio Piracicaba*. 154 p. Monografia: Graduação em Geografia. FCESI/MG, 2007.

UH-GUILMAN AMORIN. *Mapa Monográfico do Município de Antonio Dias*. Ecodinâmica, 1999.

UHLEIN, A; OLIVEIRA, H. A. *História Geológica do Quadrilátero Ferrífero*. Ciência Hoje. Rio de Janeiro. Editora SBPC, N.160. Vol. 27, maio de 2000.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3º ed. Editora UFMG, Belo Horizonte, 452p. 2005.

WEDEPOHL, K. H. (1978): *Handbook of Geochemistry*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, VII/ 1, 2,3,4 e 5. 1978.

WHO/UNICEF – WORLD HEALTH ORGANIZATION; THE UNITED NATIONS CHILDREN’S FUND. *Water for life: make it happen*. Geneva, 2006.

SITES VISITADOS

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.
2009. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>

<http://www.Hydrobyos.de>

<http://www.zee.mg.gov.br/ferramenta.html>

ANEXO 1

Coordenadas geográficas dos sítios amostrais. (UTM)

Ponto	Latitude	Long.
IFRP 1	695.993E	7805.179N
IFRP 2	693.312E	7811.993N
IFRP 3	704.800E	7812.279N
IFRP 4	023.253E	7825.259N
IFRP 5	724.060E	7823.932N
IFRP 6	726.835E	7822.162N
IFRP 7	728.081E	7827.238N
IFRP 8	739.800E	7836.155N
IFRP 9	744.260E	7838.687N
IFRP 10	732.565E	7829.453N
IFRP 11	734.987E	7830.508N
IFRP 12	074.6251E	7839.643N
IFRP 13	756888E	7840990N
IFRP 14	764450E	7844.163N
IFRP 15	761.836E	7843.210N

ANEXO 2

Teores dos elementos encontrados nas amostras de água no período chuvoso (verão). LQ = Limite de Quantificação

AMOSTRA	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
IFRP1a	14,6	<LQ	0,84	<LQ	0,0585	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	27,64	0,0719	<LQ	0,0394	6,24
IFRP2a	20,6	<LQ	1,349	<LQ	0,3174	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	56,4	0,1507	<LQ	0,1542	5,73
IFRP3a	27,07	<LQ	1,43	<LQ	0,3133	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	77,3	0,163	<LQ	0,135	4,968
IFRP4a	17,79	<LQ	0,8	<LQ	0,0954	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	19,18	0,0985	<LQ	0,0442	2,157
IFRP5a	30,05	59,3	1,872	<LQ	0,1445	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	98,2	0,2178	<LQ	0,0784	6,2
IFRP6a	11,75	<LQ	2,741	<LQ	0,2431	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	192,8	0,2361	<LQ	0,1254	7,62
IFRP7a	22,78	<LQ	1,468	<LQ	0,1144	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	49,71	0,2043	<LQ	0,0481	2,64
IFRP8a	45,3	<LQ	7,44	<LQ	1,096	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	365,1	0,844	<LQ	0,2815	12,59
IFRP9a	45,1	<LQ	3,181	<LQ	0,4372	4,471	<LQ	<LQ	45,1	231	0,522	<LQ	0,114	9,2
IFRP10a	29,4	<LQ	13,32	<LQ	2,226	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	596	1,461	<LQ	0,741	42,62
IFRP11a	13,46	<LQ	9,73	<LQ	1,422	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	311	0,914	<LQ	0,3419	21,12
IFRP12a	15,7	<LQ	0,621	<LQ	0,0758	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	19,07	0,1023	<LQ	0,0351	2,819
IFRP13a	65,9	<LQ	4,604	<LQ	1,15	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	175,8	0,4221	<LQ	0,3461	5,1
IFRP14a	68,6	<LQ	6,89	<LQ	0,799	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	169,4	0,462	<LQ	0,3319	5,44
IFRP15a	37,02	<LQ	18,27	<LQ	14,96	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	101,7	3,084	<LQ	2,485	71,9
LQ	10,5	35,3	0,342	0,231	0,0134	4,29	6,10	8,46	7,12	8,53	0,0583	4,498	0,00140	0,388

AMOSTRA	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sc	Si	Sr	Ti	V	Y	Zn
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
IFRP1a	<LQ	0,0461	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0455	0,734	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP2a	<LQ	0,165	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,1972	1,755	<LQ	<LQ	<LQ	4,863
IFRP3a	<LQ	0,1502	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,2386	2,108	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP4a	<LQ	0,0683	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0017	0,794	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP5a	<LQ	0,275	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,4721	1,248	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP6a	<LQ	0,3844	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,762	2,817	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP7a	<LQ	0,2291	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,4106	1,25	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP8a	<LQ	1,301	<LQ	<LQ	<LQ	0,1106	<LQ	3,591	5,91	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP9a	<LQ	0,761	<LQ	<LQ	<LQ	0,0928	<LQ	2,057	2,744	<LQ	<LQ	<LQ	26,11
IFRP10a	<LQ	2,683	<LQ	<LQ	<LQ	0,1427	<LQ	5,63	19,67	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP11a	<LQ	1,889	<LQ	<LQ	<LQ	0,1872	<LQ	3,883	10,27	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP12a	<LQ	0,0446	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0017	0,701	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP13a	<LQ	0,736	<LQ	<LQ	<LQ	0,2167	<LQ	0,989	6,68	<LQ	<LQ	<LQ	281,4
IFRP14a	<LQ	0,636	<LQ	<LQ	<LQ	0,1644	<LQ	0,958	6,03	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP15a	<LQ	7,45	<LQ	0,0688	<LQ	2,796	<LQ	5,68	69,1	<LQ	<LQ	<LQ	13,45
LQ	21,6	0,050	76,1	0,0479	52,69	0,070	1,55	0,160	0,290	7,04	4,21	1,85	1,89

ANEXO 3

Teores dos elementos encontrados nas amostras de água no período seco (inverno).

LQ = Limite de Quantificação

Amostra	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l
IFRP 1b	<LQ	<LQ	11,4	<LQ	1,95	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	269	0,803	<LQ	0,832	71,6
IFRP 2b	60,7	<LQ	9,84	<LQ	3,35	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	309	0,706	<LQ	1,81	49,2
IFRP 3b	15,8	<LQ	9,83	<LQ	2,81	9,97	<LQ	<LQ	<LQ	156	0,857	<LQ	1,25	20,9
IFRP 4b	34,2	<LQ	12,4	<LQ	2,71	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	202	1,08	<LQ	1,20	12,7
IFRP 5b	25,0	<LQ	11,2	<LQ	0,961	8,63	<LQ	<LQ	<LQ	252	1,13	<LQ	0,454	18,1
IFRP 6b	45,9	<LQ	12,0	<LQ	1,22	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	396	1,06	<LQ	0,551	15,4
IFRP 7b	42,8	<LQ	11,6	<LQ	1,06	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	255	1,43	<LQ	0,368	13,3
IFRP 8b	32,1	<LQ	11,3	<LQ	0,900	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	223	1,00	<LQ	0,255	19,6
IFRP 9b	55,4	<LQ	8,74	<LQ	0,767	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	164	1,04	<LQ	0,164	19,1
IFRP 10b	22,2	<LQ	22,6	<LQ	2,48	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	324	1,79	<LQ	0,906	14,3
IFRP 11b	<LQ	<LQ	22,1	<LQ	2,68	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	382	1,64	<LQ	0,642	34,9
IFRP 12b	84,8	<LQ	13,4	<LQ	2,56	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	336	1,09	<LQ	1,10	24,2
IFRP 13b	41,5	<LQ	13,7	<LQ	3,97	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	195	1,41	<LQ	1,17	15,4
IFRP 14b	36,6	<LQ	19,2	<LQ	3,52	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	131	1,51	<LQ	1,31	13,6
IFRP 15b	29,5	<LQ	18,6	<LQ	13,4	<LQ	<LQ	36,4	<LQ	173	3,54	<LQ	2,22	46,1
LQ	7,32	64,3	0,256	0,618	0,00661	8,60	15,2	9,62	4,89	6,11	0,0455	0,954	0,00136	1,58

Amostra	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sc	Si	Sr	Ti	V	Y	Zn
	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
IFRP 1b	<LQ	2,10	<LQ	<LQ	<LQ	0,202	<LQ	4,46	14,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 2b	<LQ	2,26	<LQ	<LQ	<LQ	0,950	<LQ	4,19	15,6	<LQ	<LQ	<LQ	7,73
IFRP 3b	<LQ	2,46	<LQ	<LQ	<LQ	0,652	<LQ	4,37	17,7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 4b	<LQ	2,88	<LQ	<LQ	<LQ	0,676	<LQ	4,70	17,9	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 5b	<LQ	2,12	<LQ	<LQ	<LQ	0,0926	<LQ	5,60	7,49	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 6b	<LQ	2,83	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	6,73	14,5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 7b	<LQ	2,61	8,57	<LQ	<LQ	0,109	<LQ	7,05	10,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 8b	<LQ	1,82	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	5,84	6,39	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 9b	<LQ	1,81	<LQ	<LQ	<LQ	0,0971	<LQ	5,80	5,59	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 10b	<LQ	4,86	<LQ	<LQ	<LQ	0,122	<LQ	10,9	29,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 11b	<LQ	4,07	<LQ	<LQ	<LQ	0,221	<LQ	9,30	22,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 12b	<LQ	2,94	<LQ	<LQ	<LQ	0,575	<LQ	5,12	18,3	<LQ	6,13	<LQ	<LQ
IFRP 13b	<LQ	3,60	<LQ	<LQ	<LQ	0,879	<LQ	5,19	28,7	<LQ	<LQ	<LQ	9,99
IFRP 14b	<LQ	4,09	<LQ	<LQ	<LQ	0,829	<LQ	5,10	28,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
IFRP 15b	<LQ	14,9	<LQ	0,347	<LQ	5,47	<LQ	6,73	69,7	<LQ	<LQ	<LQ	4,97
LQ	21,0	0,0272	20,0	0,108	97,1	0,0578	0,276	0,0131	0,134	5,07	5,12	1,27	4,93

ANEXO 4:

Teores dos elementos encontrados nas amostras de sedimentos no período chuvoso (verão).

LQ = Limite de Quantificação

Amostra	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
IFRP1	35827	<LQ	157	<LQ	43,4	1174	<LQ	23,7	131	17,7	507676	2772	5,06	1388	1790
IFRP2	60358	<LQ	333	<LQ	12,7	4713	<LQ	34,4	91,8	43,3	341233	8428	10,6	3511	1394
IFRP3	45396	<LQ	197	<LQ	40,1	1821	<LQ	26,2	107	28,2	487582	4185	7,50	1500	1556
IFRP4	116718	<LQ	441	<LQ	<LQ	3212	<LQ	18,7	80,7	24,9	226326	13262	20,1	1975	790
IFRP5	130848	<LQ	568	<LQ	<LQ	3554	<LQ	36,9	192	118	93774	16457	20,9	5020	1073
IFRP6	139136	<LQ	548	<LQ	<LQ	7161	<LQ	56,5	1523	37,2	67547	14049	23,7	33202	854
IFRP7	169588	<LQ	572	<LQ	<LQ	2960	<LQ	20,6	149	62,8	56378	16821	22,6	2506	649
IFRP8	128169	<LQ	936	<LQ	<LQ	8026	<LQ	22,6	177	31,5	101271	23547	15,8	3682	1169
IFRP9	140953	<LQ	548	<LQ	<LQ	1874	<LQ	13,9	53,0	9,49	60074	35260	10,4	547	680
IFRP10	162961	8,22	1322	<LQ	<LQ	6998	<LQ	25,6	196	18,6	44626	34145	16,8	4094	801
IFRP11	160233	<LQ	777	<LQ	<LQ	3208	<LQ	18,7	102	29,3	58295	20594	22,0	1931	1131
IFRP12	28569	<LQ	197	<LQ	<LQ	1997	<LQ	21,5	214	<LQ	599601	4792	4,63	1572	1190
IFRP13	100395	<LQ	340	<LQ	<LQ	2989	<LQ	28,8	222	64,2	315180	8279	9,82	1830	1250
IFRP14	111614	45,7	556	<LQ	<LQ	3057	<LQ	40,8	211	43,8	192621	10967	14,1	3362	1726
IFRP15	108782	<LQ	845	<LQ	<LQ	11691	<LQ	25,3	288	3354	95105	22356	9,72	6258	4521
LQ	28,8	6,96	0,0320	0,304	6,32	29,4	0,680	1,95	0,790	0,670	27,0	6,55	0,0600	0,230	0,210

Amostra	Na	Ni	P	Pb	S	Sc	Sr	Th	Ti	V	Y	Zn	Zr
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
IFRP 1	397,9	38,8	384	65,5	<LQ	4,20	17,5	14,8	6648	142	12,5	94,4	361
IFRP 2	2246	24,2	303	59,1	<LQ	5,61	44,4	20,2	11253	216	25,4	126	991
IFRP 3	686	26,3	425	70,8	<LQ	4,40	24,9	19,0	8114	169	18,5	130	633
IFRP 4	4030	26,7	308	42,5	20,8	4,65	52,6	40,8	5237	125	39,5	105	1465
IFRP 5	3306	76,0	600	44,0	63,5	9,87	40,6	82,9	9811	266	96,1	159	6957
IFRP 6	5388	672	234	<LQ	93,2	9,57	64,3	31,0	4753	152	27,9	113	825
IFRP 7	3959	64,7	324	16,5	85,2	6,39	57,4	50,7	5532	142	31,9	122	1325
IFRP 8	5503	24,5	633	42,8	93,8	4,57	77,9	80,0	8587	195	117	129	10249
IFRP 9	6707	11,7	272	63,3	38,2	2,60	26,3	75,9	6216	143	177	143	10723
IFRP 10	10912	46,1	626	31,9	69,8	5,69	151	159	7971	173	95,9	90,8	4881
IFRP 11	6111	29,3	443	<LQ	200	4,81	67,8	37,0	4248	80,5	51,1	139	354
IFRP 12	1449	35,8	316	85,0	<LQ	2,02	23,9	65,1	7741	178	55,9	106	4048
IFRP 13	2067	66,8	463	43,3	18,8	10,6	39,6	38,1	8047	221	37,2	114	1932
IFRP 14	2166	84,4	633	35,9	49,4	8,47	53,0	29,1	9766	220	28,6	126	716
IFRP 15	4086	37,8	1100	60,6	1016	6,79	99,4	31,8	6385	210	34,1	1200	1482
LQ	125	1,97	8,34	11,0	13,0	0,0460	0,0120	1,21	1,16	11,0	1,73	0,620	0,100

ANEXO 5

Teores dos elementos encontrados nas amostras de sedimentos no período seco (inverno).

LQ = Limite de Quantificação

Amostra	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
IFRP 1	42436	<LQ	166	<LQ	33,1	2144	<LQ	23,4	117	17,0	412136	3303	5,86	1492	1747
IFRP 2	66287	<LQ	267	<LQ	8,92	2613	<LQ	32,2	80,4	48,8	317727	5981	8,78	1960	2445
IFRP 3	82575	10,2	338	<LQ	<LQ	2490	<LQ	27,2	134	36,7	300117	6194	12,1	2140	4097
IFRP 4	62517	22,6	286	<LQ	15,7	1468	<LQ	25,8	114	81,4	269930	5920	8,77	1474	3203
IFRP 5	149204	<LQ	487	<LQ	<LQ	2622	<LQ	28,1	133	60,3	70779	15708	21,7	3676	930
IFRP 6	152215	<LQ	631	<LQ	<LQ	3841	<LQ	34,2	426	100	52575	14175	15,5	7817	1435
IFRP7	152600	<LQ	660	<LQ	<LQ	6272	<LQ	24,8	281	396	59420	17952	20,7	3408	2067
IFRP 8	144948	<LQ	844	<LQ	<LQ	5148	<LQ	24,6	198	571	48742	20329	17,0	3558	774
IFRP 9	173885	9,75	499	<LQ	<LQ	1272	<LQ	12,2	34,9	34,4	59848	26027	10,6	480	580
IFRP 10	159731	<LQ	974	<LQ	<LQ	2617	<LQ	16,8	76,9	16,2	67866	25405	16,4	1823	747
IFRP 11	157625	<LQ	667	<LQ	<LQ	3126	<LQ	20,2	103	176	64703	18267	17,8	1531	686
IFRP 12	99221	<LQ	433	<LQ	<LQ	3664	<LQ	24,5	171	17,1	283742	10330	9,07	1617	1442
IFRP 13	112233	45,7	498	<LQ	<LQ	2981	<LQ	38,1	230	39,0	140513	9138	11,0	2974	1818
IFRP 14	133921	10,8	521	<LQ	<LQ	4779	<LQ	29,7	900	92,1	156722	12041	16,6	2533	1514
IFRP 15	127214	<LQ	683	<LQ	<LQ	13893	<LQ	32,5	438	593	138276	14884	14,6	6498	7562
LQ	35,8	9,45	0,0406	0,298	6,23	16,6	0,446	1,49	1,41	0,923	73,3	6,31	0,0909	0,279	0,156

Amostra	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	V	Y	Zn	Zr
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
IFRP 1	<LQ	567	36,2	382	60,9	<LQ	<LQ	4,12	25,8	13,1	6849	147	14,7	89,3	375
IFRP 2	<LQ	1490	24,5	374	59,2	<LQ	<LQ	5,51	32,7	20,2	9888	206	29,1	113	944
IFRP 3	<LQ	1070	47,0	767	51,3	134	<LQ	5,83	35,3	19,8	6621	167	26,7	164	454
IFRP 4	<LQ	1011	36,7	446	54,3	54,4	<LQ	4,16	23,6	23,6	5766	133	24,5	98,8	651
IFRP 5	<LQ	3597	65,4	420	33,7	111	<LQ	8,00	42,2	38,8	6204	172	54,2	116	1811
IFRP 6	<LQ	4982	158	365	8,62	106	<LQ	6,00	73,5	40,7	7088	150	34,2	91,0	1785
IFRP 7	<LQ	5100	60,6	439	21,4	200	<LQ	6,47	81,4	32,3	4883	135	43,0	266	1170
IFRP 8	<LQ	8536	47,4	731	31,3	91,4	<LQ	5,45	108	84,6	6775	154	106	99,6	5010
IFRP 9	<LQ	4843	11,2	289	49,0	77,5	<LQ	3,40	24,3	58,0	4722	83,2	109	154	2639
IFRP 10	<LQ	5283	15,0	459	30,7	91,5	<LQ	4,59	59,3	44,7	5352	94,5	73,4	108	1907
IFRP 11	<LQ	6668	32,1	651	30,0	371	<LQ	4,31	64,4	35,4	3953	76,6	58,9	141	420
IFRP 12	<LQ	2111	57,7	414	68,3	25,2	<LQ	4,52	46,6	48,7	7715	148	47,4	119	1990
IFRP 13	<LQ	2128	72,5	610	30,0	100	<LQ	7,97	54,6	24,4	9841	213	24,5	155	676
IFRP 14	<LQ	2881	183	1290	45,3	632	<LQ	6,63	61,9	31,9	5161	142	47,3	201	620
IFRP 15	<LQ	2160	46,8	1665	88,9	780	<LQ	8,32	98,2	37,1	8478	301	50,0	335	3319
LQ	1,28	3,91	2,35	5,74	8,30	4,66	13,1	0,0374	0,0267	1,21	1,27	6,38	0,149	0,550	0,379

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)