

Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

LEANDRO SILVA QUARESMA

**QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA SUPERFICIAL E VALORES DE
BASELINE GEOQUÍMICO NA BACIA DO RIO PARAUAPEBAS,
CARAJÁS, SUDESTE DA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador: Dr. Roberto Dall’Agnol

Co-orientador: Dr. Prafulla Kumar Sahoo

Belém – PA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Q1

Quaresma, Leandro Silva

Qualidade química da água e valores de *baseline* geoquímico na bacia do rio Parauapebas, Carajás, sudeste da Amazônia / Leandro Silva Quaresma -- Belém-PA, 2019.

174 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2019.

Orientador: Dr. Roberto Dall'Agnol.

1. Qualidade da água – Rio Parauapebas. 2. Variação sazonal – Rio Parauapebas. 3. Água – Avaliação. 4. Rio Parauapebas – Carajás (PA).
2. I. Roberto Dall'Agnol. II. Título.

CDD 23. ed. 628.16

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves - CRB 2 - 525

LEANDRO SILVA QUARESMA

**QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA SUPERFICIAL E VALORES DE
BASELINE GEOQUÍMICO NA BACIA DO RIO PARAUAPEBAS,
CARAJÁS, SUDESTE DA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Roberto Dall'Agnol
Orientador – Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS)

Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho
Membro interno – ITV DS

Dr. Rômulo Simões Angélica
Membro externo – IG-UFPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus queridos pais (Solange e Edson).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, em especial minha mãe Solange e ao meu pai Edson, pelas inúmeras oportunidades e por sempre dedicar e apostar em minha trajetória. Sou infinitamente grato a eles!

Aos meus padrinhos, em especial à minha madrinha, por ter me ensinado a ler.

Ao meu irmão, à minha namorada e à minha sogra, pelas inúmeras palavras que me reconfortaram em diversas situações e por acreditar sempre em meu potencial.

À toda equipe do ITV DS e em especial aos membros do grupo de Geologia Ambiental e Recursos Hídricos, iniciando pelo meu orientador, Dr. Roberto Dall’Agnol, pela primeira oportunidade concedida, a carta de aceite nas primeiras etapas para participar da seleção de mestrado. Aos esforços realizados para obtenção de bolsa, viagem de campo, orientações, às suas fabulosas correções e pelas singelas palavras e conselhos que certamente irei carregar por toda vida. Roberto, muito obrigado!

Ao meu coorientador, Dr. Prafulla Kumar Sahoo, pelas palavras motivantes, pelos inúmeros esforços para ensinar e por estar sempre disposto a colaborar para o meu desenvolvimento acadêmico-profissional.

Aos demais membros da equipe, Gessica, Gabriel Salomão, Jair, Marcio, Clóvis, Renato, Gabriel Martins e Alexandra. Sem a ajuda de cada um de vocês eu não poderia ter concluído esta dissertação.

Aos demais amigos que o ITV me presenteou, Aline, Keren, Thiago, Renato, Leon, Mirna, Maíze, Mayara Rafael.

Ao Instituto Tecnológico Vale, pela oportunidade e todo apoio no desenvolvimento desta dissertação.

Aos membros da biblioteca, dona Nisa e Eddie, por sempre me ajudar nas buscas de livros, artigos e trabalhos acadêmicos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos, mais uma vez, **MUITO OBRIGADO!**

RESUMO

A bacia do rio Parauapebas – BRP, situada na região sudeste da Amazônia, é uma das principais no contexto da Bacia Hidrográfica do rio Itacaiúnas – BHRI e carece de informações a respeito da qualidade e composição química das águas superficiais. O presente trabalho buscou avaliar a qualidade química das águas superficiais e definir valores de *baseline* geoquímico. Para isso, no ano de 2017, foram coletadas e analisadas 175 amostras de águas superficiais no período chuvoso e 152 no período de estiagem. Foram determinados sete parâmetros físico-químicos, sendo cinco deles *in situ* (temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e potencial redox) com uma sonda multiparamétrica e outros dois (sólidos totais dissolvidos e turbidez) através dos métodos gravimétrico e nefelométrico respectivamente. Além disso, foram efetuadas em laboratório certificado análises químicas para ânions por cromatografia iônica (Cl^- , F^- , NO_3^- e SO_4^{2-}), P_{total} pelo método colorimétrico após digestão ácida e 35 metais por ICP-MS. Foram utilizadas estatística descritiva e multivariada para compreender o comportamento dos principais constituintes nas águas da BRP, correlação geoquímica entre eles e a influência da variação sazonal. Foram utilizadas múltiplas técnicas estatísticas (interativa 2σ , função de distribuição calculada, mediana + 2MAD, TIF e percentis 75, 95 e 98) para a definição de valores de *baseline* superior na BRP e também calculado Índice de Qualidade Química da Água - IQQA. Verificou-se forte influência da variação sazonal nas concentrações de vários componentes maiores, elementos-traço e nos valores dos parâmetros físico-químicos nas águas da BRP, sendo que a maioria dos elementos químicos mostra valores mais elevados na estação chuvosa. O pH variou de levemente ácido a alcalino (6 a 8) na maioria das microbacias amostradas. Concentrações elevadas de Fe e Mn são características das águas desta região e refletem condições climáticas, pedológicas e geológicas inerentes à Amazônia. Com exceção destes dois elementos e de Al, os demais elementos-traço (B, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Rb, Sn, Sr, Ti, V e Zn) mostraram valores de *baseline* e concentrações inferiores aos valores máximos recomendados nas resoluções CONAMA 357/05 – classe 2 e WHO/1993. O intemperismo de rochas silicáticas, interpretado com base na química de íons maiores através do gráfico *Gibbs* mostrou-se como o principal fator a controlar a hidrogeoquímica das águas da BRP. Dois tipos de *baseline* foram definidos, o *baseline* superior conservador (BSC), equivalente ao *baseline* natural, representado pela curva de frequência acumulada e o *baseline* superior ambiental (BSA), compreendido pela soma das contribuições naturais mais as antropogênicas difusas, representado pelo percentil 98, sendo o mais realista para significativa

parte da BRP. Ni e Cr apresentaram enriquecimento em locais onde se concentram rochas máficas e ultramáficas e o Cu ao longo dos cinturões norte e sul de mineralizações deste metal. Verificou-se em áreas desmatadas, particularmente durante a estação chuvosa, evidências de maior mobilidade de alguns elementos e maior aporte de material carreado para as drenagens, implicando maiores concentrações de vários elementos-traço nas águas superficiais. O IQQA da BRP em mais de 90% das microbacias amostradas, foi classificado como variando de ótimo a bom. No alto Parauapebas, contribuições antropogênicas associadas ao uso e ocupação do solo, também foram importantes e se somaram aos efeitos geogênicos.

Palavras-chave: Qualidade das águas superficiais, rio Parauapebas, Bacia do rio Itacaiúnas, Carajás, variação sazonal, *baseline* geoquímico.

ABSTRACT

The Parauapebas river basin (PRB), located in the southeast of the Amazon region, is one of the main basins in the context of the Itacaiúnas river watershed (IRW) and lacks information on the quality and chemical composition of surface waters. The present work aims to evaluate the chemical quality of surface waters and to define geochemical baseline values. In 2017, 175 surface water samples were collected and analyzed in the rainy season and 152 in the dry season. Seven physical-chemical parameters were determined, five of them in situ (temperature, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity and redox potential) through a multiparametric probe and the other two (total dissolved solids and turbidity) by gravimetric and nephelometric methods, respectively. Furthermore, chemical analyzes for anions by ion chromatography (Cl^- , F^- , NO_3^- and SO_4^{2-}), P_{total} by the colorimetric method after acid digestion and for 35 total metals by ICP-MS were carried out in a certified laboratory. Descriptive and multivariate statistics were used to understand the behavior of the main constituents in PRB waters, geochemical correlation among them, and the influence of seasonal variation. Multiple statistical techniques were used (interactive 2σ , calculated distribution function, median + 2MAD, TIF and 75, 95 and 98 percentiles) to define upper baseline values in PRB and also calculated Water Chemical Quality Index (WCQI). There was a strong influence of the seasonal variation in the concentrations of several major components, trace elements and in the values of the physico-chemical parameters in PRB waters, with the majority of chemical elements showing higher values in the rainy season. The pH ranged from slightly acidic to alkaline (6 to 8) in most of the sampled microbasins. High concentrations of Fe and Mn are characteristic of the waters of this region and reflect climatic, pedological and geological conditions inherent to the Amazon. With the exception of these two elements and Al, the other trace elements (B, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Rb, Sn, Sr, Ti, V and Zn) showed baseline values and concentrations lower than the recommended maximum values in resolutions CONAMA 357/05 - class 2 and WHO/1993. Gibbs graph, based on the chemistry of larger ions, indicated that the weathering of silicatic rocks was the main factor controlling the hydrogeochemistry of the PRB waters. Two baseline types were defined, the conservative upper baseline (CUP), equivalent to the natural baseline, represented by the cumulative frequency curve and the environmental upper baseline (EUB), comprised of the sum of natural and diffuse anthropogenic contributions, represented by the 98th percentile, being the most realistic for significant part of the PRB. Ni and Cr showed enrichment at sites where mafic and ultramafic rocks are concentrated and Cu along the north

and south mineralization belts of this metal. Evidence of greater mobility of some elements and greater input of material to the drainage was found in deforested areas, particularly during the rainy season, resulted higher concentrations of several elements in surface waters. The WCQI of PRB in more than 90% of the sampled basins was classified as varying from great to good. At the upper Parauapebas, anthropogenic contributions associated with soil use and occupation were also important and added to the geogenic effects.

Keywords: Surface water quality, Parauapebas river, Itacaiúnas river watershed, Carajás, seasonal variation, geochemical *baseline*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Localização da BHRI; (b) Bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas na região de Carajás, mostrando a delimitação da área de estudo; (c) bacia do rio Parauapebas (área de estudo). Uso e ocupação do solo em 2013, segundo Souza-Filho et al. (2016).....	29
Figura 2 – (a) Sub-bacia do rio Parauapebas; (b) sub-bacias hidrográficas inseridas na BHRI.	31
Figura 3 - Trecho do alto Parauapebas no período de estiagem.....	31
Figura 4 – (a) Trecho do médio Parauapebas, no contexto no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos; (b) baixo Parauapebas, margem direita (sentido S-N), área de ocupação urbana e desprovida de mata ciliar em determinados trechos.....	32
Figura 5 – (a) Mapa geológico da bacia do rio Parauapebas; (b) domínios geológicos presentes na BHRI: Província Carajás com Bacia Carajás (BC) e domínios Canaã dos Carajás, Sapucaia e Rio Maria (CC); Domínio Bacajá (DB); Cinturão Araguaia (CA).	34
Figura 6 – (a) Localização das amostras de águas superficiais coletadas na bacia do rio Parauapebas no período chuvoso – PC; (b) no de estiagem – PE; (c) detalhamento mostrando a coleta de uma amostra por microbacia.....	35
Figura 7 - Fluxograma do processo de coleta das amostras e análises para os parâmetros e elementos.	37
Figura 8 – (a) Gráfico <i>boxplot</i> para os parâmetros físico-químico, ânions e P_{total} ; e (b) para os metais totais mostrando as diferenças composicionais relativas em percentagem das amostras duplicatas em relação às amostras de referência.	49
Figura 9 – Correlação entre condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.	51
Figura 10 – Curvas de frequência acumulada do pH nas águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.....	55
Figura 11 – Curvas de frequência acumulada para o potencial redox (Eh) nas águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.....	56
Figura 12 – Representação <i>boxplot</i> dos parâmetros físico-químicos das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.	56
Figura 13 - Representação <i>boxplot</i> dos ânions e P_{total} das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.....	57
Figura 14 - Representação <i>boxplot</i> dos componentes maiores (cátions) das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.....	58
Figura 15 - Representação <i>boxplot</i> dos elementos-traço das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.....	59
Figura 16 - Matriz de correlação de <i>Spearman</i> entre parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total} , componentes maiores e elementos-traço nas águas superficiais da bacia do rio Parauapebas no período chuvoso e de estiagem.....	62
Figura 17 – Análise de agrupamento hierárquico dos parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total} , componentes maiores e elementos-traço em águas superficiais da bacia do rio Parauapebas.....	63
Figura 18 – Análise de componentes principais para 30 variáveis das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.	68
Figura 19 – Variação espacial da condutividade elétrica em águas superficiais da BRP.....	70
Figura 20 - Variação espacial da concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) em águas superficiais da BRP.....	70

Figura 21 – Variação espacial da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em águas superficiais da BRP.....	71
Figura 22 - Variação espacial de valores de pH em águas superficiais da BRP.....	72
Figura 23 - Variação espacial de potencial redox (Eh) em águas superficiais da BRP.....	72
Figura 24 - Variação espacial dos valores de temperatura (°C) em águas superficiais da BRP.....	73
Figura 25 - Variação espacial dos valores de turbidez em águas superficiais da BRP.....	74
Figura 26 - Variação espacial da concentração de cloreto em águas superficiais da BRP.....	75
Figura 27 - Variação espacial da concentração de sulfato em águas superficiais da BRP.....	75
Figura 28 – Variação espacial da concentração de nitrato em águas superficiais da BRP.....	76
Figura 29 - Variação espacial da concentração de fluoreto em águas superficiais da BRP.....	77
Figura 30 - Variação espacial da concentração de fósforo total em águas superficiais da BRP.....	77
Figura 31 – Variação espacial da concentração de cálcio em águas superficiais da BRP.....	78
Figura 32 – Variação espacial da concentração de sódio em águas superficiais da BRP.....	79
Figura 33 - Variação espacial da concentração de potássio em águas superficiais da BRP.....	79
Figura 34 - Variação espacial da concentração de magnésio em águas superficiais da BRP.....	80
Figura 35 - Variação espacial da concentração de ferro em águas superficiais da BRP.....	80
Figura 36 - Variação espacial da concentração de manganês em águas superficiais da BRP.....	81
Figura 37 - Variação espacial da concentração de alumínio em águas superficiais da BRP.....	81
Figura 38 - Variação espacial da concentração de cromo em águas superficiais da BRP.....	82
Figura 39 - Variação espacial da concentração de níquel em águas superficiais da BRP.....	83
Figura 40 - Variação espacial da concentração de cobalto em águas superficiais da BRP.....	83
Figura 41 - Variação espacial da concentração de rubídio em águas superficiais da BRP.....	84
Figura 42 - Variação espacial da concentração de estrôncio em águas superficiais da BRP.....	84
Figura 43 - Variação espacial da concentração de bário em águas superficiais da BRP.....	85
Figura 44 - Variação espacial da concentração de titânio em águas superficiais da BRP.....	85
Figura 45 - Variação espacial da concentração de cobre em águas superficiais da BRP.....	86
Figura 46 - Variação espacial da concentração de zinco em águas superficiais da BRP.....	87
Figura 47 - Variação espacial da concentração de estanho em águas superficiais da BRP.....	87
Figura 48 - Variação espacial da concentração de vanádio em águas superficiais da BRP.....	88
Figura 49 - Variação espacial da concentração de boro em águas superficiais da BRP.....	88
Figura 50 – Valores superiores de <i>baseline</i> para Fe no período chuvoso (cor azul) e de estiagem (cor bege) na BRP (Os gráficos da esquerda estão em escala real e os da direita em logarítmica).	91
Figura 51 - Valores superiores de <i>baseline</i> para Cu no período chuvoso (cor azul) e de estiagem (cor bege) na BRP.	92
Figura 52 - Valores superiores de <i>baseline</i> para Zn no período chuvoso (cor azul) e de estiagem (cor bege) na BRP.	92
Figura 53 – Variação espacial do Índice de Qualidade Química da Água na BRP.....	93
Figura 54 - Diagrama Na/(Na+Ca) vs. log STD (Gráfico de <i>Gibbs</i>) para as águas superficiais da BRP.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferentes definições do termo <i>background</i> geoquímico.....	20
Tabela 2 – Principais compartimentos dos sistemas aquáticos.	24
Tabela 3 - Dados básicos dos dois principais municípios com produção mineral inseridos na BRP. ...	27
Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos, ânions e fósforo total analisados em água superficial.	37
Tabela 5 – Metais analisados em amostras de água e seus respectivos limites de detecção.....	38
Tabela 6 - Valores de referência do CONAMA 357/05 e WHO/1993, peso relativo e unidades de peso para cada parâmetro.	45
Tabela 7 - Faixa de classificação do Índice de Qualidade da Água para águas superficiais da bacia do rio Parauapebas.	45
Tabela 8 – Elementos-traço com mais de 88% de amostras com valores abaixo do LD.....	47
Tabela 9 – Parâmetros físico-químicos, ânions e elementos com representatividade estatística.	48
Tabela 10 – Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total} , componentes maiores (cátions) e elementos-traço de águas superficiais da bacia do rio Parauapebas.	52
Tabela 11 - Valores máximos estipulados para parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total} , componentes maiores (cátions) e elementos-traço pela Resolução CONAMA 357 – classes II, e por WHO/1993. ..	54
Tabela 12 - Pesos das variáveis em relação às cinco primeiras componentes principais para águas superficiais da BRP.....	66
Tabela 13 - Autovalores e variâncias das componentes principais para o período chuvoso e de estiagem da BRP.	67
Tabela 14 – Limite superior das concentrações de <i>baseline</i> para 15 metais no período chuvoso e de estiagem na bacia do rio Parauapebas.	90
Tabela 15 – Concentrações de ferro manganês total nas águas de sub-bacias da bacia do rio Itacaiúnas e em bacias de outros estados brasileiros.	102

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BDGeoq – Banco de dados geoquímico

BHRI – Bacia Hidrográfica do rio Itacaiúnas

CE – Condutividade elétrica

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DS – Desenvolvimento Sustentável

Eh – Potencial redox

HCA - Análise de Agrupamento Hierárquico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IQQA – Índice de Qualidade Química da Água

ITV DS – Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável

LD – Limite de detecção

OD – Oxigênio dissolvido

PBGqBHRI - Projeto background geoquímico da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas

PC – Período chuvoso

PCA – Análise de Componentes Principais

PE – Período de estiagem

pH – Potencial hidrogeniônico

BRP – Bacia do rio Parauapebas

SIG – Sistema de informação geográfica

SIGGeoq – Sistema de informação geográfica geoquímico

STD – Sólidos totais dissolvidos

VMP – Valor máximo permitido

WHO – *World Health Organization*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo Geral.....	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA	20
3.1	Definições de <i>background</i> , <i>baseline</i> e <i>threshold</i>	20
3.2	Caracterização geoquímica das águas superficiais	22
3.3	Fonte e mobilidade de espécies químicas em água superficial.....	23
3.4	Índice de Qualidade Química da Água	25
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
4.1	Hidrografia, clima e vegetação	30
4.2	Geologia.....	32
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
5.1	Amostragem.....	35
5.2	Parâmetros e técnicas analíticas.....	36
5.3	Informatização dos dados em sistema georreferenciado	38
5.4	Verificação da qualidade dos dados analíticos	39
5.4.1	Verificação do percentual de amostras abaixo do limite de detecção	39
5.4.2	Precisão.....	39
5.5	Análises estatísticas	40
5.5.1	Estatística descritiva e multivariada	40
5.6	Estimativa de <i>baseline</i> geoquímico	41
5.6.1	Técnicas estatísticas aplicadas para o cálculo de <i>baseline</i>	41
5.7	Avaliação da qualidade química da água - IQQA	43
5.8	Elaboração de mapas e distribuição espacial dos parâmetros, ânions e elementos em águas superficiais.....	46
6	RESULTADOS.....	47
6.1	Controle de qualidade	49
6.1.1	Precisão.....	49
6.1.2	Correlação de parâmetros	50
6.2	Análise Estatística.....	51
6.2.1	Estatística descritiva	51
6.2.2	Estatística multivariada.....	60
6.3	Espacialização dos dados.....	69

6.3.1	Parâmetros físico-químicos	69
6.3.2	Ânions e fósforo total	74
6.3.3	Componentes maiores (cátions) das águas superficiais da BRP	78
6.3.4	Elementos-traço nas águas superficiais	82
6.4	Estimativa de <i>baseline</i> geoquímico de metais em águas superficiais da bacia do rio Parauapebas.....	89
6.5	Índice de Qualidade Química da Água – IQQA	93
7	DISCUSSÕES	94
7.1	Influência das variações sazonais na geoquímica das águas superficiais	94
7.2	Influência de ambiente geológico e litologia vs. efeitos antrópicos na geoquímica das águas.. ..	97
7.3	Qualidade química da água na bacia e a influência de uso e cobertura do solo	99
7.4	Valores de <i>baseline</i> geoquímico para metais na bacia do Rio parauapebas	103
8	CONCLUSÕES	106
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
	Apêndice A	117
	Apêndice B	149
	Apêndice C	154

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água superficial pode ser afetada por alterações devido as ações antrópicas ou a processos naturais, cujas causas principais podem ser: despejo de efluentes (NASCIMENTO; HELLER, 2005), desmatamento e defensivos agrícolas (SILVEIRA, 2004), intemperismo químico (WHITE, 1995; GAILLARDET et al., 1999; NAVARRE-SITCHLER; BRANTLEY, 2007) e ciclos biogeoquímicos (BOYER et al., 1997; KUMP et al., 2000). O sistema aquático é considerado o mais sensível a mudanças (GRIMM et al., 1997; DAMYANOVA; IVANOVA; IGNATOVA, 2014; AMUNDRUD; SRIVASTAVA, 2015), sendo que variáveis climáticas como precipitação e temperatura exercem significativa influência neste ambiente.

Para melhor acompanhamento de sistemas aquáticos, a geoquímica de águas tem sido bastante utilizada, pois possibilita a avaliação da qualidade da água¹, correlação química da água com litologia, estimativa de *baselines* e elaboração de mapas hidroquímicos, que podem servir de base para tomadas de decisões, em termos de controle de poluição (SZIKSZAY, 1993). Entretanto, sabe-se que a dinâmica de processos hidrológicos e geoquímicos das bacias hidrográficas é complexa (BAO, 2017). Por isso, o entendimento destes processos requer amostragem de alta densidade, juntamente com mapeamento espacial baseado em sistema de informação geográfica - SIG e sua correlação com litologia local e agentes antropogênicos, bem como a aplicação de técnicas estatísticas (MATSCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000; REIMANN; GARRETT, 2005; URRESTI-ESTALA et al., 2013).

Determinar valores de *baseline* natural em água superficial não é simples por causa da influência de diversificadas variáveis naturais e antropogênicas na química da água. Apesar do termo *baseline* ser usado, por vezes, de forma não rigorosa como equivalente a *background*², *baseline* representa na realidade a concentração do elemento no ambiente no momento da amostragem em uma data específica (REIMANN; GARRETT, 2005). Por esse motivo, fixar valores de *baseline* natural é praticamente impossível e adota-se preferencialmente o termo *baseline* ambiental, o qual compreende os efeitos de fontes naturais mais fontes antropogênicas difusas (WENDLAND et al., 2008).

¹ É utilizado para descrever o estado da água, incluindo as suas características químicas, físicas e biológicas, geralmente no que diz respeito à sua adequação para um fim específico, isto é, beber, nadar, pescar e outros (DIERSING, 2009).

² É definido como o intervalo de concentração natural de um elemento em uma determinada área (ARPINE; GAYANE, 2016; GALUSZKA 2007b) e, para distinguir as concentrações naturais (geogênicas) de concentrações antropogênicas (GALUSZKA, 2007; REIMANN; GARRETT, 2005).

Avaliar a qualidade da água tem se tornado cada vez mais frequente e relevante, pois a escassez e a baixa qualidade de água causam preocupação para abastecimento da população, como ocorre no sudeste do Brasil (JARDIM, 2015; MARTIRANI; PERES, 2016; NOBRE et al., 2016). A região norte ainda carece de registros de monitoramento e vigilância da qualidade da água (VASCONCELOS et al., 2016).

Na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas - BHRI, situada na região sudeste da Amazônia, o interesse em monitorar a geoquímica das águas superficiais foi particularmente acentuado, porque a região está inserida na Província Mineral de Carajás, onde se encontram grandes projetos minerais como: minas de cobre do Sossego e Salobo, minas de ferro de N4, N5, S11D e Serra Leste, mina de níquel de Onça-Puma e as de Manganês do Azul e Buritirama.

A BHRI vem apresentando desde a década de 70 até os dias atuais significativas mudanças na cobertura e uso da terra e na hidroclimatologia (SOUZA-FILHO et al., 2016). A região foi alvo de um processo intenso de desmatamento, relacionado principalmente à expansão da pecuária extensiva (MARTINELLI, 2010). Tais mudanças, causaram modificações na paisagem, nos ecossistemas e também afetaram os processos de escoamento e descarga dos rios da bacia (LIMA et al., 2014; SAJIKUMAR; REMYA, 2015; SILVA JUNIOR et al., 2017).

As intensas modificações na BHRI têm causado a degradação de áreas ribeirinhas (DEEGAN et al., 2011) e provocado alterações no ciclo hidrológico (D'ALMEIDA et al., 2007). Além disso, têm surgido questionamentos sobre possíveis contaminações geradas pela indústria mineral, em particular nas áreas de influência da mineração Onça-Puma (níquel) na bacia do rio Cateté e na área do Igarapé Gelado, situada imediatamente a norte das minas de ferro de N4 e N5 em Carajás. Neste sentido, preocupa a falta de conhecimento mais consistente sobre a geoquímica das águas nessa região, pois isto dificulta a avaliação do possível impacto da mineração e impede a tomada de decisões embasadas em dados científicos.

Para permitir a visualização clara das atuais condições geoquímicas da bacia e criar as bases para o seu monitoramento, o Instituto Tecnológico Vale desenvolve o projeto de pesquisa Background Geoquímico da Bacia do Hidrográfica do Rio Itacaiúnas – PBGqBHRI, onde a presente pesquisa se insere. Já foram divulgados estudos de águas superficiais realizados em áreas próximas das minas de ferro N4 e N5 em Carajás (TEIXEIRA, 2016) e nas bacias dos rios Vermelho e Sororó (SALOMÃO et al., 2018). O presente estudo está voltado especificamente para a bacia do rio Parauapebas - BRP, pois há carência de informações a respeito da qualidade e geoquímica das suas águas superficiais e um número significativo de empreendimentos, pessoas e comunidades dependem desse rio e seus afluentes para atender

suas demandas de recursos hídricos. Em função disso, avaliou-se a qualidade química das águas superficiais e foram calculados valores de *baseline* para diferentes elementos químicos na bacia do rio Parauapebas, situada da porção central da BHRI. Isto permitirá monitorar futuras ações antrópicas sobre o ambiente natural, criará a perspectiva de melhor quantificação de eventuais impactos e será fundamental para orientar ações mitigadoras.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade química das águas superficiais e definir valores de *baseline* geoquímico para a bacia do rio Parauapebas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a qualidade química das águas superficiais e comparar com as resoluções do CONAMA 357/05 – classe 2 e WHO/1993;
- Avaliar a variação espacial e sazonal da qualidade química da água e seus fatores controladores;
- Definir valores de *baseline* geoquímico em águas superficiais para os metais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

3.1 DEFINIÇÕES DE *BACKGROUND*, *BASELINE* E *THRESHOLD*

O conceito de *background* geoquímico tem sido abordado por inúmeros especialistas de diferentes áreas e existem variadas definições para o mesmo. A princípio, o conceito foi utilizado por geoquímicos de exploração em levantamentos com o objetivo de detectar anomalias geoquímicas, vistas como indicadoras de alvos para prospecção mineral (HAWKES; WEBB, 1962). Neste contexto, buscava-se a distinção entre concentrações normais e anômalas de substâncias no meio ambiente, visando encontrar anomalias positivas (GALUSZKA; MIGASZEWSKI, 2011) e o *background* geoquímico correspondia à concentração normal de um elemento em um meio de investigação, podendo ser solo, rocha, água ou plantas (HAWKES; WEBB, 1992; BATES; JACKSON, 1994; PLUMLEE, 1999).

Segundo Gough (1993), o termo reporta-se aos valores de concentrações de determinados elementos em um certo meio, não influenciado por atividades antropogênicas. Para Matschullat; Ottenstein; Reimann (2000), *background* geoquímico seria um indicador utilizado para diferenciar concentrações naturais de algum elemento, daquelas que foram influenciadas por atividades humanas.

Matschullat; Ottenstein; Reimann (2000) frisam a inexistência de uma definição clara de *background* geoquímico e afirmam que muitas vezes o termo é empregado de maneira imprecisa. Diante das diversas definições de *background* geoquímico em estudos ambientais (cf. REIMANN; GARRETT, 2005; GALUSZKA, 2007b;), Gałuszka (2007b) apresentou uma síntese sobre os conceitos existentes, os quais são sumarizados na Tabela 1 (RODRIGUES; NALINI JUNIOR, 2009).

Tabela 1 - Diferentes definições do termo *background* geoquímico.

VARIANTES	DEFINIÇÕES	REFERÊNCIAS
<i>Background Ambiental</i>	Concentrações de substâncias inorgânicas naturais e de origem antrópica que são representativas de uma dada região.	Natural resources and environmental protection cabinet (2004)
<i>Background Antropogênico</i>	Concentrações observadas em uma dada região tipicamente como resultado de atividades humanas (Não necessariamente relacionadas a uma atividade de contaminação).	Portier (2001)

	Produtos químicos presentes no meio ambiente devido às atividades humanas não relacionadas a fontes específicas de contaminação.	NFESC (2002)
Background Local	Concentrações de substâncias perigosas presentes consistentemente no meio ambiente, não relacionadas à liberação por atividades antropogênicas.	Model Toxics Control Act Cleanup (2001)
Background Natural	Concentrações de substâncias naturais no meio ambiente isentas de fonte antropogênica de poluição.	Natural resources and environmental protection cabinet (2004)
	Concentração de substâncias perigosas no meio ambiente não relacionadas à liberação por atividades antropogênicas.	Model Toxics Control Act Cleanup (2001)
	Concentrações de elementos químicos presentes no meio ambiente não influenciadas por atividades antrópicas.	NFESC (2002)
Background Pedogeoquímico	Concentrações naturais de elementos presentes no solo.	Baize; Sterckeman (2001)
Background Pré – Industrial	Concentrações de diferentes elementos em materiais coletados e datados, provenientes de áreas do período pré-industrial preservadas e estudadas.	Matschullat; Ottenstein; Reimann (2000)
Baseline	Concentração de um determinado elemento no momento da amostragem em uma data específica.	Reimann; Garrett 2005

Fonte: Adaptado de Rodrigues; Nalini Junior (2009).

Também foram empregados frequentemente, como sinônimos de *background* geoquímico, os termos *baseline* e *threshold* (GALUSZKA; MIGASZEWSKI, 2011). Inicialmente, o termo *baseline* foi utilizado por Tidball et al. (1974), sendo definido como a concentração atual de substância química em uma amostra ambiental contemporânea. Porém, outros autores assinalam que *baseline* é utilizado por vezes como sinônimo de *background* e deveria corresponder a um intervalo. Ele costuma ser representado pela concentração de um determinado elemento em amostragem feita em uma data específica, a qual é utilizada como referência para quantificar futuras mudanças (REIMANN; FILZMOSER; GARRETT, 2005), enquanto que *threshold* corresponde ao limite superior da variação de *background* (REIMANN; FILZMOSER; GARRETT, 2005; REIMANN; GARRETT, 2005). Em águas superficiais, a caracterização geoquímica e a determinação de valores de *background* são de extrema importância, pois proporcionam a diferenciação da origem de anomalias geoquímicas, podendo

ser geogênica ou antropogênica. Entretanto, para Gałuszka (2007b), é impossível determinar concentrações precisas de *background* em águas, pois existe significativa variabilidade temporal e espacial neste meio. Para Nriagu (1989), mesmo em áreas relativamente limpas, o deslocamento de poluentes no ar, liberados pela erosão natural e por fontes antropogênicas, potencializam a água com variados elementos, o que compromete uma determinação precisa dos valores de *background*.

Fatores geológicos, biológicos, climáticos e condições hidrológicas também podem dificultar a estimativa de valores de *baseline* em águas superficiais. Eles podem influenciar a qualidade da água e causar enriquecimento das concentrações dos elementos químicos (GAŁUSZKA, 2007b; ARPINE; GAYANE, 2016). Tendo em vista a ampla discussão a respeito dos termos *baseline* e *background*, no presente trabalho utilizou-se o termo *baseline*, indicado como o mais apropriado para águas superficiais.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

As características geoquímicas das águas superficiais derivam de vários fatores, tanto naturais, como processos biológicos, clima, intemperismo de rochas, e ambiente geológico, quanto antropogênicos, como efluentes domésticos e industriais (ESTEVES, 1998; ARMENGOL; MORENO-AMICH; PALAU, 2006; DEMIRACK, 2006).

Processos naturais ou antropogênicos podem liberar nas águas cátions e ânions, gases dissolvidos e matéria orgânica (HEMOND; FECHNER, 2015), que, dependendo das características físico-químicas da água, podem ficar dissolvidos, suspensos, ou ser depositados no fundo formando sedimentos ou, ainda, serem transportados.

De modo geral, as águas superficiais apresentam elementos inorgânicos de origem natural, sendo que Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H_4SiO_4 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- e NO_3^- encontram-se em concentrações mais elevadas, acima de 1 mg/L, e, são classificados como elementos maiores (GAILLARDET, 2003), ao passo que os demais elementos, abaixo de 1 mg/L, classificam-se como elementos-traço. Em ecossistemas aquáticos, a ordem de abundância dos elementos maiores reflete diretamente as características hidrogeoquímicas das águas e pode indicar as principais fontes em termos de rochas, tipo de material de captação e a sua origem antropogênica ou natural. Segundo Gaillardet (2003), a constituição de elementos maiores em rochas não se reproduz necessariamente em água; como exemplo, carbono e cloreto que são traço em rochas e maiores em água. Têm-se observado em águas superficiais, especialmente na região de Carajás (TEIXEIRA, 2016; SALOMÃO et al., 2018), valores acima de 1mg/L para o elemento ferro, apesar de ser considerado um elemento pouco móvel e traço em água

(KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). Teores elevados em águas superficiais não somente de ferro, mas também de manganês são característicos de regiões como a Amazônia, cujo clima tropical com alta precipitação favorece o desenvolvimento de intensa alteração supergênica e formação de crostas ferruginosas e aluminosas, cuja desagregação e transporte por fluxo superficial pode provocar mudanças na qualidade e composição geoquímica das águas (MENEZES, 2017).

Em sistemas fluviais, por serem sistemas abertos termodinamicamente, torna-se mais difícil caracterizar variações significativas de elementos, pois a água de tais sistemas apresenta diversos componentes orgânicos e pode conter grande variedade de elementos químicos (GUILHERME et al., 2005). Contudo, melhor entendimento destes sistemas poderá ser obtido usando múltiplas abordagens, tais como: amostragem de alta densidade (a depender da escala), mapeamento e distribuição espacial das concentrações dos elementos baseados em técnicas de SIG e sua correlação com a litologia local e fontes antropogênicas (JORQUERA et al., 2015; NÓBREGA et al., 2018; SALOMÃO et al., 2018;). Com isso poderá ser compreendido o comportamento geoquímico dos elementos e definir com mais rigor valores de *baselines* coerentes com o contexto da região. Em razão disso, foram adotadas múltiplas abordagens no estudo das águas superficiais da bacia do rio Parauapebas.

3.3 FONTE E MOBILIDADE DE ESPÉCIES QUÍMICAS EM ÁGUA SUPERFICIAL

Nos sistemas aquáticos, a presença de elementos-traço ocorre naturalmente, mesmo com ausência de interferência antrópica (GUILHERME et al., 2005). Entretanto, sua concentração pode aumentar tanto por processos de origem natural, relacionados principalmente ao intemperismo de rochas e à lixiviação do perfil de solo, quanto por ações antropogênicas geradoras de efluentes domésticos e industriais, bem como atividades de mineração e agrícolas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001; DEMIRACK, 2006).

O enriquecimento acelerado de elementos-traço provindos de atividades antrópicas, pode causar danos à saúde humana e desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos. Contudo, deve-se ressaltar que dentre os elementos-traços, alguns como cobre, ferro, manganês, níquel e zinco, são considerados micronutrientes fundamentais para a biota (GASHI et al., 2016). Alguns deles, quando presentes em concentrações mais elevadas, deixam de ser benéficos e enquadram-se como tóxicos e há outros, que não trazem benefícios para os organismos, são considerados potencialmente tóxicos e servem como parâmetro de alerta de risco à saúde humana (DRISCOLL; OTTON; IVERFELDT, 1994).

Dentre as fontes potenciais de enriquecimento de elementos-traço em águas superficiais, também se incluem a deposição atmosférica (Pb e V), fundição de metais não-ferrosos (Cd, Ni, Pb e Se), queima de carvão para geração de energia (As, Hg e Se) e o descarte de lodo de esgoto (As, Mn e Pb) (GUILHERME et al., 2005).

Para compreender melhor a ciclagem destes elementos, Hart; Lake (1987) definem um modelo conceitual, o qual consiste em quatro compartimentos principais, apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais compartimentos dos sistemas aquáticos.

Compartimento dissolvido	Contém íons livres, complexados e ligados coloidalmente.
Compartimento particulado (abiótico)	Consiste tanto de partículas orgânicas quanto inorgânicas.
Compartimento particulado (biótico)	Consiste principalmente de fitoplâncton (e bactérias).
Sedimento de fundo	É o maior compartimento da maioria dos sistemas aquáticos.

Fonte: Hart; Lake (1987).

Em águas superficiais, os elementos-traço estão expostos a inúmeras interações, determinadas principalmente pelas alterações nas condições físico-químicas do ambiente (WARREN; HAACK, 2001). Essas interações podem ocorrer a partir de ligações entre elementos ou destes com outros solutos, formando complexos e permanecendo na forma dissolvida. Na forma particulada, podem se unir a partículas inorgânicas e orgânicas (por adsorção e assimilação). Os principais processos que controlam a compartimentalização de elementos-traço entre as fases sólida e líquida são adsorção/dessorção e precipitação/dissolução (BARROW, 1989; HERING, 1995). O elemento-traço, quando se encontra na forma particulada, pode precipitar e se depositar no fundo dos cursos d'água (GUILHERME et al., 2014). Ele poderá retornar à forma dissolvida por meio de mineralização da biota, dessorção ou ressolubilização.

Os efeitos mais importantes da atividade microbiana no comportamento dos elementos-traço em solos se dão pela degradação da matéria orgânica e por meio de reações de oxirredução.

Uma zona anóxica pode ocorrer na interface água-sedimento provocada pela depleção de O₂. Nesta zona, podem ocorrer reações de redução e dissolução de óxidos de Fe (III) e Mn (IV) as quais podem liberar metais catiônicos (p. ex., Cd²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺) ou oxianions (p.

ex., AsO_3^{3-}) que se encontravam adsorvidos nos sedimentos (McARTHUR et al, 2004). A dissolução de compostos com os íons Fe^{2+} e Mn^{2+} pode permitir sua liberação para a solução, e tais íons podem ficar expostos a regiões óxicas, próximas à superfície da água. Neste ambiente, há grande disponibilidade de oxigênio e os íons Fe^{2+} e Mn^{2+} podem sofrer oxidação e reprecipitar novamente (McARTHUR et al, 2004), de tal modo que os ciclos de redução e oxidação podem se alternar ao longo do tempo.

3.4 ÍNDICE DE QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA

Uma das formas de avaliar a qualidade da água é através do Índice de Qualidade da Água - IQA, utilizado para descrever o estado da água, incluindo as suas características químicas, físicas e biológicas, o qual fornece um único número que expressa a qualidade da água em um determinado local e horário (YOGENDRA; PUTTAIAH, 2008), baseando-se em vários parâmetros (BROWN et al., 1973; CHATTERJEE; RAZIUDDIN, 2007). No presente trabalho não foram utilizados parâmetros biológicos, em razão disso foi determinado o Índice de Qualidade Química da Água – IQQA. De modo geral, o objetivo destes índices é transformar dados complexos de qualidade da água em informação que sejam compreensíveis e utilizáveis pelo público.

A seleção dos parâmetros a serem utilizados para a determinação do IQQA, irá depender do objetivo do estudo e da investigação do projeto, atentando-se para os usos previstos nas legislações para o corpo d'água e as origens de potenciais poluições existentes no local investigado. Neste trabalho, utilizou-se 15 parâmetros para determinar o IQQA, sendo eles: pH, temperatura, turbidez, condutividade, STD, OD, NO_3^- , P_{total} , SO_4^{2-} , Cl^- , F, Ca, Mg, Na e K.

No Brasil, a legislação do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA 357/05, estabelece diretrizes para a classificação e enquadramento dos corpos d'água. As águas superficiais são divididas em doces, salobras e salinas. As águas doces podem ser classificadas em cinco classes distintas: a classe especial e as classes 1, 2, 3 e 4, cada uma apresenta concentrações máximas permitidas e estabelecidas na legislação. Também temos o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, que trata do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Esta portaria contempla os mesmo parâmetros e valores propostos pela WHO/1993 (*World Health Organization*).

Desde 1975, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) e outros estados brasileiros vem utilizando o Índice de Qualidade da Águas (IQA) criado nos Estados

Unidos pela NSF (*National Sanitation Foundation*). Este índice abrange nove parâmetros (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, E. coli, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez), cada um com seu respectivo peso. Este modelo de IQA proposto, tem por objetivo a avaliação da qualidade da água bruta, visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento (ANA, 2012). Entretanto, sabe-se que este modelo possui suas limitações (NOORI et al., 2019), pois não contempla parâmetros que são fundamentais para o abastecimento público, como elementos com potencial tóxico, pesticidas e compostos orgânicos.

Na tentativa melhor avaliar o índice de qualidade da águas, vários autores (CHATTERJEE; RAZIUDDIN, 2007; YOGENDRA; PUTTAIAH, 2008; KHANGEMBAM; KSHETRIMAYUM, 2019; MUKATE et al., 2019) tem utilizado maior número e variados parâmetros para determinar o IQA, levando em consideração, sobretudo, os principais componentes químicos dominantes nas águas (KHANGEMBAM; KSHETRIMAYUM, 2019) e a finalidade (agricultura, potabilidade, indústria e uso doméstico) do IQA. Cabe destacar que para desenvolver um bom índice de qualidade da água, deve-se realizar uma análise integrada da qualidade da água, levando em consideração o contexto da região, em termos de geologia, pedologia, vegetação, variáveis climatológicas e uso e ocupação do solo (CARVALHO; FERREIRA; STAPELFELDT, 2004).

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo, bacia do rio Parauapebas – BRP (Figura 1c), possui uma área de 9.522 km² e está inserida na Província Mineral de Carajás e na Bacia Hidrográfica do rio Itacaiúnas – BHRI, situada no sudeste do estado do Pará (Figura 1a) e a aproximadamente 600 km ao sul da linha do equador (SOUZA-FILHO et al., 2016).

Na BHRI, encontram-se parte ou a totalidade de seis municípios, sendo eles: Marabá, Parauapebas, Curionópolis, Eldorado dos Carajás, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte e também minas com operações ativas como as do Sossego e Salobo (cobre), Onça-Puma (Níquel), Azul e Buritirama (Manganês), N4, N5, Serra Leste e S11D (Ferro) (Figura 1b). Quanto ao uso e cobertura do solo, a região era quase que inteiramente coberta por floresta tropical, mas atualmente predominam pastagens, sendo que as florestas remanescentes situam-se, em sua maior parte, em áreas protegidas que constituem o Mosaico de unidades de conservação de Carajás (Figura 1b), compreendido por: Reserva Biológica do Tapirapé (RBT), Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri (FNTA), Floresta Nacional do Itacaiúnas (FNI), Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado (APA-IG), Floresta Nacional de Carajás (FNC), Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (PNCF) e Terra indígena Xikrin-Cateté (TIXC). Fora do mosaico de Carajás, no extremo nordeste da bacia se situam as Terras indígenas Sororó (TIS) e Tuwa Apekuokawera (TITA).

Na região de estudo, BRP (Figura 1c), observam-se contrastes significativos quanto aos aspectos geológicos, solos, índice pluviométrico, e principalmente uso e ocupação do solo, o que garante paisagens diversificadas. Nela, estão inseridas as cidades de Parauapebas, a sexta mais populosa do estado do Pará, e Canaã dos Carajás (Tabela 3), ambas com menos de 50% de seu esgoto tratado (IBGE, 2018).

Tabela 3 - Dados básicos dos dois principais municípios com produção mineral inseridos na BRP.

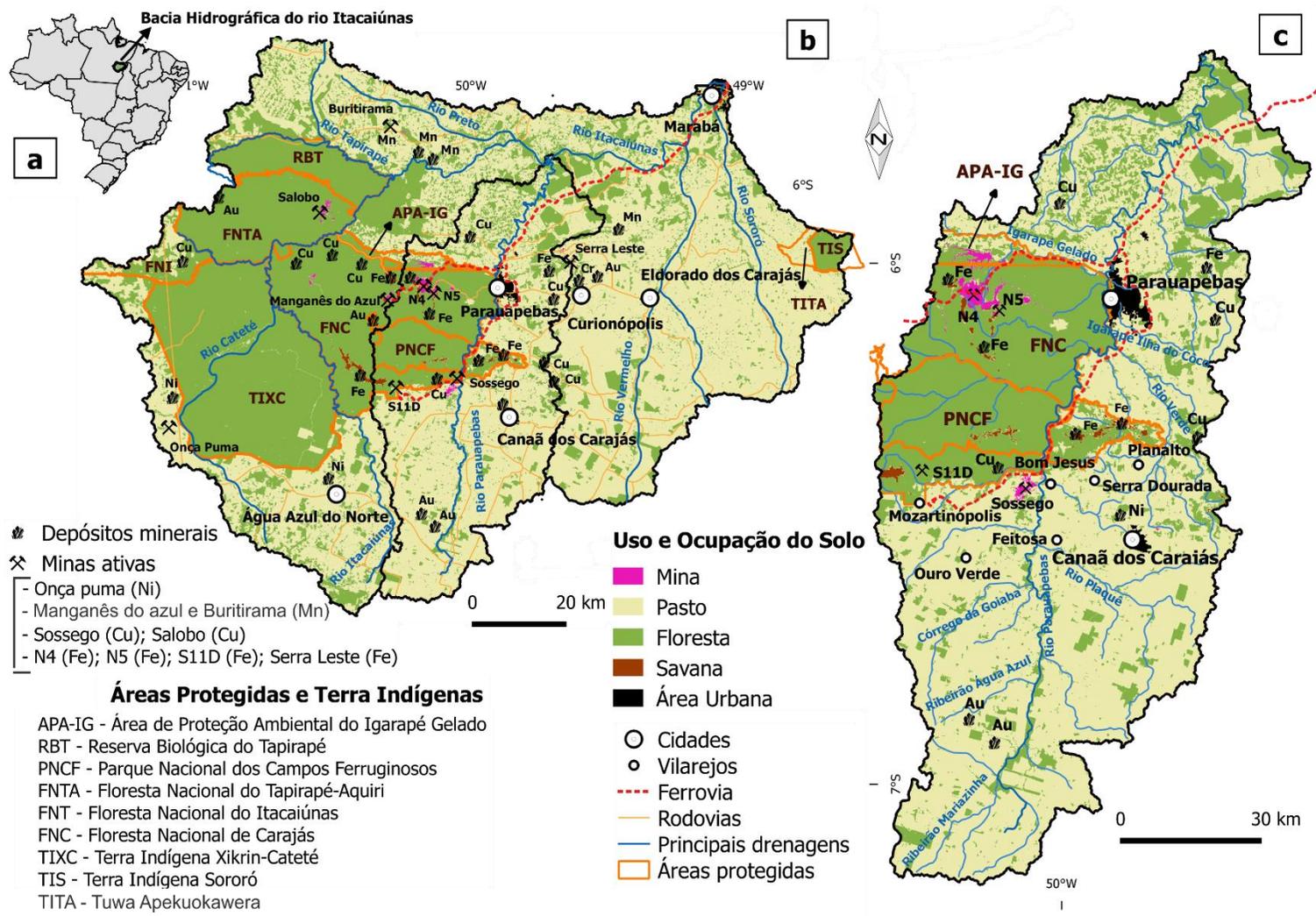
Municípios	População estimada (2018)	População no último censo (2010)	Esgotamento sanitário adequado (2010)	Disposição de resíduos sólidos
Parauapebas	202.882 hab	153.908	45,7%	Aterro controlado
Canaã dos Carajás	36.050 hab	26.716	35,3%	Aterro controlado

Fonte: IBGE (2018).

Além disso, existem nestes dois municípios, vários vilarejos situados nas proximidades de vicinais ou da PA-160, como: Mozartínópolis, Ouro Verde, Feitosa, Bom Jesus, Serra Dourada e Planalto (Figura 1c).

A BRP é uma das principais sub-bacias no contexto da BHRI, pois apresenta vários depósitos minerais e minas ativas como N4, N5, S11D e Sossego, e densidade populacional relativamente elevada e intensa atividade econômica. Ao longo de décadas vem sendo desmatada, principalmente para uso da pecuária (SOUZA-FILHO et al., 2016), de modo análogo ao observado em toda extensão da BHRI. Em sua parte central, concentram-se o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos e partes da Floresta Nacional de Carajás e da Área de Preservação do Igarapé Gelado (Figura 1c).

Figura 1 – (a) Localização da BHRI; (b) Bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas na região de Carajás, mostrando a delimitação da área de estudo; (c) bacia do rio Parauapebas (área de estudo). Uso e ocupação do solo em 2013, segundo Souza-Filho et al. (2016).



Fonte: Adaptado de Souza-Filho et al. (2016).

4.1 HIDROGRAFIA, CLIMA E VEGETAÇÃO

A BHRI está dividida em seis principais sub-bacias, sendo elas: sub-bacias dos rios Cateté, Itacaiúnas, Tapirapé, Parauapebas, Vermelho e Sororó (Figura 2b).

O rio Parauapebas configura-se como um dos principais tributários do rio Itacaiúnas. Possui suas nascentes na Serra Arqueada e desloca-se sempre em direção ao norte (Figura 2a). É formado pela junção do Ribeirão do Caracol e do Córrego Água Preta, e seus principais tributários da margem esquerda são os igarapés Sossego, Jacaré, Gelado, Taboca, rio Sapucaia e o Córrego da Goiaba, e, pela margem direita, os rios Plaquê, Verde, Surpresa, Novo, Castanheira, Córrego Araras e o Igarapé Ilha do Coco. As drenagens da região de estudo não possuem enquadramento definido. Por isso, conforme Art. 42 da resolução CONAMA 357/05, os cursos d'água da BRP foram considerados como classe 2.

As drenagens afluentes do alto Parauapebas são em sua maior parte intermitentes, pois sua principal fonte de abastecimento é a precipitação pluviométrica. Como esta se reduz drasticamente no período de estiagem, vários afluentes deste trecho do rio Parauapebas encontram-se totalmente secos e o próprio Parauapebas passa a escoar sobre o nível de base regional, apresentando leito rochoso (Figura 3) e escassa contribuição lateral (GAT, 2007). O médio e baixo Parauapebas são abastecidos pelos igarapés perenes que descem da Serra dos Carajás e das áreas protegidas, cobertas pela floresta tropical e também por aquíferos subterrâneos, sendo suas drenagens perenes e havendo possibilidade de navegação em determinados trechos.

Ao deslocar-se no sentido S-N, ou seja, de montante para jusante do rio, constata-se mudanças não somente quanto à vazão do rio, mas também em termos de vegetação e da mata ciliar ao longo do rio Parauapebas, resultando cenários distintos, mesclando áreas protegidas (Figura 4a) e trechos com ocupação urbana (Figura 4b). A cobertura vegetal varia bastante e podem ser encontrados mata de igapó, mata de várzea, mata de terra firme, mata de cipó e mata seca. Estes tipos dependem das características do solo e de variáveis físicas como umidade, altitude, declividade, pH, permeabilidade, grau de alagamento, etc (ZAPPI, 2017).

Figura 2 – (a) Sub-bacia do rio Parauapebas; (b) sub-bacias hidrográficas inseridas na BHRI.

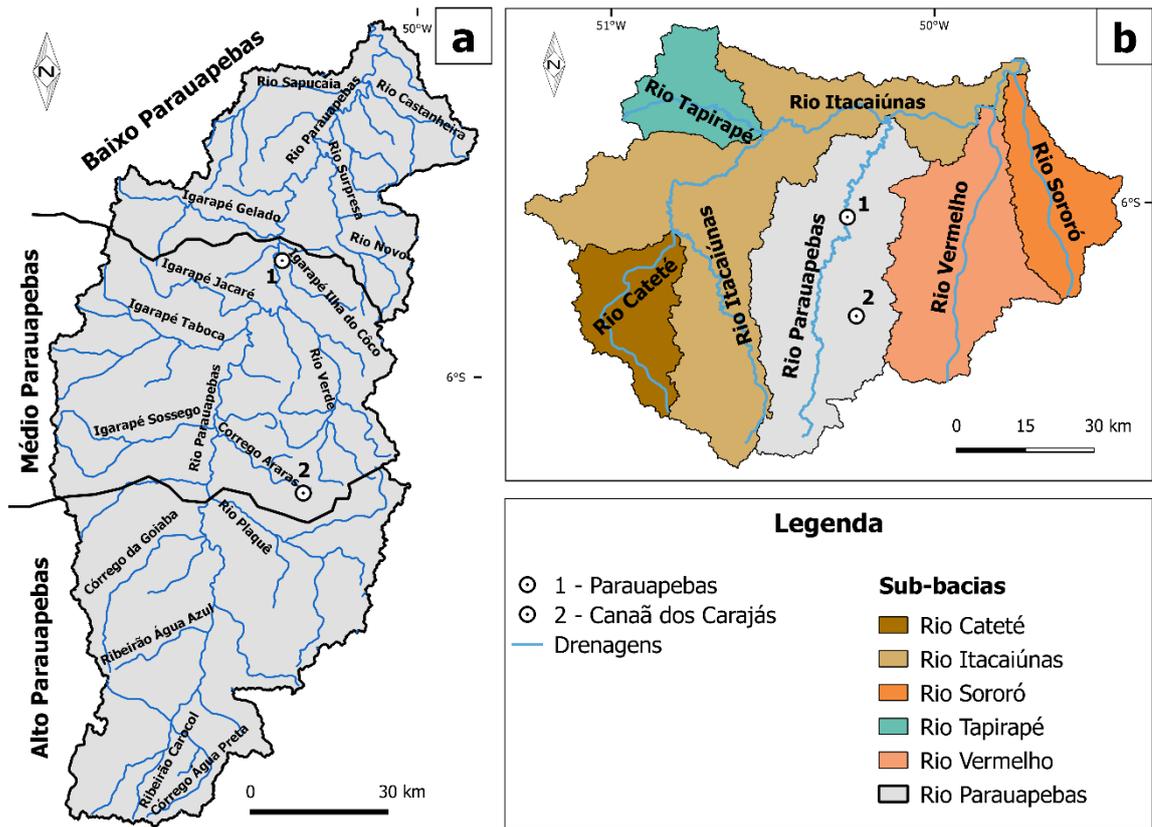


Figura 3 - Trecho do alto Parauapebas no período de estiagem.



Fonte: Registrada pelo autor em 24/07/2018 (período de estiagem).

Figura 4 – (a) Trecho do médio Parauapebas, no contexto no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos; (b) baixo Parauapebas, margem direita (sentido S-N), área de ocupação urbana e desprovida de mata ciliar em determinados trechos.



Fonte: Registradas pelo autor em 24/07/2018 (período de estiagem).

Quanto ao clima da região, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013) apresenta clima tropical, quente e úmido, registrando temperatura média anual de 27,2 °C, com umidade relativa anual de 80%. As precipitações na região apresentam variação espacial e sazonal, havendo forte contraste entre a estação chuvosa, que se estende de novembro a abril, sendo o mês de março o mais representativo, atingindo uma média mensal de 299,10 mm de precipitação e o período de estiagem, de maio a outubro, sendo o mês de junho o de menor precipitação, com média de 20,52 mm (SILVA JUNIOR et al., 2017).

4.2 GEOLOGIA

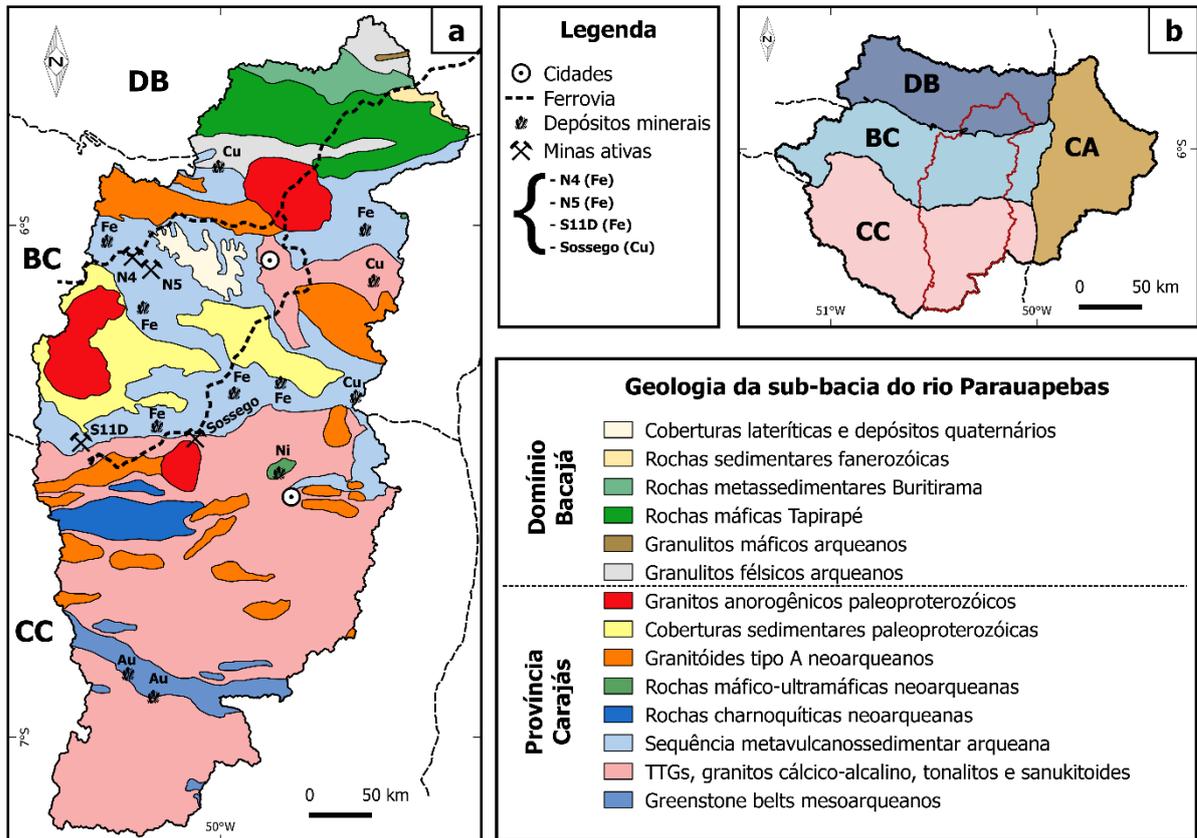
A Província Carajás é um segmento de crosta arqueana localizado na porção sudeste do Cráton Amazônico (VASQUEZ et al., 2008), conhecida mundialmente por seu grande potencial metalogenético. Está dividida em vários domínios tectônicos, entretanto, para o presente estudo, alguns foram unificados em função de suas afinidades geoquímicas, sendo a província dividida, de modo simplificado em quatro unidades tectônicas (Figura 5): na porção norte, o Domínio Bacajá (DB), cuja evolução iniciou no Arqueano, mas concentrou-se no período Paleoproterozóico (VASQUEZ et al., 2008); na porção centro-oeste, a Bacia Carajás (BC), formada basicamente por unidades supracrustais neoarqueanas (MARTINS et al., 2017); na porção sul, os domínios Canaã dos Carajás, Sapucaia e Rio Maria (CC), com idade mesoarqueana a neoarqueana e constituídos principalmente por rochas granitóides (FEIO et al., 2013; DALL'AGNOL et al., 2017) e, por fim, o Cinturão Araguaia (CA), localizado na porção leste da bacia e formado no final do Neoproterozóico ao início do Fanerozóico (MIYAGAWA, 2012).

A bacia do rio Parauapebas (BRP) se situa nos domínios DB, BC e CC (Figura 5b) e nela, como já mencionado, se situam várias minas ativas e depósitos minerais. Na porção norte da BRP, temos o Domínio Bacajá (Figura 5a), no qual encontram-se granulitos félsicos e máficos arqueanos, litotipos metassedimentares da Formação Buritirama, rica em manganês, e rochas máficas da Formação Tapirapé, além de coberturas sedimentares fanerozóicas.

No Bacia Carajás, predominam amplamente rochas metavulcânicas máficas com formações ferríferas bandadas associadas (VASQUEZ et al., 2008; MARTINS et al., 2017). Nela encontram-se as minas N4, N5 e S11D e outros grandes depósitos minerais de ferro (Figura 5a). Nesse domínio também ocorrem corpos graníticos tipo A neoarqueanos ou paleoproterozóicos, sendo o embasamento da bacia formado por associações tonalito-trondhjemito (TTG) e granitóides cálcio-alcálicos (DALL'AGNOL et al., 2017). Além disso, encontram-se coberturas sedimentares paleoproterozóicas e fanerozóicas, bem como coberturas lateríticas e depósitos quaternários.

No CC (Figura 5a), no qual está situada a mina do Sossego, predominam rochas granitóides, tais como TTGs, granitos a tonalitos cálcio-alcálicos, granitóides ricos em magnésio (sanukitoides), granitóides tipo A neoarqueanos e granitos anorogênicos paleoproterozoicos. Além disso, encontram-se sequências metamáficas (*greenstone belts*), rochas charnoquíticas e rochas máfico-ultramáficas neoarqueanas, onde se inserem depósitos de níquel como o do Vermelho (VASQUEZ et al., 2008; FEIO et al., 2013; DALL'AGNOL et al., 2017).

Figura 5 – (a) Mapa geológico da bacia do rio Parauapebas; (b) domínios geológicos presentes na BHRI: Província Carajás com Bacia Carajás (BC) e domínios Canaã dos Carajás, Sapucaia e Rio Maria (CC); Domínio Bacajá (DB); Cinturão Araguaia (CA).



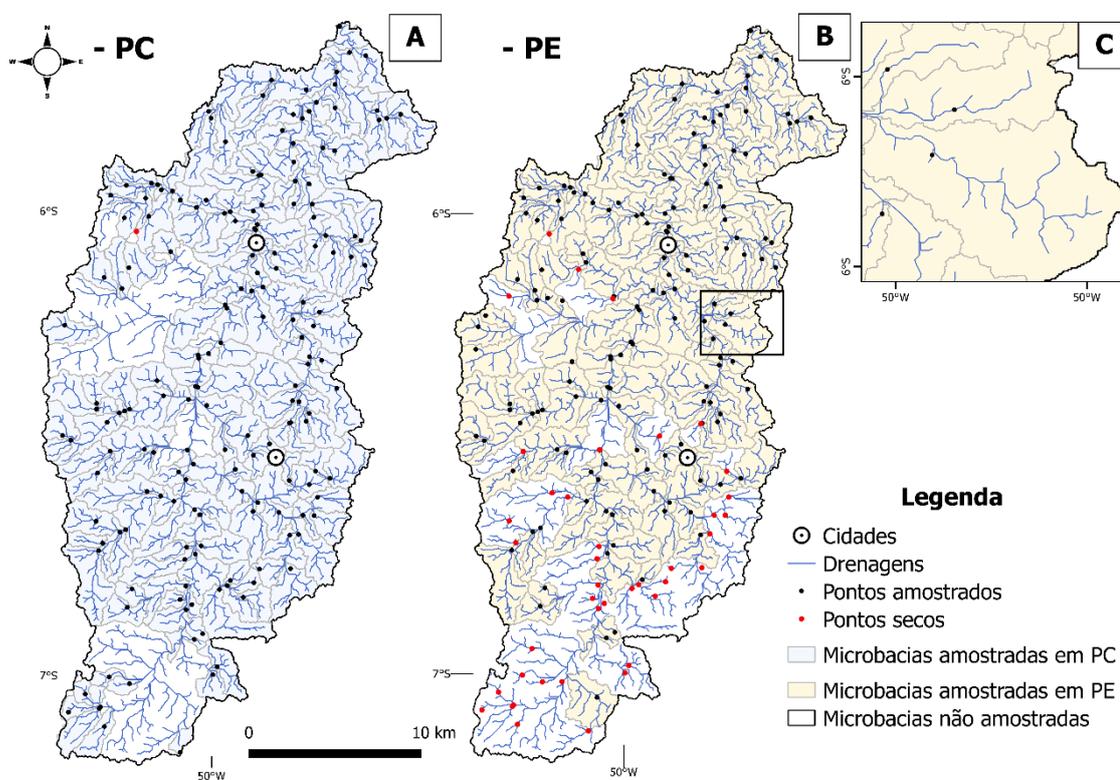
Fonte: Adaptado de Vasquez et al. (2008).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 AMOSTRAGEM

A presente pesquisa foi desenvolvida utilizando amostras de água superficial coletadas durante a execução do PBGqBHRI. As amostras foram coletadas em dois períodos distintos, durante o período chuvoso (PC), conduzida nos meses de março a maio e, no de estiagem (PE), nos meses de agosto a outubro, no ano de 2017. No planejamento da amostragem foi prevista coleta de uma amostra em cada microbacia (Figura 6c), preferencialmente na calha central do rio. A locação dos pontos de amostragem foi feita a partir de um SIG, levando em conta sobretudo a proximidade da foz da drenagem principal da microbacia (topografia) e, por conseguinte, geologia e uso e cobertura da terra.

Figura 6 – (a) Localização das amostras de águas superficiais coletadas na bacia do rio Parauapebas no período chuvoso – PC; (b) no de estiagem – PE; (c) detalhamento mostrando a coleta de uma amostra por microbacia.



A empresa Bioagri Ambiental Ltda, Brasil, foi responsável pelas coletas sob supervisão da equipe técnica do projeto. Uma única amostra foi coletada e dividida em dois frascos, um de 30 ml de alta densidade para a determinação dos ânions e P_{total} e outro, de 60 ml, para a análise de elementos metálicos, tendo sido as amostras acidificadas imediatamente após

a coleta com 1M de ácido nítrico ultrapuro (pH <2). Após a coleta, todas as amostras foram imediatamente armazenadas a uma temperatura <4 °C em caixa de gelo e enviadas ao laboratório. Foram coletadas, em diferentes microbacias, 175 amostras no período chuvoso com apenas um ponto seco (Figura 6a), e no de estiagem foram coletadas 152 amostras (Figura 6b), sendo registrados 41 pontos secos. Nos dois períodos, um número limitado de microbacias não pôde ser amostrado, pois não foi permitida a entrada em determinadas propriedades particulares e algumas drenagens não tiveram condições de acesso ou estavam totalmente secas, fato observado sobretudo no período de estiagem. A grande maioria destas drenagens intermitentes está situada no alto curso do rio Parauapebas.

Para garantir confiabilidade dos dados, foram coletadas 22 amostras em duplicata, com uma taxa de uma duplicata para cada 15 amostras. Os procedimentos de amostragem e preservação de amostras foram feitos seguindo os Métodos Padrão para o Exame de Água e Esgoto (SMWW, métodos 1060 e POP LB 010; APHA 2012).

5.2 PARÂMETROS E TÉCNICAS ANALÍTICAS

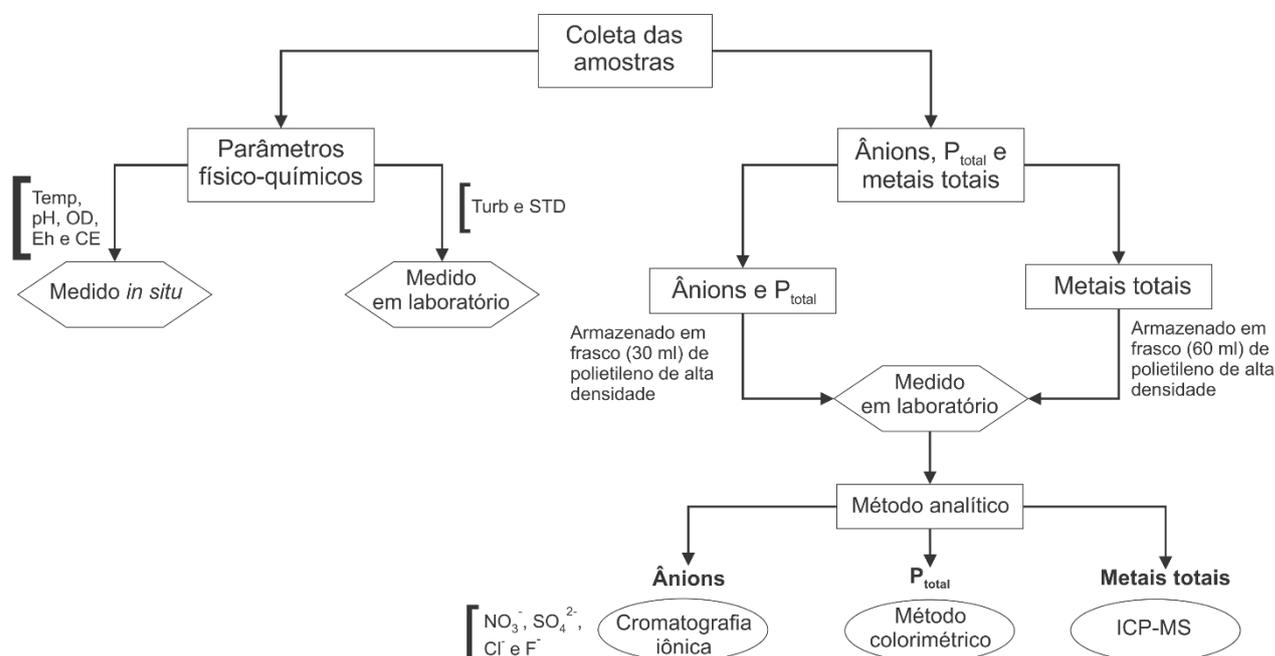
Foram medidos, *in situ*, com uma sonda multiparamétrica (Hanna modelo 98194), cinco parâmetros físico-químicos [temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), potencial redox (Eh) e condutividade elétrica], ao passo que sólidos totais dissolvidos (STD) e turbidez foram analisados em laboratório (Figura 7), a partir dos métodos gravimétrico e nefelométrico, respectivamente. Os ânions e P_{total} foram analisados em laboratórios certificados da empresa Bioagri Ambiental Ltda. na cidade de Piracicaba (SP), sendo nitrato, sulfato, fluoreto e cloreto analisados por cromatografia iônica e fósforo total a partir de método colorimétrico após digestão ácida (Figura 7). A Tabela 4 apresenta um detalhamento dos parâmetros físico-químicos e ânions com seus respectivos limites de detecção, unidades, condições específicas, métodos de análise e tempo máximo de espera.

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos, ânions e fósforo total analisados em água superficial.

Parâmetros	Limite de detecção (LD)	Unidade	Condições específicas	Método analítico	Tempo máximo de espera
¹ Oxigênio dissolvido	0,1	mg/L	<i>In situ</i>	Sonda multiparamétrica (hanna 98194)	-
² pH (25°C)	-	-			
³ Temperatura	-	°C			
⁴ Condutividade	1	µS/cm			
⁵ Potencial redox	-	mV			
⁶ Sólidos totais dissolvidos (STD)	5	mg/L	Refrigeração a 4°C	Gravimétrico	7 dias
⁷ Turbidez	0,1	NTU		Nefelométrico	-
⁸ Fósforo total (P _{total})	0,01	mg/L		Colorimétrico	28 dias
⁹ Nitrato (NO ₃ ⁻)	2,2			Cromatografia iônica	28 dias
⁹ Sulfato (SO ₄ ²⁻)	0,5				
⁹ Fluoreto (F ⁻)	0,05				
⁹ Cloreto (Cl ⁻)	0,5				

Fonte: Os procedimentos analíticos foram adotados de acordo com SMWW (APHA 2012): 4500O G¹; 4500H+ B²; 2550 B³; 2510 B⁴; 2580 B⁵; 2540 A, B, C, D, E⁶; 2130 B⁷; 4500 P-E⁸; e EPA 300.0: 1993, 300.1: 1999, POP PA 032 - Rev. 12⁹.

Figura 7 - Fluxograma do processo de coleta das amostras e análises para os parâmetros e elementos.



Os conteúdos de outros 35 elementos (metais totais; Tabela 5), também foram analisados em laboratórios certificados da empresa Bioagri Ambiental Ltda. As análises foram efetuadas por espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), seguindo os métodos descritos pela SMWW e as técnicas de preparação recomendadas pela EPA.

Tabela 5 – Metais analisados em amostras de água e seus respectivos limites de detecção.

¹ Metais totais	Limite de detecção (LD)	¹ Metais totais	Limite de detecção (LD)	Condições específicas	Método analítico	Tempo máximo de espera				
Ferro	0,02 mg/L	Berílio	0,001 mg/L	Digestão com ácido nítrico (HNO ₃)	ICP-MS	6 meses				
Alumínio	0,001 mg/L	Cálcio								
Bário		Magnésio								
Sódio		Potássio								
Antimônio		Háfnio	10 µg/L							
Arsênio		Estrôncio	1 µg/L							
Boro		Cério								
Cádmio		Césio								
Chumbo		Gálio								
Cobalto		Lantânio								
Cobre		Rubídio	1 µg/L							
Cromo		Tungstênio								
Manganês		Molibdênio								
Níquel		Estanho								
Prata		Titânio	0,0001 mg/L							
Selênio		Tálio								
Vanádio		Mercúrio								
Zinco										

Fonte: Determinação.: SMWW, 22ª Edição, 2012, Método 3125 B¹; Preparo.: EPA 3010¹ A: 1992 e EPA 3005¹: 1992.

5.3 INFORMATIZAÇÃO DOS DADOS EM SISTEMA GEORREFERENCIADO

A amostragem de campo e arquivamento de dados foram feitas segundo padrão definido no PBGqBHRI. As coordenadas geográficas dos pontos amostrados em campo e os dados de parâmetros físico-químicos foram armazenados em *iPads*. No final do dia, sincronizados e depositados em banco de dados no Instituto Tecnológico Vale. Para armazenar os dados coletados, estruturou-se um banco de dados geoquímico (BDGeoq), onde foram armazenados os dados coletados em campo e, gradualmente, os resultados de análises realizadas em laboratório. Foram aplicadas regras de programação para evitar a duplicação acidental de informações, tal como inserção de dois códigos de amostra com a mesma coordenada

geográfica. O BDGeoq e o SIGGeoq ficarão disponíveis “on-line” para consulta de usuários habilitados.

5.4 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DOS DADOS ANALÍTICOS

5.4.1 Verificação do percentual de amostras abaixo do limite de detecção

Foi verificado o limite de detecção (LD) para os elementos químicos analisados e calculado o percentual de amostras abaixo do LD. As etapas estatísticas foram conduzidas separadamente para os dois períodos estudados. Para o cálculo do percentual, foi utilizado o n° de amostras abaixo do limite de detecção, dividido pelo n° total de amostras (Eq. 1).

Eq.1:

$$\text{Percentual (\%)} = \frac{N^{\circ}_{am < LD}}{n^{\circ} \text{ total de amostras}}$$

Em seguida, foi construída uma tabela, em ordem crescente, com os parâmetros e suas respectivas porcentagens, que serviram para desenvolvimento das etapas estatísticas e estimava de *baseline* geoquímico. Para as amostras que ficaram abaixo do LD, optou-se por indicar valor correspondente a ½ do limite de detecção (CHEN et al., 2007; MULHOLLAND et al., 2010; RODRIGUES, 2012).

5.4.2 Precisão

As amostras em duplicata foram utilizadas para medir a precisão e qualidade dos dados analíticos obtidos. Foram coletadas 22 amostras, sendo 12 para o período chuvoso e 10 para o de estiagem, com uma proporção de aproximadamente uma duplicata para cada 15 amostras. A precisão foi calculada conforme a equação 2.

Eq.2:

$$\text{Precisão} = 100 \times (Am - Am_{DP}) / (Am + Am_{DP} / 2)$$

Onde:

Am: Amostra

Am_DP: Amostra em duplicata

5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

5.5.1 Estatística descritiva e multivariada

Para o desenvolvimento da estatística descritiva, utilizaram-se os seguintes programas: Excel (versão 2016), RStudio (versão 3.5.1) e Minitab (versão 18). Através desses *softwares*, foi calculado média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variância, quartil 1, quartil 3, valor máximo, valor mínimo e efetuados testes de normalidade (*Shapiro-Wilk*).

Ao verificar resultados anômalos, as estatísticas descritivas de cada parâmetro foram realizadas em dados não transformados e transformados em \log_{10} . *Boxplots*, gráficos q-q plot e histogramas dos parâmetros estão inseridos no apêndice A.

Para melhor compreender a correlação e influência dos elementos e parâmetros físico-químicos nas águas da bacia do rio Parauapebas, optou-se por aplicar estatística multivariada. Esta se desenvolveu em três etapas: correlação de *Spearman*, análise de agrupamento hierárquico (HCA) e análise de componentes principais (PCA).

Primeiramente, foram removidos elementos que apresentaram acima de 70% das amostras abaixo do limite de detecção em pelo menos um dos períodos (Tabela 7). Após o teste de normalidade (*Shapiro-Wilk*), verificou-se que, com exceção da temperatura e do pH, os dados comportaram-se como não normais, típicos de dados geoquímicos. Por isso, os dados foram transformados em \log_{10} para serem aplicados em três etapas subsequentes.

A primeira etapa, a correlação de *spearman*, foi utilizada para observar as intercorrelações entre as variáveis. Ela define um coeficiente de correlação que descreve a força e a direção da relação, podendo ser negativo ou positivo, variando de -1 a 1. Foi adotada a seguinte escala para avaliar a correlação entre as variáveis: $0,00 \leq r < 0,10$ (negligenciável), $0,10 \leq r \leq 0,39$ (fraca), $0,40 \leq r \leq 0,69$ (moderada), $0,70 \leq r \leq 0,89$ (forte) e $r \geq 0,90$ (muito forte) (SCHOBER; BOER; SCHWARTE, 2018). A segunda etapa foi voltada para a análise de agrupamento hierárquico (HCA), tendo sido utilizado o método de correlação de grupo, o qual buscou ilustrar através de um dendograma, as associações que podem ser formadas a partir das concentrações obtidas para cada elemento, agrupando-os por afinidade geoquímica.

Por fim, foi feita a análise de componentes principais (PCA), com o intuito de reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados antes do agrupamento. Nesta análise, as variáveis são utilizadas para produzir autovetores, os quais são, em seguida, representados em diagrama com setas e em diferentes *clusters*. O tamanho da seta indica o grau de influência do parâmetro ou elemento que ela representa sobre a matriz de dados. Nos eixos x e y (Figura 18), estão situadas, respectivamente, as duas componentes principais, PC1 e PC2, que explicam a variabilidade dos

dados. Também foram geradas duas tabelas, uma com as demais componentes principais, no caso PC3, PC4 e PC5 (Tabela 13), explicando a variabilidade exercida por cada componente e a outra com o peso exercido de cada variável dentre as cinco componentes principais adotadas (Tabela 12). Nesta tabela foi adaptado uma escala de peso conforme utilizado por Tanriverdi et al. (2010), sendo peso fraco ($\leq 0,4$); peso moderado ($>0,4$ a $\leq 0,7$) e peso forte ($> 0,7$).

5.6 ESTIMATIVA DE *BASELINE* GEOQUÍMICO

Em virtude das dificuldades para determinar o *background* geoquímico em águas, optou-se por definir valores de *baseline*, com base em seu limite superior. Para a determinação destes valores, foi feita uma abordagem baseada em percentis (75, 95 e 98) do conjunto de dados de cada elemento, transformados em \log_{10} (ANDER et al., 2013; REIMANN et al., 2018). Foram utilizadas cinco técnicas estatísticas, sendo elas: *turkey's inner fence* (TIF) a partir da representação por *boxplot* (TUKEY, 1977; REIMANN et al., 2018); curva de frequência acumulada (LEPELTIER, 1969; MATSCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000); M_{MAD} – mediana ± 2 desvio absoluto da mediana (REIMANN et al., 2018); técnica interativa 2σ e função de distribuição calculada (MATSCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000; URRESTI-ESTALA et al., 2013). Os *softwares* utilizados para o desenvolvimento dessas técnicas foram: Excel (versão 2016), RStudio (versão 3.5.1) e Minitab (versão 18).

5.6.1 Técnicas estatísticas aplicadas para o cálculo de *baseline*

➤ Turkey's inner fence (TIF) - representação por *boxplot*

As representações dos valores de *baseline* por *boxplot* deram-se a partir da metodologia de Tukey (1997), conforme discutida por Reimann, Filzmoser; Garrett (2005) e Reimann et al. (2018). O TIF é calculado a partir da seguinte equação:

Eq.3:

$$TIF = Q3 + 1,5 \times IQR$$

Onde:

Q3: representa o 3º quartil

IQR: é o intervalo interquartil ($Q3 - Q1$)

1,5: é o fator multiplicador, baseado na suposição de uma distribuição de dados simétrica.

Os valores de *baseline* são representados pelo resultado da equação e o TIF deve ser calculado em dados transformados em \log_{10} (REIMANN et al., 2018).

➤ **Curva de frequência acumulada**

Essa técnica se baseia no método estatístico de Lepeltier (1969) e envolve a definição de curva de frequência acumulada em escala linear (MATSCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000). De forma genérica, o conjunto de dados de cada elemento é plotado e a partir do gráfico gerado observa-se a distribuição dos dados e seus pontos de inflexões, onde cada ponto de inflexão representa uma população (MATSCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000). A determinação destes pontos é exclusivamente subjetiva e o valor de *baseline* se situa, aproximadamente, no primeiro ponto de inflexão.

➤ **M_{MAD} – Mediana ± 2 Desvio absoluto da mediana**

Essa técnica foi sugerida por Reimann et al. (2005) para verificar valores de *threshold*. Para aplicação desta técnica, os dados brutos necessitam ser logaritimizadas (REIMANN et al., 2018). Primeiramente, calcula-se a mediana para o conjunto amostral (Equação 4). Separadamente, calcula-se o desvio absoluto multiplicado por dois. Soma-se o valor de mediana com o MAD. Após isso tem-se o valor de *threshold* logaritimizado, o qual necessita de conversão para obtenção do valor real. Contudo, esta técnica possui restrições, pois não deve ser aplicada para elementos que apresentem mais de 50% das amostras abaixo do LD.

Eq. 4:

$$\text{Valor de } Threshold = 10^{\text{tlog}}$$

$$\text{tlog} = (\text{mediana}_i (\log_{10} (x_i)) + 2 \times \text{MAD}_j (\log_{10} (x_j)))$$

Onde:

tlog: *threshold* logaritimizado

MAD: desvio absoluto da mediana

➤ **Técnica interativa 2σ**

Essa técnica consiste em calcular a média e o desvio padrão para um conjunto de dados. Os valores que estiverem fora do intervalo estipulado pela [média ± 2σ] são excluídos (MATSCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000; URRESTI-ESTALA et al., 2013) e este procedimento é repetido diversas vezes, até que todos os valores remanescentes do conjunto de dados estejam inseridos na faixa [média ± 2σ]. Esta faixa apresenta um limite inferior e um superior, sendo o valor de *baseline* para o elemento representado pelo superior.

Esta técnica foi aplicada a partir do *Visual Basic* (VB) intitulada *VB Background*® (MS Excel), desenvolvida por Nakić; Posavec; Bacĳani (2007) e possui acesso livre. Para aplicação desta técnica e a função de distribuição calculada, devem ser usadas as concentrações

reais do elemento e, sobretudo, para grandes conjuntos de dados, como no caso da presente dissertação. Recomenda-se não efetuar o cálculo para elementos com mais de 40% das amostras apresentando resultados abaixo do limite de detecção.

➤ **Função de distribuição calculada**

Para esta técnica, também foi utilizado o VB *Background*®. Porém, para o desenvolvimento do cálculo, usa-se a mediana do conjunto de dados originais, sendo os valores superiores a ela removidos. A seguir, espelham-se os valores restantes contra o valor de mediana calculado inicialmente. Então, calcula-se a média e o desvio para os valores restantes e o intervalo [média ± 2σ]. Os valores que estiverem fora do intervalo calculado, serão excluídos. Após isso, calcula-se a distribuição normal a partir da nova média e desvio padrão (NAKIĆ; POSAVEC; BACĀANI, 2007). Por fim, gera-se uma faixa de *background*, sendo adotado o seu limite superior como valor de *baseline*.

Deve-se destacar que para ambas as técnicas, não há necessidade de logaritimizar os dados reais e todas as etapas descritas são realizadas a partir de algoritmos pelo VB *Background*®. No final, como produto, obtém-se a faixa de *background* e é gerado um gráfico ilustrando um histograma para os dados originais e para a faixa de *background*. Vale a pena ressaltar que nas etapas finais do algoritmo são realizados testes de hipóteses para garantir a normalidade dos dados, apresentando T e T crítico (T_{crit}), sendo que as técnicas só serão válidas se T for inferior a T_{crit}.

5.7 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA - IQQA

O índice de qualidade química da água - IQQA é calculado seguindo metodologias desenvolvidas e aprimoradas por diversos pesquisadores (BROWN et al., 1973; CHATTERJEE; RAZIUDDIN, 2007; YOGENDRA; PUTTAIAH, 2008). Os procedimentos para cálculo do IQQA adotados no presente trabalho seguem em linha gerais a metodologia aplicada na BHRI por Sahoo et al. (submetido) e envolveram as seguintes etapas: seleção dos parâmetros a serem considerados, atribuição de peso a cada parâmetro de acordo com seu nível de importância para a qualidade da água e o cálculo do IQQA.

Não foi possível utilizar parâmetros biológicos para definir o IQQA porque os mesmos não foram determinados. Em razão disso, foram selecionados 15 parâmetros para o cálculo de IQQA, sendo eles: (Tabela 6). A escolha foi feita com base na disponibilidade dos dados e com intuito de melhor retratar a qualidade das águas superficiais da bacia do rio Parauapebas (cf. SAHOO et al., submetido). O cálculo foi realizado a partir da seguinte equação:

Eq. 5:

$$IQQA = \sum SI$$

Onde:

IQQA = Índice de Qualidade Química da Água;

SI = Sub-índice de cada parâmetro;

Para o cálculo do SI, temos as seguintes variáveis e demais equações:

Eq. 6:

$$SI = Wi \times Qi$$

Eq 7:

$$Qi = (Ci/Si) \times 100$$

Eq. 8:

$$Wi = wi / \sum wi$$

Onde:

Wi = peso relativo; e **wi** = unidade de peso atribuído a cada parâmetro (Tabela 4);

Qi = Qualidade do i-ésimo parâmetro;

Ci = Concentração medida;

Si = Valor de referência, com base no CONAMA 357/05 – classe 2 e WHO/1993 (Tabela 6);

Deve-se ressaltar que para o cálculo de pH e OD, cujos valores determinados pela legislação correspondem a um intervalo, usou-se a seguinte equação:

$$Qi = (Ci - Vi) / (Si - Vi) \times 100$$

Onde:

Vi = valor ideal, correspondente a **7** para o pH e **14,6** para OD.

Tabela 6 - Valores de referência do CONAMA 357/05 e WHO/1993, peso relativo e unidades de peso para cada parâmetro.

Parâmetros	Valor de referência	Legislação utilizada	wi	Wi
pH	6 a 9	CONAMA	5	0,092593
OD	5	CONAMA	7	0,129630
Temperatura	25	-	3	0,055556
Turbidez	100	CONAMA	3	0,055556
P _{total}	0,1	CONAMA	4	0,074074
STD	500	CONAMA	4	0,074074
SO ₄ ²⁻	250	CONAMA	3	0,055556
NO ₃ ⁻	10	CONAMA	6	0,111111
Cl ⁻	250	CONAMA	4	0,074074
F ⁻	1,4	CONAMA	4	0,074074
Condutividade	500	WHO	5	0,092593
Ca	75	WHO	2	0,037037
Mg	50	WHO	2	0,037037
K	12	WHO	1	0,018519
Na	200	WHO	1	0,018519

Nota: Somatória de wi = 54 onde wi é o peso atribuído a cada parâmetro.

Após o cálculo do IQQA, elaborou-se um mapa, para os dois períodos em estudo e cada microbacia amostrada foi representada com um nível de qualidade, dependendo da categoria em que se enquadrou seu valor de IQQA, conforme representado na Tabela 7. No apêndice B, estão inseridas tabelas com os resultados obtidos para cada microbacia amostrada em ambos os períodos.

Tabela 7 - Faixa de classificação do Índice de Qualidade da Água para águas superficiais da bacia do rio Parauapebas.

Ponderação	IQQA	Cor
0 a ≤ 25	Ótimo	
> 25 a ≤ 50	Bom	
> 50 a ≤ 75	Ruim	
> 75 a ≤ 100	Muito ruim	
>100	Péssimo	

Fonte: Adaptado de Chatterjee; Raziuddin (2007).

5.8 ELABORAÇÃO DE MAPAS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PARÂMETROS, ÂNIONS E ELEMENTOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS

Os *shapesfiles* utilizados para construção dos mapas de uso e cobertura do solo da área de estudo foram gerados por Souza-Filho et al. (2016) e os de geologia por Vasquez et al. (2008) ou obtidos no banco de dados da CPRM. Alguns mapas adicionais, incluindo os mapas de distribuição geoquímica dos principais elementos nas águas superficiais da bacia do rio Parauapebas, foram elaborados pelo próprio autor. Para a elaboração destes mapas, os dados foram devidamente georreferenciados para o datum e elipsoide WGS84 e sistema de coordenada UTM, através do software *Quantum GIS* (versão 2.18.21). A delimitação das áreas de captação foi realizada por meio de análise baseada em algoritmos via *software* QGIS (*Quantum GIS Development Team* 2009), baseada em um modelo de elevação digital (DEM) da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) conduzida pelo *United States Geological Survey* (USGS). (disponível gratuitamente online em <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

A espacialização dos elementos foi feita apenas para aqueles que tiveram pelo menos 30% das amostras em pelo menos um dos períodos acima do LD, com exceção do NO_3^- , pois seu resultado apresentou interesse. A representação foi feita a partir das microbacias, utilizando a técnica união de camadas do QGIS, cabendo lembrar que, conforme detalhado no item 5.1, foi coletada somente uma amostra por microbacia, nos dois períodos. Foram definidos cinco a seis intervalos de classe, dependendo dos resultados individuais de cada parâmetro, ânion e elemento analisado. Os intervalos foram estabelecidos observando valor mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e valor máximo, e, sobretudo, em qual quartil houve maior concentração dos dados. Como os dados geoquímicos não possuem normalidades, quando se aplicou alguma técnica de intervalo de classe, tais como intervalo igual, desvio padrão, quebras naturais ou quebras claras, alguns dados ficaram mascarados a ponto de não se observar variações de uma microbacia a outra, havendo situações em que um número significativo de microbacias foi representado por uma mesma cor. O contorno e coloração nos mapas mostrando a distribuição foram definidos levando em conta os resultados analíticos acima do limite de detecção.

6 RESULTADOS

Dentre os 47 parâmetros físico-químicos, ânions e elementos analisados (Tabelas 4 e 5), 31 apresentaram relevância estatística e se prestaram para abordagens e discussões mais aprofundadas (Tabela 9). Os demais elementos, dentre eles, alguns considerados potencialmente tóxicos como arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio, apresentaram em mais de 88% das amostras valores inferiores ao limite de detecção – LD (Tabela 8). Estes elementos não foram submetidos a cálculos estatísticos.

Na BRP, verificou-se concentrações elevadas de ferro, acima de 1 mg/L em mais de 90% das amostras no período chuvoso e em 52% no de estiagem. Deste modo, fica evidente que se trata de elemento com concentrações elevadas em águas superficiais, fato comumente observado na região de Carajás, onde se insere a BHRI, conforme já registrado em outros estudos efetuados (TEIXEIRA, 2016; SALOMÃO et al., 2018).

Tabela 8 – Elementos-traço com mais de 88% de amostras com valores abaixo do LD.

ELEMENTOS	LD	N° Am<LD		%<LD	
		PC	PE	PC	PE
Ag		175	152	100	100
As		174	150	99,4	98,7
Be		173	148	98,9	97,4
Cd	0,001 mg/L	172	152	98,3	100
Pb		158	147	90,3	96,7
Sb		172	152	98,3	100
Se		174	143	99,4	94,1
Ce		154	147	88	96,7
Cs		174	151	99,4	99,3
Ga	5 µg/L	168	147	96	96,7
La		174	150	99,4	98,7
W		174	151	99,4	99,3
Hf	10 µg/L	174	152	99,4	100
Mo	1 µg/L	161	140	92	92,1
Tl		174	150	99,4	98,7
Hg	0,0001 mg/L	174	152	99,4	100

Nota: LD – Limite de detecção; N° Am – número de amostras; PC – Período chuvoso; PE – Período de estiagem.

Os parâmetros físico-químicos, ânions e elementos que apresentaram relevância estatística são apresentados na Tabela 9 juntamente com a porcentagem de amostras que apresentaram resultados abaixo do LD. Seus resultados analíticos de cada microbacia amostrada foram inseridos no apêndice C. Nitrato, sulfato, fluoreto, boro, cobalto, cromo, níquel e vanádio foram destacados, porque revelaram significativa porcentagem de amostras

com valores abaixo do LD. Entretanto, os resultados disponíveis com valores acima do LD apresentam interesse e foram considerados.

Tabela 9 – Parâmetros físico-químicos, ânions e elementos com representatividade estatística.

	CONSTITUENTES DA ÁGUA	%<LD		Am<LD	
		PC	PE	PC	PE
Parâmetros físico-químicos	Condutividade elétrica – CE*	0	0	0	0
	Oxigênio dissolvido - OD	0	0	0	0
	pH*	-	-	-	-
	Sólidos dissolvidos totais - STD	0	0	0	0
	Turbidez	0	0	0	0
	Temperatura*	-	-	-	-
	Potencial redox - Eh*	-	-	-	-
Ânions e P _{total}	NO ₃ ⁻	77,3	85,0	136	130
	SO ₄ ²⁻	51,1	56,9	90	87
	Cl ⁻	1,7	0,7	3	1
	P _{total}	2,8	17,0	5	26
	F ⁻	69,3	46,4	122	71
Elementos-traço mais abundantes (mg/l)	Ca	0	0	0	0
	Fe	0	0	0	0
	Mg	0	0	0	0
	K	0	0	0	0
	Na	0	0	0	0
	Mn	0	0	0	0
	Al	0	0	0	0
Elementos-traço Com menores teores (µg/l)	Ba	0,0	0,0	0	0
	B	48,3	52,3	85	80
	Co	56,8	68,0	100	104
	Cu	32,4	24,8	57	38
	Cr	64,2	78,4	113	120
	Sn	48,9	24,2	86	37
	Sr	0,0	0,7	0	1
	Ni	64,2	73,2	113	112
	Rb	23,3	47,7	41	73
	Ti	5,1	6,5	9	10
	V	47,2	58,2	83	89
Zn	21,0	2,0	37	3	

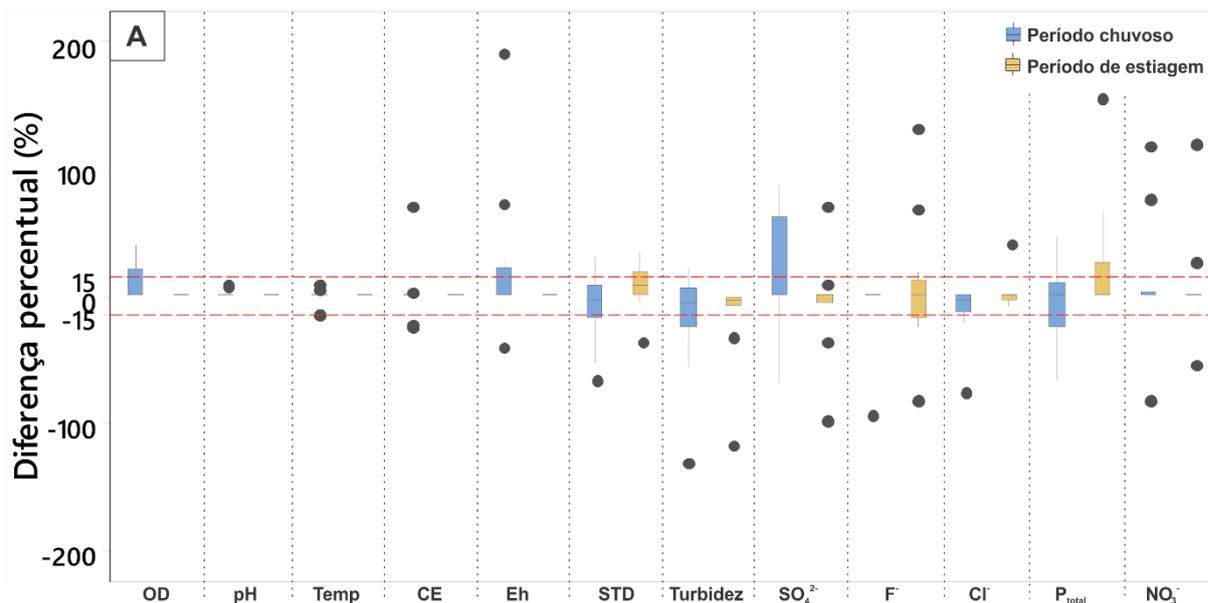
* Dispõe de resultados para todas as amostras analisadas.

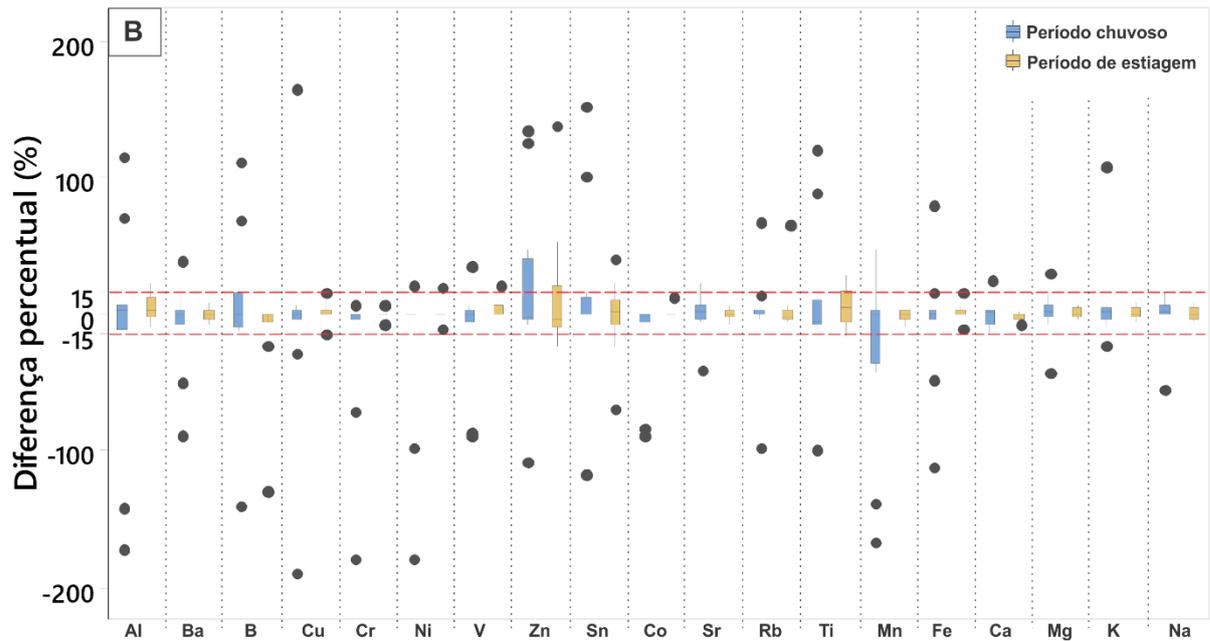
6.1 CONTROLE DE QUALIDADE

6.1.1 Precisão

A partir dos resultados das amostras em duplicata coletadas em campo, calculou-se a precisão das análises, conforme equação 2 (Item 5.4.2). Adotou-se uma diferença percentual de $\pm 15\%$, como representativa de um bom nível de precisão. A Figura 8 representa em *boxplot* o nível de precisão para os principais parâmetros e constituintes na água. Constata-se que, de modo geral, a precisão das análises foi satisfatória se enquadrando dentro dos limites de variação considerados aceitáveis. Porém, as composições de algumas duplicatas mostraram diferença composicional superior a 15% para mais ou para menos em relação à amostra de referência e ficaram acima do intervalo percentual admitido como aceitável. Isto foi observado principalmente para os elementos-traço (Figura 8b), pois os valores muito baixos das concentrações tenderam a acentuar os desvios analíticos, levando assim à ligeira queda na precisão das análises.

Figura 8 – (a) Gráfico *boxplot* para os parâmetros físico-químico, ânions e P_{total} ; e (b) para os metais totais mostrando as diferenças composicionais relativas em percentagem das amostras duplicatas em relação às amostras de referência.



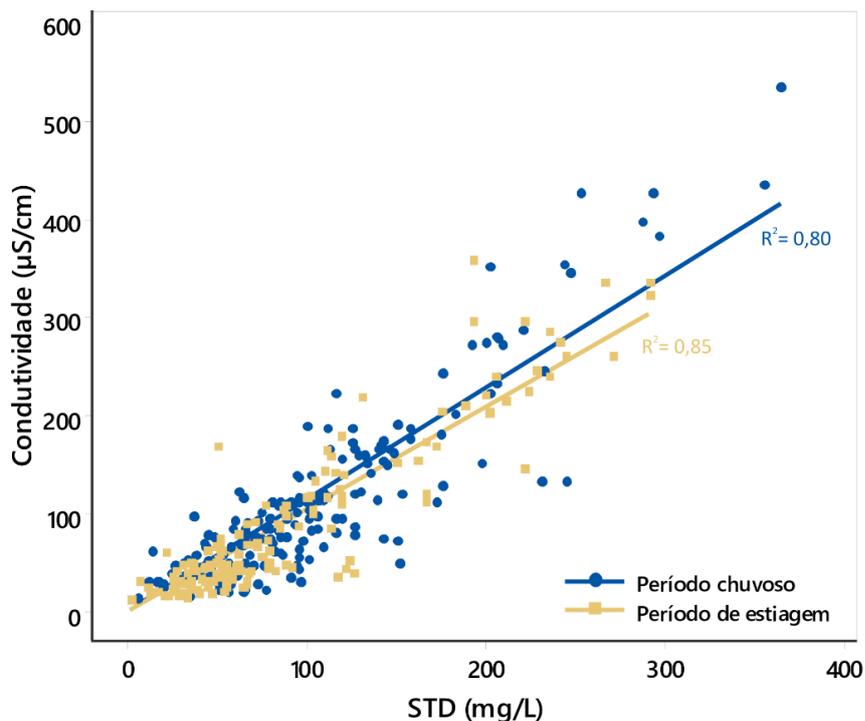


Nota: OD – Oxigênio dissolvido; pH – Potencial hidrogeniônico; Temp - Temperatura; EC – Condutividade elétrica, Eh – Potencial redox; STD – Sólidos totais dissolvidos; SO_4^{2-} - Sulfato; F – Fluoreto; Cl – Cloreto; P_{total} – Fósforo total; NO_3^- - Nitrato; Al – Alumínio; Ba – Bário; Cu – Cobre; Cr – Cromo; Ni – Níquel; V – Vanádio; Zn – Zinco; Sn – Estanho; Co – Cobalto; Sr – Estrôncio; Rb – Rubídio; Ti – Titânio; Mn – Manganês; Fe – Ferro; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; K – Potássio; Na – Sódio.

6.1.2 Correlação de parâmetros

Uma excelente ferramenta para verificação de erros é a correlação entre dois parâmetros físico-químicos de forte dependência. O Figura 9 apresenta a correlação entre dois parâmetros, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos – STD, que costumam mostrar forte correlação positiva em águas fluviais. Verificam-se boas correlações tanto no período chuvoso (0,80), quanto no de estiagem (0,85). Isso indica boa qualidade dos resultados analíticos.

Figura 9 – Correlação entre condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.



6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

6.2.1 Estatística descritiva

O *software* RStudio foi utilizado para o cálculo do conjunto de dados, tendo sido determinados: média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e máximo, primeiro quartil e terceiro quartil, estes quartis foram calculados baseados em dados transformados em \log_{10} . A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos por meio de aplicação de estatística básica para o período chuvoso e de estiagem, divididos em quatro categorias: (1) parâmetros físico-químicos; (2) ânions e P_{total} ; (3) componentes maiores (cátions) e (4) elementos-traço para a bacia do rio Parauapebas. Em geral, esta tabela resume as estatísticas dos resultados analíticos dos parâmetros físico-químicos e principais constituintes químicos na água superficial da bacia. No apêndice A, inserem-se histogramas e gráficos *qq-plot* com valores reais e em escala logarítmica dos dados em ambos os períodos.

De modo geral, os dados dos parâmetros de qualidade da água comportam-se como não normais, pois seus coeficientes de variação foram altos, com exceção de pH e temperatura (Tabela 10). Isto indica que diferentes fatores controlam os processos atuantes nas águas superficiais estudadas.

Tabela 10 – Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total}, componentes maiores (cátions) e elementos-traço de águas superficiais da bacia do rio Parauapebas.

	Parâmetro	Unidade	P	LD	Mín	Máx	Média	Med	DP	CVar	Q1	Q3
Parâmetros físico-químicos	OD	mg/L	PC	0,1	0,4	8,8	5,3	5,4	1,5	28,5	4,6	6,4
			PE		2	10,1	6,3	6,3	1,3	20,9	5,4	7,2
	pH	-	PC	-	4,4	9,4	7,1	7,2	0,7	10	6,7	7,6
			PE		5,2	8,3	7,2	7,2	0,6	7,8	6,9	7,6
	Temperatura	°C	PC	-	21,6	31,4	26,1	26,1	1,8	7	24,9	27,1
			PE		20,1	32,5	25,3	25,1	2,3	9,2	24	27,1
	Condutividade	µS/cm	PC	1	14	534	116,6	94	91,8	78,8	53	149
			PE		13	357	89,1	50	80,7	90,7	32	117,8
	Eh	mV	PC	-	79,9	596,3	349,8	343,2	101,7	29,1	285,6	402,8
			PE		208,6	605,8	354,3	368,5	81,2	22,9	295,5	405
	STD	mg/L	PC	5	6	364	106,1	94	65,5	61,8	62	133
			PE		7	291	88,8	67	66,2	74,6	44	115,5
Turbidez	UNT	PC	0,1	2,4	363	29,1	20,1	39,5	135,6	12,3	31,5	
		PE		0,4	361	19,3	11,6	35,3	183,1	5,9	19,9	
Ânions e P _{total}	SO ₄ ²⁻	mg/L	PC	0,5	<0,5	32,9	1,4	<0,5	3,7	268,3	<0,5	1,3
			PE		<0,5	37,3	1,2	<0,5	3,4	290	<0,5	1
	F ⁻	µg/L	PC	50	<50	540	50,3	<50	58,6	116,5	<50	60
			PE		<50	430	75,2	<50	71,3	94,9	<50	100
	Cl ⁻	mg/L	PC	0,5	<0,5	58,9	6,1	4,2	7,7	125,6	2,3	6,4
			PE		<0,5	60,8	7,4	4,6	10	135,3	2,4	7,7
	P _{total}	µg/L	PC	10	<10	270	71,7	60	58,1	80,9	30	100
			PE		<10	1410	55,2	20	136,9	248,1	<10	50
	NO ₃ ⁻	mg/L	PC	2,2	<2,2	12,6	1,7	<2,2	1,4	82,2	<2,2	<2,2
			PE		<2,2	12	1,6	<2,2	1,5	93	<2,2	<2,2
Componentes maiores (cátions)	Fe	mg/L	PC	0,02	0,06	22,4	3,6	2,5	3,2	91,2	1,74	4,3
			PE		0,04	32,3	2,1	1,0	3,7	174,5	0,5	2,0
	Mn	mg/L	PC	0,001	0,006	18	0,51	0,14	1,6	318,9	0,08	0,3
			PE		0,0019	7,2	0,5	0,08	1,0	217,6	0,05	0,3
	Al	mg/L	PC	0,001	0,0194	2,5	0,3	0,2	0,3	119,9	0,09	0,32
			PE		0,0049	2,3	0,14	0,07	0,26	183,6	0,04	0,13
	Ca	mg/L	PC	0,001	0,9	36,2	8,0	6,7	6,2	76,9	4,1	9,7
			PE		0,2	28,2	6,2	4,0	5,8	93,4	2,3	8,2
	Mg	mg/L	PC	0,001	0,4	34,5	4,6	3,0	4,7	103,6	2,1	5,4
			PE		0,2	36,6	4,9	3,1	5,4	109,3	1,8	5,5
	K	mg/L	PC	0,001	0,3	11	3,1	2,8	1,8	59,3	1,8	4,1
			PE		0,03	12,9	2,7	2,0	2,3	84,1	1,0	3,7
	Na	mg/L	PC	0,001	1,1	61,9	9,4	7,2	8,8	93,5	4	11,1
			PE		0,4	47,5	9,2	5,5	9,0	97,9	2,9	12,5

Elementos-traço	Ba	µg/L	PC	1	13,3	412	91,3	71,5	67,2	73,6	50,4	106
			PE		2,2	967	88,7	49,85	110,6	124,6	30,8	103,3
	B	µg/L	PC	1	<1	34,8	3,5	1,14	5,1	145,5	<1	4,8
			PE		<1	15,4	2,5	<1	3,0	122,2	<1	3,6
	Cu	µg/L	PC	1	<1	133	3,9	1,73	11,1	282,3	<1	3,7
			PE		<1	14,6	2,1	1,55	2,1	100,3	<1	2,7
	Cr	µg/L	PC	1	<1	15,3	1,3	<1	1,9	150,3	<1	1,4
			PE		<1	7,01	0,9	<1	1,0	110,8	<1	<1
	Ni	µg/L	PC	1	<1	21	1,4	<1	2,2	157,9	<1	1,7
			PE		<1	12,5	1,3	<1	1,9	154,2	<1	1,1
	V	µg/L	PC	1	<1	14,3	1,5	1,05	1,9	123,3	<1	1,8
			PE		<1	15	1,3	<1	1,8	139,4	<1	1,4
	Zn	µg/L	PC	1	<1	445	20,3	8,4	48,0	236,8	2,0	23,2
			PE		<1	154	22,4	11,85	29,4	131,3	5,7	29,0
	Sn	µg/L	PC	1	<1	15,2	2,1	1,05	2,6	122,5	<1	2,9
			PE		<1	17,5	2,4	1,7	2,7	114,3	1,04	2,5
	Co	µg/L	PC	1	<1	33,8	1,8	<1	3,4	187,4	<1	1,8
			PE		<1	29,9	1,5	<1	3,1	205,6	<1	1,2
	Sr	µg/L	PC	1	5,6	507	89,8	57,5	96,2	107,2	20,2	126
			PE		<1	381	62,9	27,7	82,9	131,8	13,5	71,3
Rb	µg/L	PC	1	<1	39,4	9,6	7,7	8,0	83,2	5,1	13,6	
		PE		<1	21,3	5,0	5,2	5,1	101,4	<1	8,2	
Ti	µg/L	PC	1	<1	62,8	8,9	5,6	9,1	102,0	3,2	12	
		PE		<1	28,1	4,6	3,35	4,1	90,4	2,1	5,4	

Notas: P – Período; LD – Limite de detecção; Mín – Mínimo; Máx – Máximo; Med – Mediana; DP – Desvio padrão; CVar – Coeficiente de variação; Q1 – primeiro quartil; Q3 – terceiro quartil.

Para a avaliação empírica dos dados, adotou-se a representação por *boxplot*, conforme ilustrados nas Figuras 12, 13, 14 e 15. Nelas, são apresentados em linha tracejada vermelha, os limites máximos para os diferentes parâmetros estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para águas superficiais consideradas classe 2 da região de estudo. Para os elementos que não possuem enquadramento na resolução, adotou-se, para referência e padrão de comparação, os valores estabelecidos pela *World Health Organization* (WHO, 1993; linha tracejada em azul nas Figuras 14 e 15), que são os mesmos estipulados pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, com exceção do elemento cálcio.

Na Tabela 11, são fornecidos os valores máximos e suas unidades de concentração para os parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total} , componentes maiores (cátions) e elementos-traço, conforme estabelecido nas legislações vigentes (CONAMA e WHO).

Tabela 11 - Valores máximos estipulados para parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total}, componentes maiores (cátions) e elementos-traço pela Resolução CONAMA 357 – classes II, e por WHO/1993.

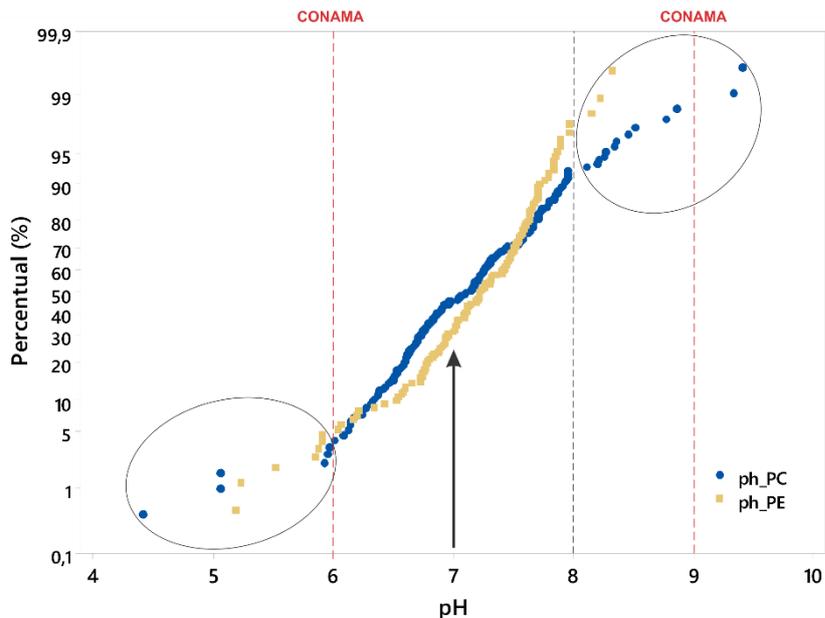
Elementos-traço								Componentes maiores (cátions)					Ânions e P _{total}				
Cu	B	Co	Ba	Cr	Ni	V	Zn	Mn	Al	Ca	Fe	Na	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	P _{total}
μg/L								mg/L					mg/L				
2000	500	50	700	50	25	100	180	0,1	0,2	200	0,3	200	250	250	10	1400	100
WHO		CONAMA						WHO					CONAMA				
Parâmetros físico-químicos																	
OD				STD				pH					Turbidez				
mg/L								-					UNT				
5				500				6 a 9					100				
CONAMA																	

Nota: Para os elementos-traço, Fósforo total e Fluoreto, as concentrações foram convertidas em μg/L.

Os parâmetros físico-químicos, para os quais existem limites na resolução do CONAMA 357/05, apresentaram resultados em algumas amostras superiores ao valor máximo permitido (VMP). Para o pH, um dos principais parâmetros responsáveis por controlar a mobilidade dos elementos, verificou-se a ocorrência de cinco amostras no PC e sete no PE com resultados inferiores ao valor mínimo e somente no PC, outras duas amostras com resultados superiores ao VMP.

Na Figura 10, podem-se observar as curvas de frequência acumulada do pH, o qual apresenta distribuição semelhante nos dois períodos, predominando valores de pH entre 6 e 8 (PC- 89,7% e PE- 93,4%), sendo as medianas coincidentes e a média ligeiramente superior em PE (Tabela 10). Há um número limitado de pontos que fogem da distribuição dominante e mostram pH menor que 6 ou maior que 8. Entretanto, no PC, quase 50% dos dados são inferiores ao pH 7, enquanto que no de estiagem, aproximadamente 35%. Por outro lado, os valores mais elevados de pH foram registrados no PC. Isto pode ser devido possivelmente à maior abundância de matéria orgânica e material carregado para os rios durante a estação chuvosa, uma vez que grande parte da região de estudo é desprovida de cobertura vegetal, o que faz com que as chuvas transportem mais facilmente estes materiais, alterando a química da água.

Figura 10 – Curvas de frequência acumulada do pH nas águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.



O oxigênio dissolvido, conforme *boxplot* (Figura 12) e Tabela 10, apresentou maiores concentrações no PE. Isto está, possivelmente, relacionado a maior quantidade de matéria orgânica no PC, que gera maior consumo de oxigênio neste período, resultando em valores inferiores de OD comparativamente ao PE.

Para os sólidos totais dissolvidos - STD, todas as amostras exibiram nos dois períodos valores abaixo do valor máximo estipulado pela resolução CONAMA 357 (Figura 12).

Em geral, a temperatura das drenagens ficou entre 25 a 26 °C em ambos os períodos, sendo os menores valores de média e mediana registrados no PE (Tabela 10 e Figura 12). Por outro lado, foi observado no PC menor valor máximo de temperatura e menor intervalo de variação (21,6 a 31,4 °C) quando comparado com o PE (20,1 a 32,5 °C).

A turbidez foi superior ao VMP em sete microbacias distintas em ambos os períodos, sendo duas no PC (variando de 198 a 361 UNT) e cinco no PE (variando de 106 a 360 UNT). Em geral, a turbidez foi maior no PC, relacionada principalmente ao maior volume de escoamento superficial para os rios.

De modo geral, o ambiente da área de estudo mostrou-se como oxidante, apresentando potencial redox acima de 300 mV em mais de 70% do conjunto amostral para os dois períodos (Figura 11).

Figura 11 – Curvas de frequência acumulada para o potencial redox (Eh) nas águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.

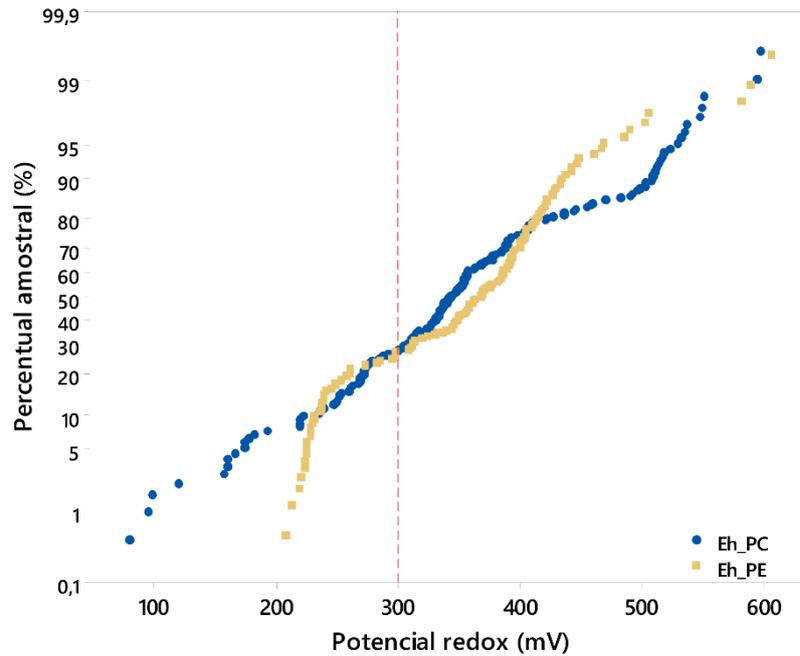
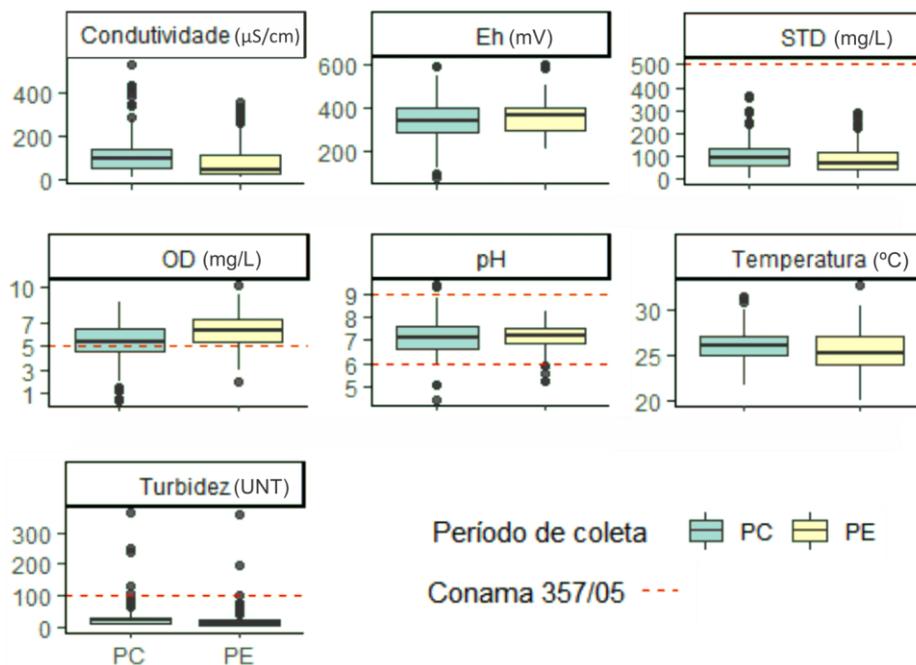


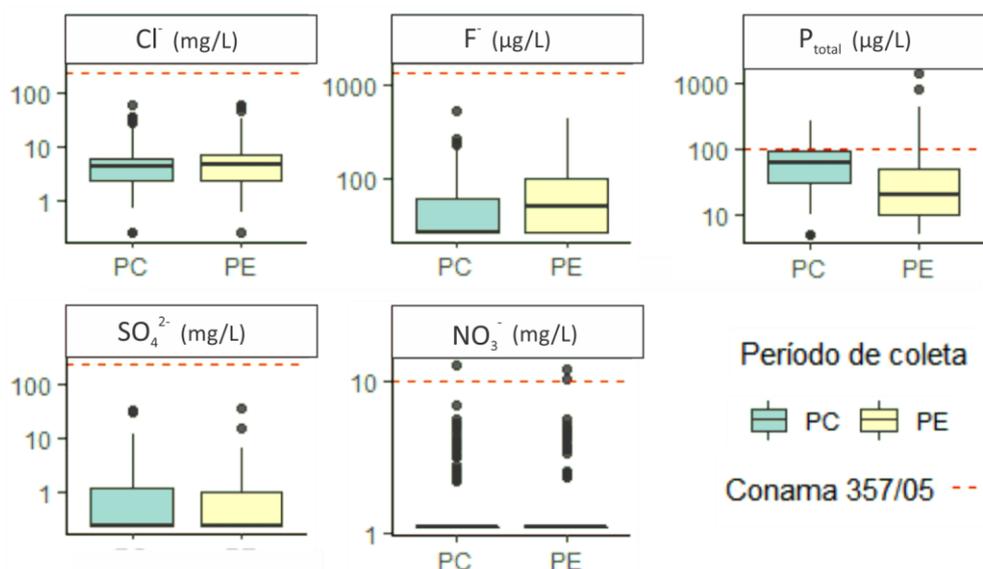
Figura 12 – Representação *boxplot* dos parâmetros físico-químicos das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.



Nota: O *boxplot* indica aproximadamente os percentis de 25°, 50° (mediana = linha preta) e 75°; *outliers* (marcados com pontos) são definidos de acordo com: (*upper whisker*, *lower whisker*) = (articulação superior, articulação inferior) $\pm 1.5 * \text{largura da articulação}$.

Para os ânions Cl^- e F^- , mas principalmente para F^- , as médias e medianas foram superiores no período de estiagem (Tabela 10), porém todos os resultados obtidos se situam abaixo do valor limite estabelecido por CONAMA 357 (Figura 13). SO_4^{2-} não apresentou amostras acima do VMP. Já o NO_3^- e P_{total} , tiveram algumas amostras, em ambos os períodos, acima do limite estipulado (Figura 13). O P_{total} mostra valores mais elevados para mediana, Q1 e Q3 no período chuvoso comparado com o de estiagem (Tabela 10 e Figura 13).

Figura 13 - Representação *boxplot* dos ânions e P_{total} das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.

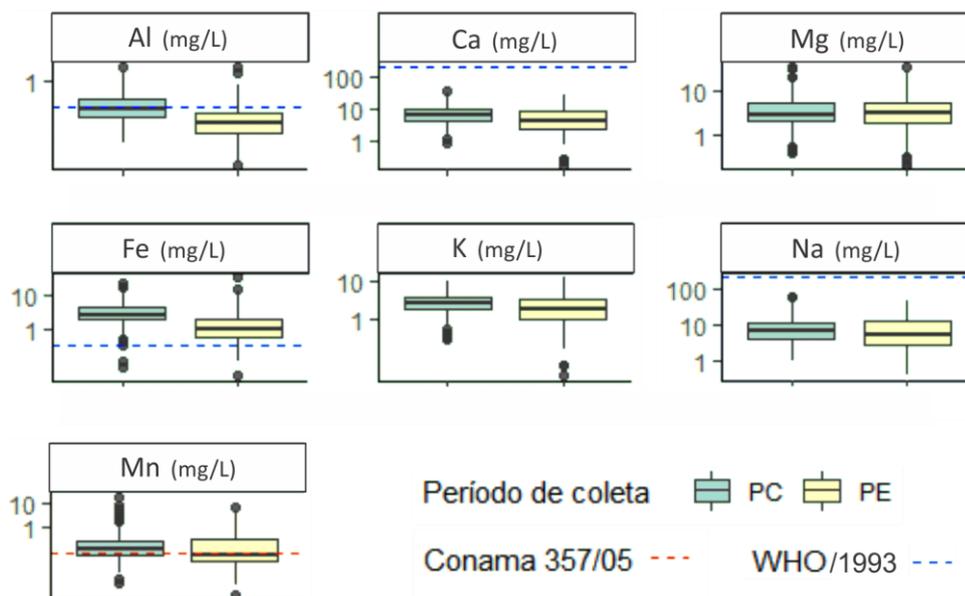


Nota: Os dados para todos os ânions e P_{total} estão na escala logarítmica; o *boxplot* indica aproximadamente os percentis de 25°, 50° (mediana = linha preta) e 75°; *outliers* (marcados com pontos) são definidos de acordo com: (*upper whisker*, *lower whisker*) = (articulação superior, articulação inferior) $\pm 1.5 \cdot$ largura da articulação.

A representação *boxplot* dos componentes maiores (cátions) nas águas superficiais da BRP (Figura 14), revela grande similaridade em termos das variações entre os dois períodos, com as concentrações dos elementos considerados sendo claramente superiores no PC (Tabela 10), com exceção do Mn que mostra semelhança em termos do *boxplot* entre as estações chuvosa e de estiagem (Figura 14 e Tabela 10). Nos casos de sódio e cálcio, todas as concentrações foram inferiores aos valores máximos recomendados por WHO/1993. Já o ferro mostra comportamento inteiramente distinto com 98,3% das amostras analisadas no PC e 89,5% no PE revelando conteúdos acima do limite máximo de 0,3 mg/L recomendado por WHO (Figura 14). Para o manganês, grande parte dos dados, nos dois períodos, se situaram acima do estipulado pela resolução do CONAMA e os valores de média e mediana (Figura 14 e Tabela 10) foram próximos nos dois períodos (PC e PE), embora sejam superiores na estação

chuvosa. Por outro lado, em amostras de algumas microbacias constatou-se concentrações maiores no PE. O comportamento do alumínio diverge daquele do manganês, sendo menor, porém ainda bastante significativo, o número de amostras, principalmente no PC (Tabela 10 e Figura 14), cujos resultados superam o limite estipulado pela WHO.

Figura 14 - Representação *boxplot* dos componentes maiores (cátions) das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.

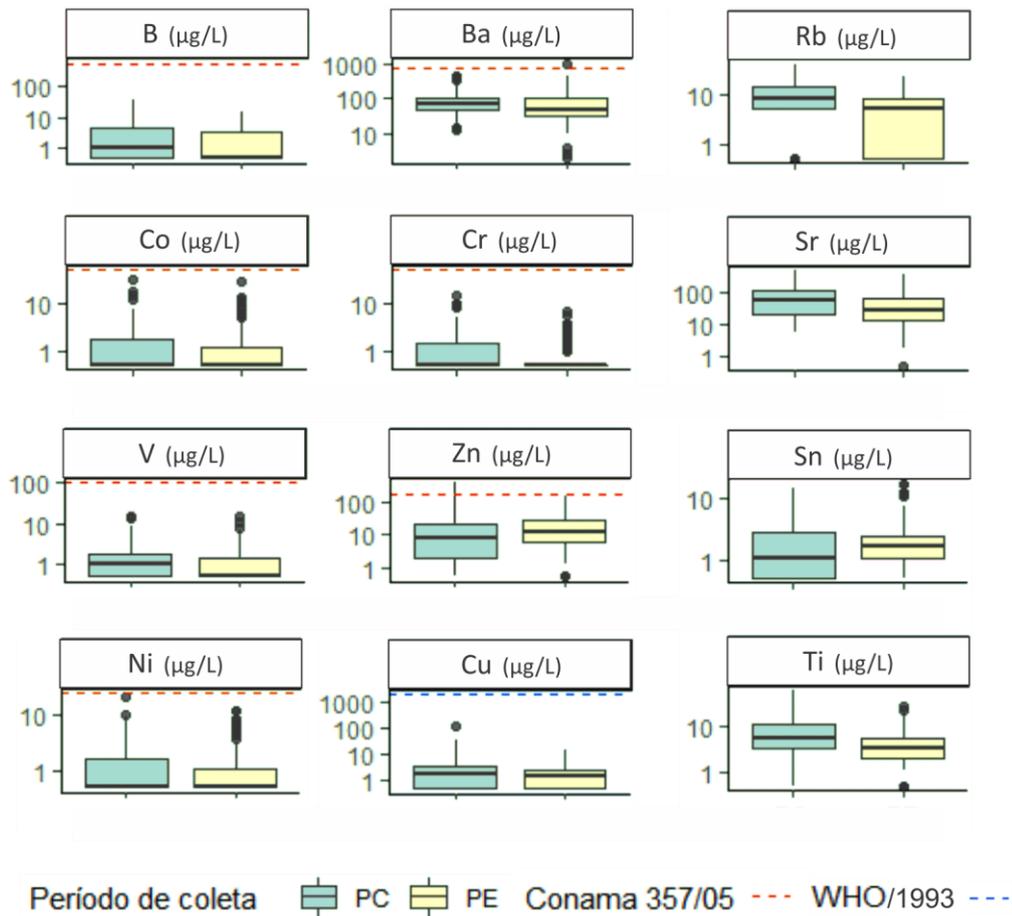


Nota: Os dados para todos os componentes maiores estão em escala logarítmica; o *boxplot* indica aproximadamente os percentis de 25°, 50° (mediana = linha preta) e 75°; *outliers* (marcados com pontos) são definidos de acordo com: (*upper whisker*, *lower whisker*) = (articulação superior, articulação inferior) \pm 1.5 * largura da articulação.

Dentre os elementos-traço analisados e tratados estatisticamente, cinco apresentaram em ambos os períodos resultados sempre inferiores aos limites máximos estipulados, sendo eles Cr, Co, V e B (abaixo do VMP da resolução CONAMA 357) e cobre (em relação à WHO) (Figura 15). Por sua vez, o bário apresentou apenas uma amostra no período estiagem e o Zn duas amostras no chuvoso com conteúdos superiores aos estabelecidos por CONAMA 357 (Figura 15). Para os elementos Sn, Sr, Ti e Rb, não há valores de referência definidos por CONAMA ou WHO.

Com exceção de zinco e estanho, todos os demais elementos-traço apresentaram valores de média e mediana superiores no período chuvoso (Tabela 10 e Figura 15).

Figura 15 - Representação *boxplot* dos elementos-traço das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.



Nota: Os dados para todos os elementos-traço estão em escala logarítmica; o *boxplot* indica aproximadamente os percentis de 25°, 50° (mediana = linha preta) e 75°; *outliers* (marcados com pontos) são definidos de acordo com: (*upper whisker, lower whisker*) = (articulação superior, articulação inferior) ± 1.5 * largura da articulação.

6.2.2 Estatística multivariada

Para verificar a intercorrelação entre as variáveis e saber seu grau de correlação, utilizou-se a correlação de *spearman*, adotando a seguinte escala: $0,00 \leq r < 0,10$ (negligenciável), $0,10 \leq r \leq 0,39$ (fraca), $0,40 \leq r \leq 0,69$ (moderada), $0,70 \leq r \leq 0,89$ (forte) e $r \geq 0,90$ (muito forte) (SCHOBER; BOER; SCHWARTE, 2018). As correlações indicadas com tons de azul mais escuro, foram as que apresentaram correlação positiva variando de moderada a forte (Figura 16). Nesta etapa foram consideradas 30 variáveis, retirando o nitrato, pois exibiu mais de 70% das amostras abaixo do LD para os dois períodos.

A turbidez exibe, no período chuvoso, correlação moderada com Ti, Al e V, e fraca com Fe e P (Figura 16). No período de estiagem, correlacionou-se de forma forte com o fósforo total ($r=0,71$) e moderada, não somente com Ti, Al e V, mas também com Cl^- , Ca, Mg, CE, STD, Mn, K, Ba, Na, Sr, Ni, Fe e Co (Figura 16). O STD apresentou correlação forte no período chuvoso com CE, Ca, Sr e Na, e, no de estiagem, com estas mesmas variáveis somadas com Cl^- , Mg, Mn, K, Ba e P_{total} . O pH exibiu, no período chuvoso (Figura 16), correlação moderada com alguns elementos alcalino-terrosos e alcalinos (Ca, Mg, Na e Sr), e com STD, sendo que no de estiagem, se observou correlação moderada para as mesmas variáveis, com exceção do Na, somadas a Cl^- , Al, SO_4^{2-} e CE. A temperatura e o Eh não apresentaram correlação moderada ou forte com nenhuma outra variável (Figura 16).

O oxigênio dissolvido mostrou-se correlacionado em ambos os períodos, de forma fraca a moderada, porém sempre negativa (r variando de $-0,11$ a $-0,55$), com os seguintes parâmetros: Cl^- , Ca, Mg, CE, STD, Mn, K, Ba, Na, Sr, F, Rb, Cr, Ni, P_{total} , Fe, Co e Ti (Figura 16). Outros parâmetros como turbidez e vanádio, apresentaram correlação negativa com OD somente no período de estiagem e temperatura, Sn e Zn no chuvoso.

Os elementos alcalinos e alcalinos-terrosos apresentaram entre si correlação moderada ou predominantemente forte em ambos os períodos (Figura 16). Correlações muito fortes não foram verificadas no período chuvoso, enquanto que no de estiagem, Ca e Mg e K e Ba apresentaram correlação forte (Figura 16).

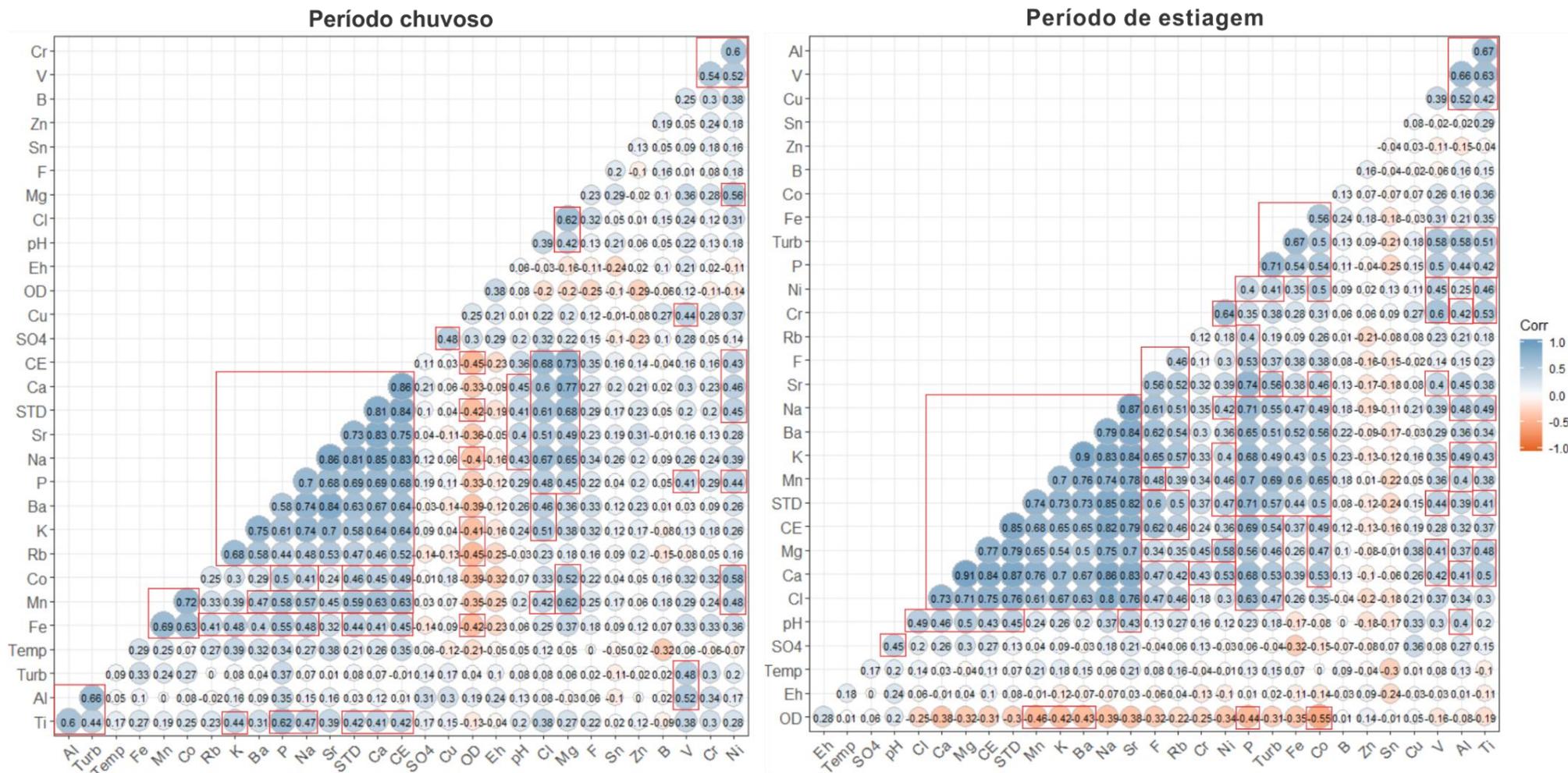
O Fe mostra correlações mais acentuadas com Mn ($r=0,69$) e Co ($r=0,63$), no período chuvoso (Figura 16), e no de estiagem, com Mn, Co e turbidez. No PC, o manganês apresentou forte correlação com o Co e moderada com Ca, Mg e Ce. No PE, o cenário muda bastante. O Mn apresenta forte correlação com mais variáveis, sendo estas: Ca, K, Ba, Na, Sr, P_{total} e STD e moderada com Cl^- , Mg, Fe, Co, CE e turbidez (Figura 16).

A análise de agrupamento hierárquico definiu, a partir do grau de correlação, quatro grupos principais em ambos os períodos, os quais são representados com cores distintas no

dendograma (Figura 17). Os agrupamentos definidos em PC e PE são diferentes, porém mostram algumas analogias. No período de estiagem, há um grande grupo (agrupamento vermelho) subdividido em dois subgrupos, sendo o primeiro formado pelos elementos alcalinos e alcalino-terrosos, mais F^- , P_{total} , Mn, Cl^- , CE e STD, e o segundo por turbidez, Fe, Co, Cr, Ni, Ti, V e Al. No período chuvoso (Figura 17), muitos destes parâmetros dos dois subgrupos se mostram agrupados, porém reunidos em agrupamentos distintos. Assim, os elementos que formaram o primeiro subgrupo no PE (agrupamento vermelho), onde dominam os elementos alcalinos e alcalino-terrosos, aparecem em um mesmo subgrupo durante o PC (agrupamento verde), com exceção de F^- e Rb e acrescidos de Fe e Co e há um outro subgrupo, constituído por Rb e temperatura (agrupamento verde do PC). Já os elementos do segundo subgrupo do PE (agrupamento vermelho) definiram outro grupo durante o período chuvoso, reunindo Ni, Cr, V, Ti, Al e Turbidez, porém sem Fe e Co, e acrescidos de SO_4^{2-} e Cu (agrupamento vermelho de PC).

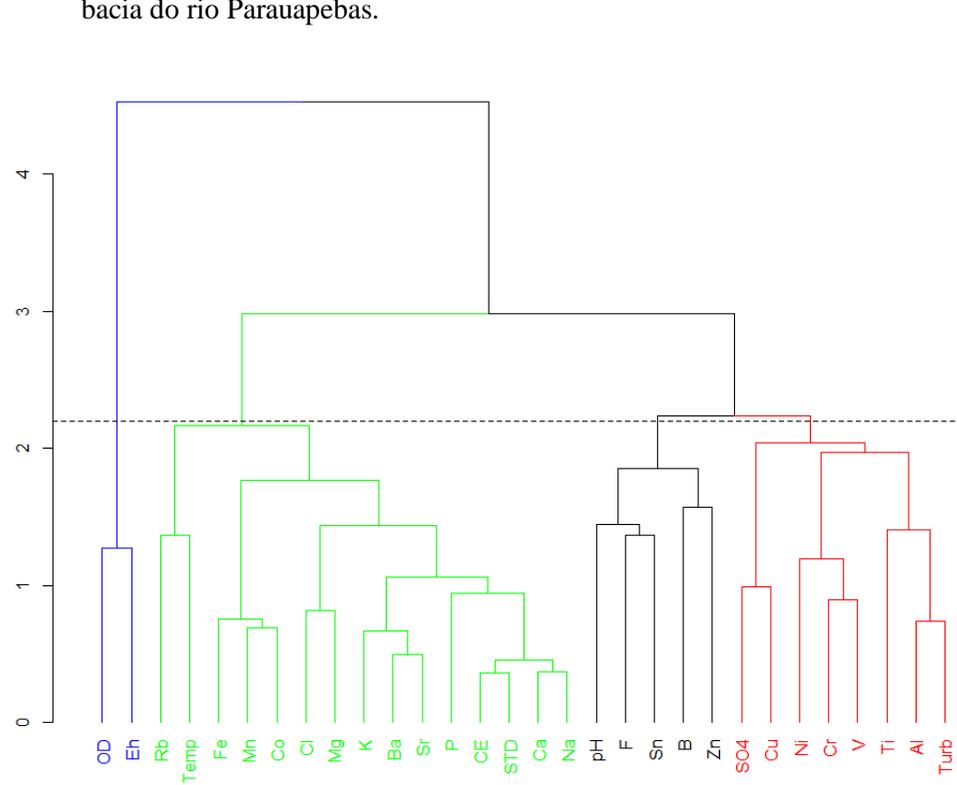
No período chuvoso (Figura 17), OD e Eh reuniram-se em um único grupo (agrupamento azul do PC), enquanto que no de estiagem o Eh definiu um subgrupo com temperatura, associado no mesmo agrupamento com outro subgrupo, que reúne B e Zn (agrupamento azul do PE). No período de estiagem, o pH se associa com SO_4^{2-} e Cu (agrupamento preto do PE), enquanto que no período chuvoso o pH se associa com os subgrupos de F^- e Sn e B e Zn em um mesmo grupo (agrupamento preto do PC). No período de estiagem (Figura 17), Sn e OD aparecem em um único grupo (agrupamento verde do PE).

Figura 16 - Matriz de correlação de *Spearman* entre parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total} , componentes maiores e elementos-traço nas águas superficiais da bacia do rio Parauapebas no período chuvoso e de estiagem.

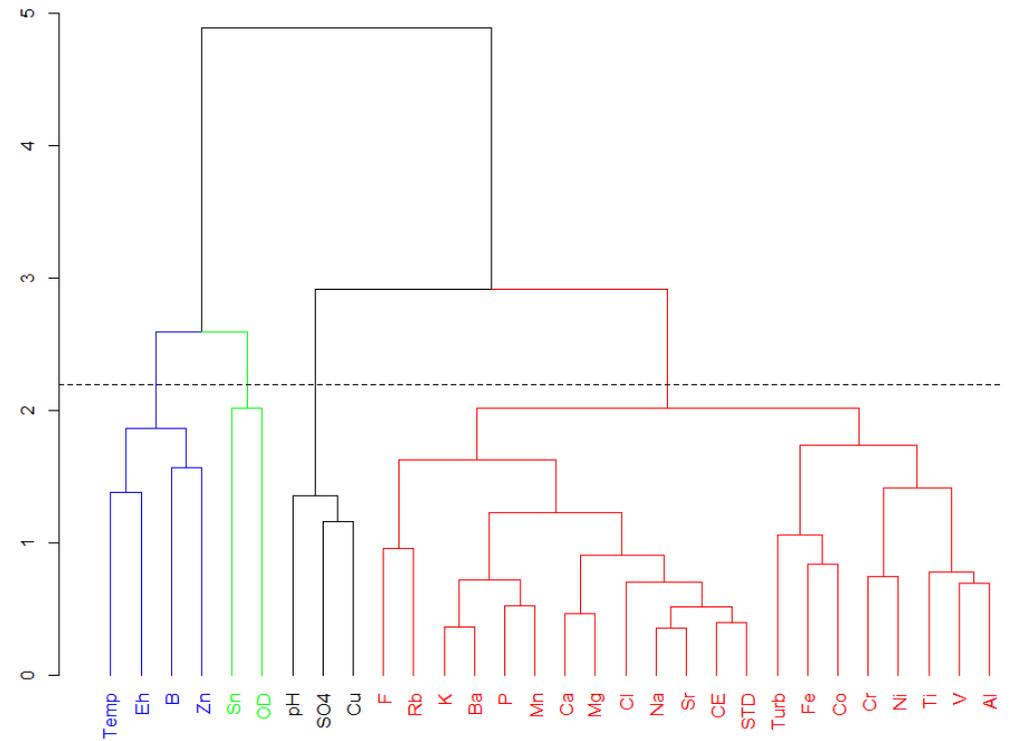


Nota: $0,00 \leq r < 0,10$ (negligenciável), $0,10 \leq r < 0,39$ (fraca), $0,40 \leq r < 0,69$ (moderada), $0,70 \leq r < 0,89$ (forte) e $r \geq 0,90$ (muito forte) (SCHOBBER; BOER; SCHWARTE, 2018).

Figura 17 – Análise de agrupamento hierárquico dos parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total} , componentes maiores e elementos-traço em águas superficiais da bacia do rio Parauapebas.



PC



PE

Nota: Dados logaritimizados e aplicado o método correlação de grupo.

A análise de componentes principais foi adotada para explicar a variabilidade dos dados. Foram utilizadas cinco componentes principais (Tabela 12), as quais juntas, explicam 65,06 % dos dados para o período chuvoso e 68,62% para o de estiagem (Tabela 13). As variáveis que mais influenciaram a PC1 no período chuvoso, com pesos fortes, foram: Na>CE>Ca>STD>Sr>P_{total}>Ba>Mn>Mg>K (Tabela 12). Outras com menor peso, classificadas como moderadas, foram: Fe>Cl>Co>Ni>Rb>Ti. A PC1 possui variabilidade de 32,96 % (Figura 18 e Tabela 13) e é a principal componente para explicar as variáveis que exercem mais influência nas características das águas superficiais da bacia do rio Parauapebas. A PC2, com variabilidade de 12,11 % (Figura 18 e Tabela 13), possui duas variáveis com peso positivo forte, V e Cu e, outras cinco com peso moderado, sendo Al>Cr>Turbidez>Ni>SO₄²⁻. Já as PC3 e PC4 apresentaram apenas peso moderado para temperatura e Al na PC3 e SO₄²⁻>pH>Eh na PC4. Além disso, em ambas as PC, houve pesos negativos moderado com B e Ni na PC3 e com Fe na PC4. Já a PC5 possui variabilidade de apenas 5,08 % (Tabela 13), e apresenta peso forte para o Zn e peso negativo moderado para o SO₄²⁻ (Tabela 12).

Já no período de estiagem, a PC1 apresentou variabilidade de 40,22% (Figura 18 e Tabela 13), foi influenciada por mais variáveis e estas apresentaram maiores pesos quando comparadas com as do período chuvoso (Tabela 12). Tal variabilidade é explicada pelo peso positivo forte para Na>Sr>Ca>STD>CE>Ba>Mn>K>P>Mg>Turbidez>Cl⁻ (Tabela 12). Também foi influenciada por variáveis com peso moderado positivo, sendo elas: Co>Fe>F⁻>V>Al>Ni>Ti>Rb>Cr>pH (Tabela 12). Ainda nesta componente, o OD apresentou peso moderado negativo. A PC2 não foi influenciada por nenhuma variável com peso forte, apenas pelas seguintes variáveis com peso moderado: Cr>Ti>V>Sn>Ni>Al e, com peso negativo moderado para cloreto. As PC3, PC4 e PC5, juntas, explicam a variabilidade de 18,41% dos dados (Tabela 13). Entretanto, nenhuma apresentou variável com peso forte, apenas moderado, sendo elas para a PC3 SO₄²⁻>pH>Cu>OD, para a PC4, temperatura e Eh, e para a PC5, B e Zn. Dentre elas, a PC3 apresentou correlação negativa moderada para Fe e CO e na PC4 somente para o estanho.

De modo geral, ratifica-se o que já foi observado no dendograma e na correlação de *spearman*. Nos dois períodos, os elementos alcalinos e alcalino-terrosos, P_{total}, Co, Fe, Mn, Cl⁻, CE e STD se agrupam em um *cluster*, ao qual se somam a temperatura e F⁻ (Figura 18). Os componentes deste *cluster* exercem forte influência na PC1 (Tabela 12 e Figura 18). Quanto às variáveis OD e Eh, no período chuvoso, elas estão associadas em um mesmo *cluster* e acham-se correlacionadas (Figura 18), porém, em nenhuma das cinco componentes principais, OD exibiu valores de peso superiores a ±0,4 (Tabela 12), e Eh somente exibiu peso positivo superior

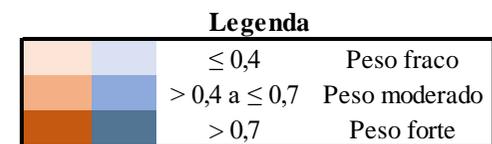
a 0,4 (moderado) na PC4. OD e Eh se mantêm associados no período de estiagem (Figura 18), sendo que OD mostra peso moderado na PC3 e Eh na PC4 (Tabela 12). Cu e SO_4^{2-} estão associados nos mesmos subgrupos no dendograma nos dois períodos, entretanto ficaram em *clusters* distintos. A correlação estabelecida entre eles no período chuvoso e no de estiagem foi fraca. Por outro lado, ao observar as cinco componentes principais, no período chuvoso, o SO_4^{2-} exibe peso moderado positivo nas PC2 e PC4 e no de estiagem exibe peso moderado positivo somente na PC3 (Tabela 12). Já o cobre exerce forte influência, com peso positivo na PC2 durante o período chuvoso e, no período de estiagem, exerce influência moderada somente na PC3. Além deles, Al aparece no *cluster* (Figura 18), com peso moderado no período chuvoso na PC2 e PC3 e na PC1 e PC2 no de estiagem (Tabela 12). Cu é o segundo elemento a exercer grande influência na PC2 durante a estação chuvosa, seguido de Al e em sétimo o SO_4^{2-} , ambos com peso moderado (Tabela 12).

Fe, Co e Mn também formam um *cluster*, sendo que P_{total} , F, Cl^- , elementos alcalinos e alcalino-terrosos se associam a eles, juntamente com CE, STD e temperatura (Figura 18), em ambos os períodos. Mn exerce forte influência e Fe e Co moderada no PC1 nos dois períodos (Tabela 12).

Ni, Cr, Ti e V também se associam em um *cluster* (Figura 18), da mesma forma que em grupo no dendograma, em ambos os períodos. Os seus pesos na PC1 são positivos, variando de fraco a moderado no período chuvoso e moderado no de estiagem. Na PC2, seus pesos variam de fraco a moderado para o período chuvoso e moderado no de estiagem. Além destes elementos, outros que fazem parte deste *cluster*, também exercem influência sobre a PC1 e PC2 em ambos os períodos, tais como cobre e alumínio no período chuvoso na PC2 com pesos de moderado a forte, (0,6692) para o Al e (0,716) para Cu. A turbidez, a qual faz parte desse *cluster*, exibiu influência moderada positiva na PC2 durante o período chuvoso e no de estiagem, na PC1, exibiu peso forte (0,7527).

Tabela 12 - Pesos das variáveis em relação às cinco primeiras componentes principais para águas superficiais da BRP.

Variáveis	Período chuvoso					Variáveis	Período de estiagem				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Na	0,8891	-0,154	0,0174	0,2254	0,0907	Na	0,9054	-0,2031	0,0541	-0,1654	0,0568
CE	0,8878	-0,188	-0,015	0,1432	-0,142	CE	0,8517	-0,268	0,0449	-0,1442	0,1154
Ca	0,8874	-0,079	-0,004	0,2621	0,0005	Ca	0,8921	-0,1048	0,1538	-0,1545	0,2297
STD	0,8534	-0,096	-0,017	0,1701	-0,018	STD	0,872	-0,2264	0,0535	-0,037	0,0366
Sr	0,8085	-0,262	0,2558	0,2225	0,2243	Sr	0,897	-0,2691	-0,0048	-0,0464	0,0533
P	0,8037	0,1489	0,2624	-0,153	0,0237	P	0,8238	0,0591	-0,1855	0,1283	-0,1607
Ba	0,78	-0,295	0,1839	0,0034	0,1121	Ba	0,8516	-0,162	-0,2145	0,0003	0,0019
Mn	0,7741	-0,113	-0,222	-0,23	-0,222	Mn	0,8426	-0,0521	-0,2703	0,0632	0,1161
Mg	0,7234	0,0288	-0,371	0,3174	-0,158	Mg	0,7843	-0,0106	0,2927	-0,204	0,2876
K	0,7106	-0,101	0,3969	0,0042	0,0571	K	0,8385	-0,1875	-0,006	0,0046	-0,0381
Fe	0,6855	-0,021	0,0162	-0,513	-0,102	Fe	0,6356	0,2246	-0,4921	0,2443	0,0205
Cl	0,6204	-0,034	-0,074	0,3292	-0,235	Cl	0,7353	-0,416	0,1266	-0,1025	-0,0789
Co	0,6015	0,1484	-0,365	-0,395	-0,201	Co	0,6679	0,2684	-0,4209	-0,0063	0,0557
Ni	0,5377	0,4891	-0,444	-0,08	0,0627	Ni	0,5689	0,4199	-0,0972	-0,1106	0,1215
Rb	0,533	-0,319	0,2119	-0,256	0,1166	Rb	0,5252	-0,3256	0,0268	-0,1947	-0,2609
Ti	0,5171	0,3397	0,3403	-0,055	0,1541	Ti	0,5559	0,539	0,3257	-0,0589	0,0369
V	0,3767	0,7643	-0,065	-0,069	0,0895	V	0,5978	0,5259	0,2294	0,205	-0,318
Cr	0,3753	0,5785	-0,287	-0,202	0,2478	Cr	0,5104	0,5919	0,1488	0,0627	0,0067
pH	0,3711	-0,022	0,0577	0,441	0,1581	pH	0,4039	-0,3326	0,6101	0,184	0,0838
Temp	0,3704	-0,233	0,4891	-0,219	-0,227	Temp	0,1614	-0,3238	0,0352	0,4938	-0,1203
F	0,3573	-0,076	-0,185	0,1895	-0,175	F	0,6016	-0,2669	-0,2554	-0,1661	-0,2028
Turb	0,3229	0,5771	0,3124	-0,385	-0,114	Turb	0,7527	0,2689	-0,1231	0,3519	-0,1301
Zn	0,2444	-0,083	-0,137	-0,042	0,7595	Zn	-0,0709	0,2419	-0,2265	0,3698	0,5512
Al	0,2205	0,6692	0,4639	-0,128	0,1944	Al	0,5923	0,4062	0,3887	0,2732	-0,2321
Sn	0,2108	-0,19	-0,307	0,135	0,3592	Sn	-0,1238	0,4814	0,1441	-0,5801	0,1806
Cu	0,1445	0,716	-0,155	0,1409	-0,194	Cu	0,279	0,3838	0,5937	0,1294	-0,0514
SO4	0,1237	0,4444	0,1178	0,5179	-0,402	SO4	0,0951	-0,1112	0,655	-0,1683	0,131
B	0,0845	0,2771	-0,509	0,145	0,2244	B	0,1826	0,0198	-0,1055	0,2016	0,5523
Eh	-0,269	0,3838	0,385	0,4096	0,1165	Eh	-0,0422	-0,3909	0,1936	0,4899	0,1397
OD	-0,379	0,3713	0,3639	0,3365	0,0986	OD	-0,448	-0,2394	0,4804	0,2535	0,0932

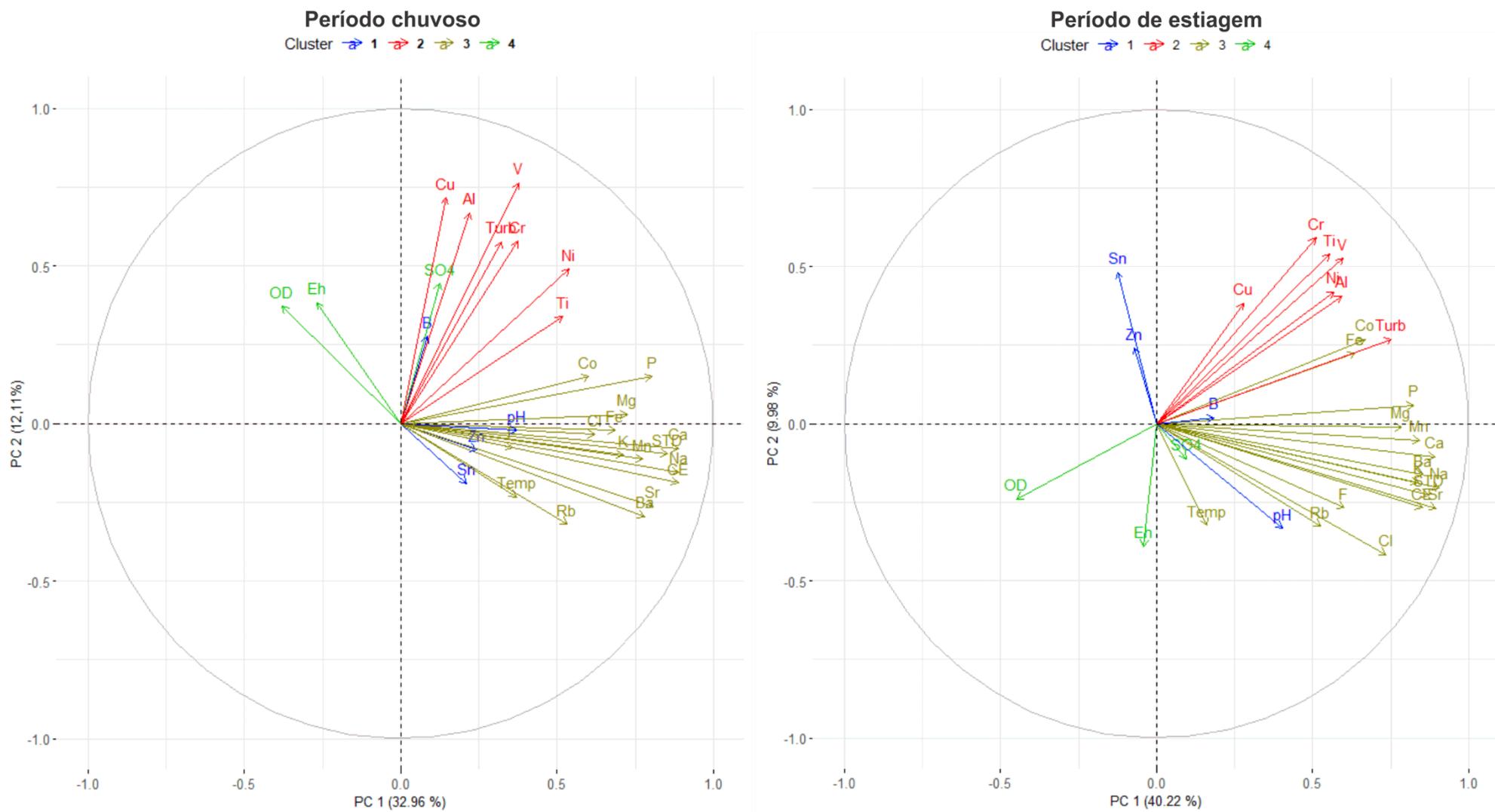


Fonte: Adaptado de Tanriverdi et al. (2010).

Tabela 13 - Autovalores e variâncias das componentes principais para o período chuvoso e de estiagem da BRP.

Período chuvoso				Período de estiagem			
CP	Autovalor	Variabilidade (%)	Acumulada (%)	CP	Autovalor	Variabilidade (%)	Acumulada (%)
1	9,89	32,96	32,96	1	12,07	40,22	40,22
2	3,63	12,11	45,07	2	3	9,98	50,21
3	2,38	7,92	52,99	3	2,64	8,78	58,99
4	2,1	6,99	59,98	4	1,67	5,58	64,57
5	1,52	5,08	65,06	5	1,21	4,05	68,62
6	1,22	4,05	69,11	6	1,17	3,9	72,52
7	1,14	3,8	72,9	7	1,02	3,39	75,92
8	0,93	3,12	76,02	8	0,92	3,07	78,99
9	0,82	2,72	78,74	9	0,77	2,57	81,56
10	0,69	2,3	81,04	10	0,68	2,28	83,83
11	0,63	2,09	83,12	11	0,64	2,13	85,96
12	0,61	2,04	85,17	12	0,57	1,89	87,85
13	0,54	1,8	86,97	13	0,52	1,73	89,59
14	0,51	1,7	88,67	14	0,44	1,48	91,06
15	0,45	1,5	90,17	15	0,4	1,33	92,4
16	0,43	1,42	91,59	16	0,36	1,19	93,59
17	0,35	1,17	92,76	17	0,29	0,96	94,55
18	0,33	1,11	93,87	18	0,26	0,86	95,41
19	0,29	0,96	94,83	19	0,23	0,77	96,18
20	0,25	0,82	95,65	20	0,19	0,65	96,82
21	0,23	0,78	96,42	21	0,17	0,58	97,4
22	0,21	0,69	97,11	22	0,16	0,55	97,95
23	0,18	0,58	97,7	23	0,16	0,52	98,48
24	0,17	0,58	98,28	24	0,11	0,36	98,84
25	0,15	0,51	98,78	25	0,09	0,3	99,14
26	0,1	0,34	99,12	26	0,08	0,25	99,39
27	0,08	0,27	99,39	27	0,07	0,22	99,6
28	0,07	0,25	99,64	28	0,05	0,16	99,77
29	0,06	0,21	99,85	29	0,04	0,14	99,9
30	0,05	0,15	100	30	0,03	0,1	100

Figura 18 – Análise de componentes principais para 30 variáveis das águas superficiais da BRP nos períodos chuvoso e de estiagem.



6.3 ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS

Seguiu-se o modelo adotado por Salomão et al. (2018) e optou-se por representar os dados por microbacias, distribuídos em diferentes categorias, traduzidas em variações de cores nos mapas geoquímicos e definidas com base nos resultados obtidos no tratamento estatístico. Conforme destacado anteriormente, algumas microbacias não puderam ser amostradas na estação chuvosa por impossibilidade de acesso. A estas bacias se somaram no período de estiagem diversas microbacias cujas drenagens são intermitentes e estavam secas no período de amostragem. Em decorrência disso, no período de estiagem a amostragem do alto Parauapebas (Figura 6b) ficou bastante prejudicada, como pode ser observado nos mapas geoquímicos gerados (Figura 22 e seguintes).

6.3.1 Parâmetros físico-químicos

A condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, dois parâmetros que mostram forte correlação positiva (Figura 9), apresentaram maiores valores numa faixa central da bacia no limite entre o alto e o médio Parauapebas, sendo nítido o decréscimo no baixo curso do rio. Os valores são mais elevados na margem direita do rio e em microbacias situadas próximo a cidade de Canaã dos Carajás e em algumas microbacias da margem esquerda do alto Parauapebas (Figuras 19 e 20). As concentrações foram ligeiramente mais elevadas no período chuvoso (cf. Figura 12), devido provavelmente ao maior transporte de partículas às drenagens por meio do fluxo superficial. Na região do alto e médio Parauapebas, concentram-se drenagens intermitentes e de menor vazão (GAT, 2007), o que fornece baixa capacidade de autodepuração aos rios (ANDRADE, 2007), resultando em concentrações maiores de íons dissolvidos. Cabe destacar, porém, que do conjunto de microbacias cujas águas foram analisadas, todas apresentaram valores de STD abaixo do VMP (500 mg/L), na resolução CONAMA 357/05, classe 2.

Figura 19 – Variação espacial da condutividade elétrica em águas superficiais da BRP.

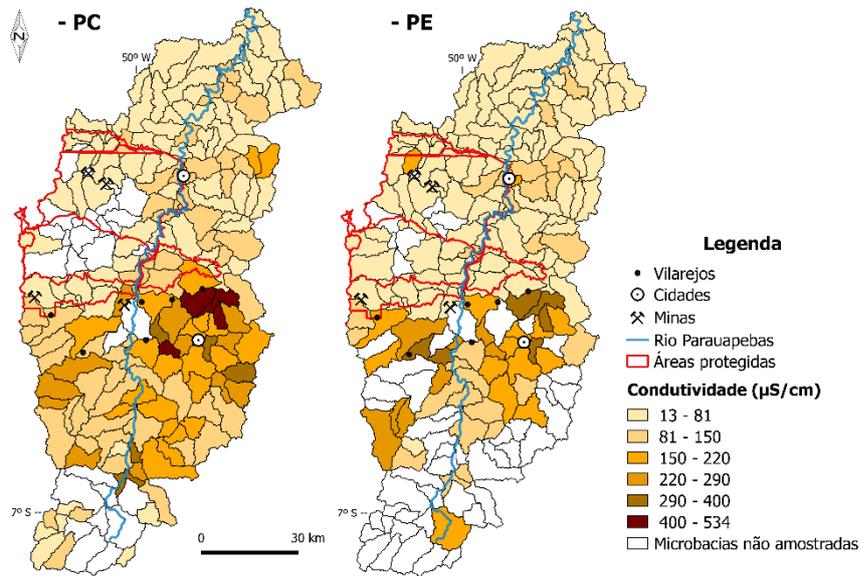
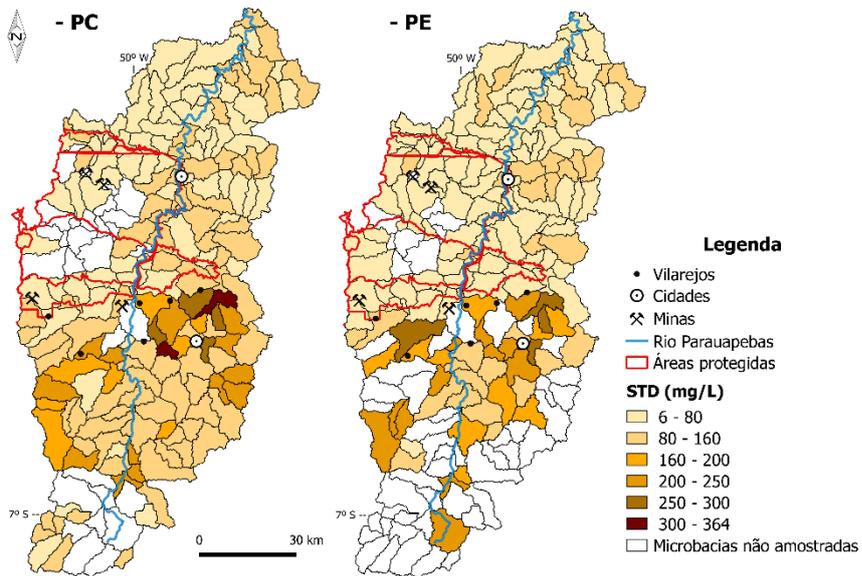


Figura 20 - Variação espacial da concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) em águas superficiais da BRP.

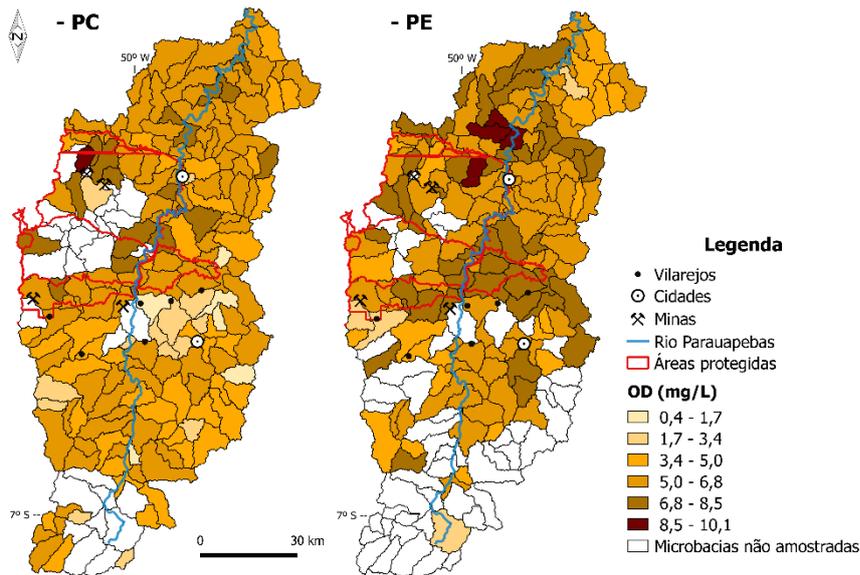


Nota: 500 mg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

A quantidade de oxigênio dissolvido disponível nas águas superficiais mostrou-se superior no período de estiagem (Tabela 10 e Figura 12), sendo que no período chuvoso, algumas microbacias acusaram valores abaixo do limite estipulado pela resolução CONAMA 357 (Figura 21). Tais microbacias se concentram na porção central da bacia, nas proximidades da cidade de Canaã dos Carajás e da mina Sossego, ou seja, em área similar àquela em que se observou maiores valores de CE e STD. As microbacias que apresentaram concentrações de OD acima de 6,8 mg/L estão situadas no médio e baixo Parauapebas, e em grande parte, em áreas protegidas, como Flona de Carajás, APA do Gelado e Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, em áreas cobertas por floresta tropical ou onde há fragmentos remanescentes de floresta ou vegetação secundária (Figura 21).

Há total dominância de valores de OD acima de 5,0 mg/L, ou seja, compatíveis com os valores mínimos estabelecidos na resolução CONAMA 357/05, tal como observado para CE e STD. No período de estiagem, quatorze microbacias revelaram valores de OD menores que 5,0. Este número é um pouco maior no período chuvoso, conforme já assinalado (cf. Figura 21).

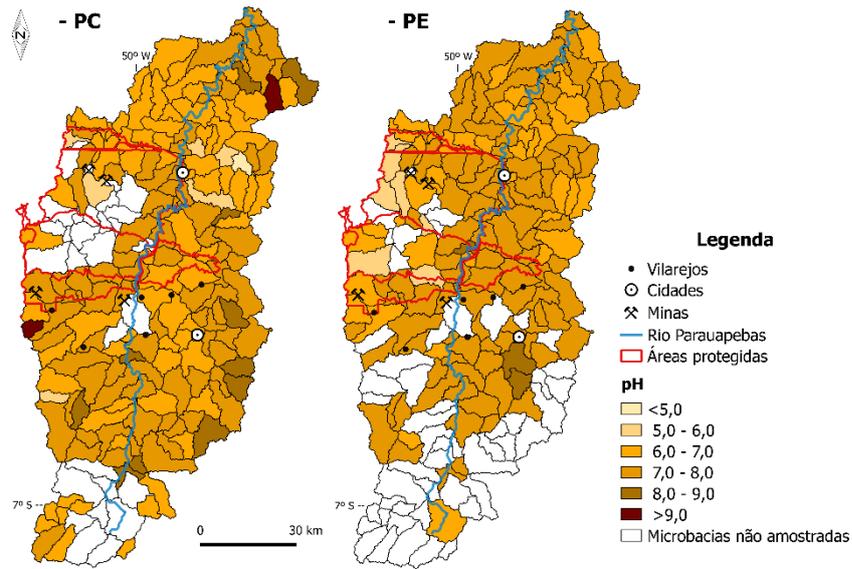
Figura 21 – Variação espacial da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em águas superficiais da BRP.



Nota: 5 mg/L é o limite mínimo de OD previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Em geral, as águas superficiais da bacia apresentaram pH variando de 6 a 8 (Figura 10) em ambos os períodos, compatíveis com a faixa de valores considerada adequada conforme a resolução CONAMA 357/05. Os valores observados nos dois períodos são muito semelhantes (Tabela 10 e Figura 22), com registro de raros valores abaixo de 5,0 ou acima de 9,0 e, em ambos os casos, sempre no período chuvoso.

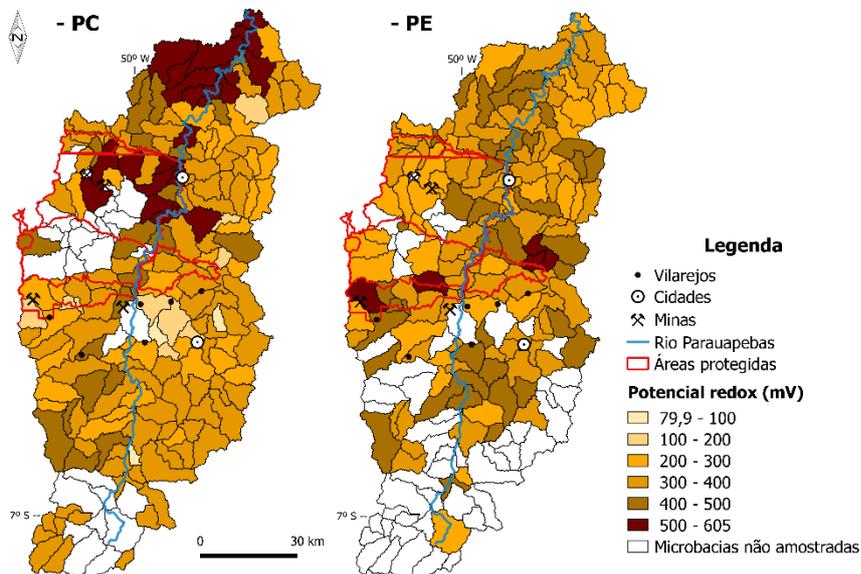
Figura 22 - Variação espacial de valores de pH em águas superficiais da BRP.



Nota: 6 a 9 é a faixa prevista de pH na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Em ambos os períodos, 70% das amostras acusaram valores de potencial redox acima de 300mV. Os valores verificados foram todos positivos (Figura 23). Entretanto, no período chuvoso, no baixo curso e preferencialmente na margem esquerda do Parauapebas, em áreas situadas em parte nos domínios da Flona de Carajás e onde há fragmentos de florestas secundárias (Figura 1c), observaram-se diversas microbacias com valores acima de 500mV (Figura 23). No período de estiagem, valores de mesma ordem são mais restritos e se situam no médio Parauapebas.

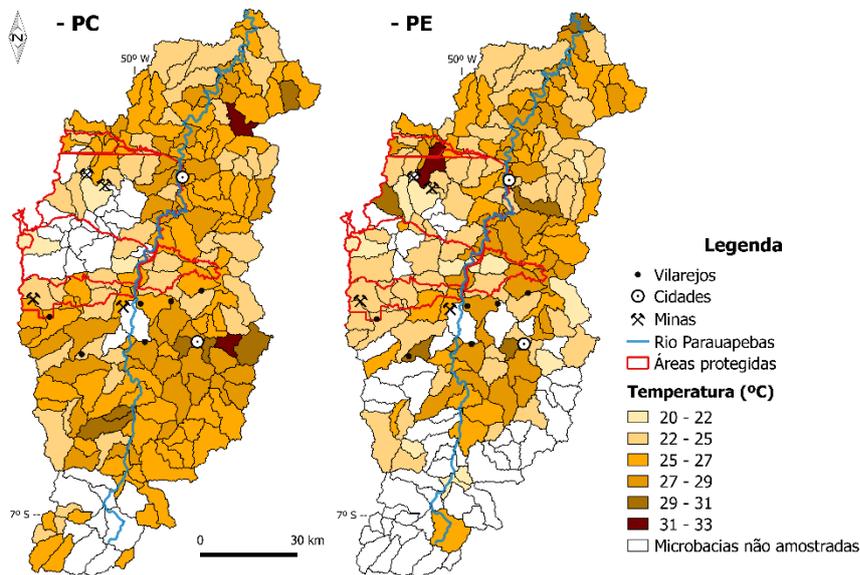
Figura 23 - Variação espacial de potencial redox (Eh) em águas superficiais da BRP



A temperatura das águas da região varia predominantemente entre 24 e 27,1 °C (valores de Q1 e Q3; Tabela 10) com valores médios de 26,1 °C e de 25,3 °C e valores máximos de 31,4°C e 32,5 °C, respectivamente, no período chuvoso e no de estiagem (Tabela 10). Ao comparar os dois períodos, os valores encontrados para mediana exibem pequena variação com 26,1°C no PC e 25,1 °C no PE (Tabela 10 e Figura 12).

Os valores de temperatura verificados no período de estiagem, em grande parte das microbacias da margem direita do rio Parauapebas, área desmatada, com predominância de pastagens, desprovida de mata ciliar em vários trechos e próxima a centros urbanos, situam-se acima de 27 °C e são ligeiramente superiores aos apresentados pelas microbacias da margem esquerda, inseridas parcialmente em áreas protegidas ou sob sua influência (Figura 24). Contraste similar também é observado no período chuvoso, quando grande número de microbacias, em sua maioria da região sudeste da bacia e nas proximidades de Canaã dos Carajás, revelaram valores de temperatura da água superficial acima de 27 °C (Figura 24).

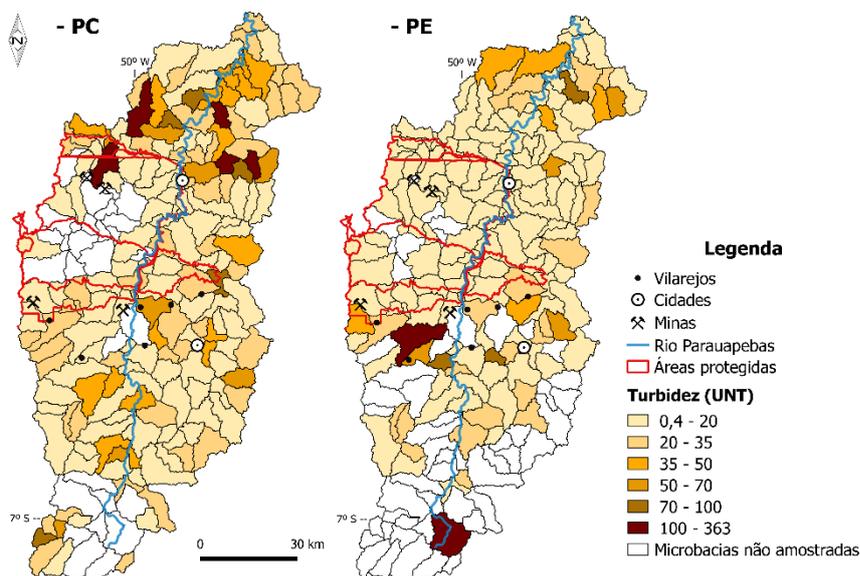
Figura 24 - Variação espacial dos valores de temperatura (°C) em águas superficiais da BRP.



Os valores de turbidez foram maiores no período chuvoso, quando se obteve média de 29,1 UNT e mediana de 20,1 UNT, do que no de estiagem, 19,3 UNT e 11,5 UNT (Tabela 10). Predominam amplamente na bacia valores de turbidez abaixo do limite máximo do CONAMA 357, igual a 100 UNT, sendo que Q3, correspondente a 75% das amostras, no período chuvoso é igual a 31,5 UNT e no período de estiagem cai para 19,9 UNT. Apenas cinco microbacias no PC e duas no PE apresentaram turbidez acima do valor máximo estipulado por CONAMA (Figura 25).

Durante o período chuvoso, as microbacias que tiveram valores de turbidez acima da média, dentre elas algumas acima do limite permitido, situam-se preferencialmente no norte da região de estudo (Figura 25). No período de estiagem, duas microbacias apresentaram turbidez acima do limite do CONAMA e, numa delas, o valor encontrado foi superior ao do PC na mesma microbacia.

Figura 25 - Variação espacial dos valores de turbidez em águas superficiais da BRP.



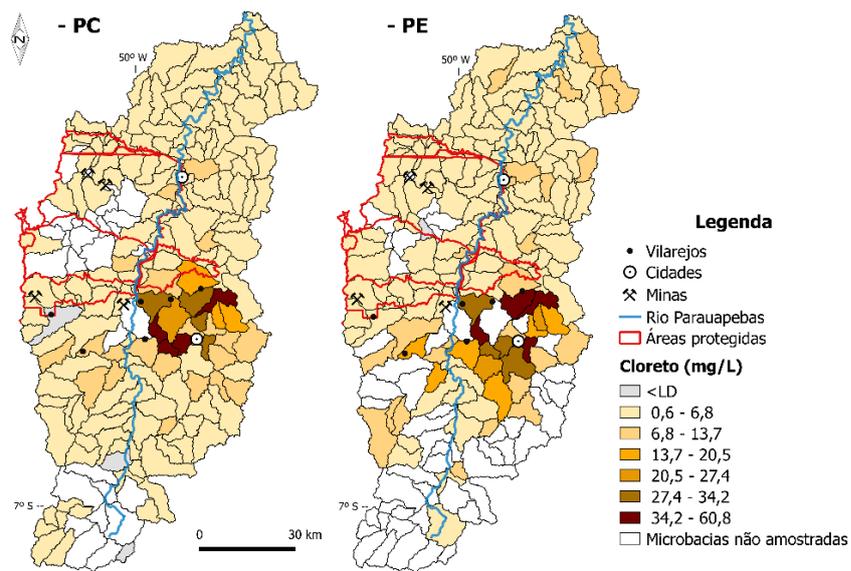
Nota: 100 UNT é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

6.3.2 Ânions e fósforo total

Dentre os ânions, cloreto e sulfato (Figuras 26 e 37), também são considerados maiores em águas superficiais (GAILLADERT; DUPRÉ, 2003). Os valores de Cl obtidos na bacia são muito baixos e sistematicamente inferiores ao limite máximo de 250 mg/L estabelecido na resolução CONAMA 357/05 (Figura 26). Os teores de Cl nas águas superficiais da porção inferior do médio e no baixo Parauapebas são ainda mais baixos e geralmente menores que 13,7 mg/L. Concentrações comparativamente mais elevadas ocorrem de forma pontual, em particular em microbacias situadas na porção sul do médio Parauapebas, próximo a cidade de Canaã dos Carajás e da mina do Sossego, mas em nenhum caso excedendo o valor de 60,8 mg/L, estando, portanto, muito abaixo do limite máximo estipulado na resolução do CONAMA. As concentrações de cloreto (Tabela 10 e Figura 13) são muito semelhantes nas duas estações pluviométricas, mostrando que este parâmetro não foi significativamente afetado pelas variações acentuadas de precipitação nos diferentes períodos do ano.

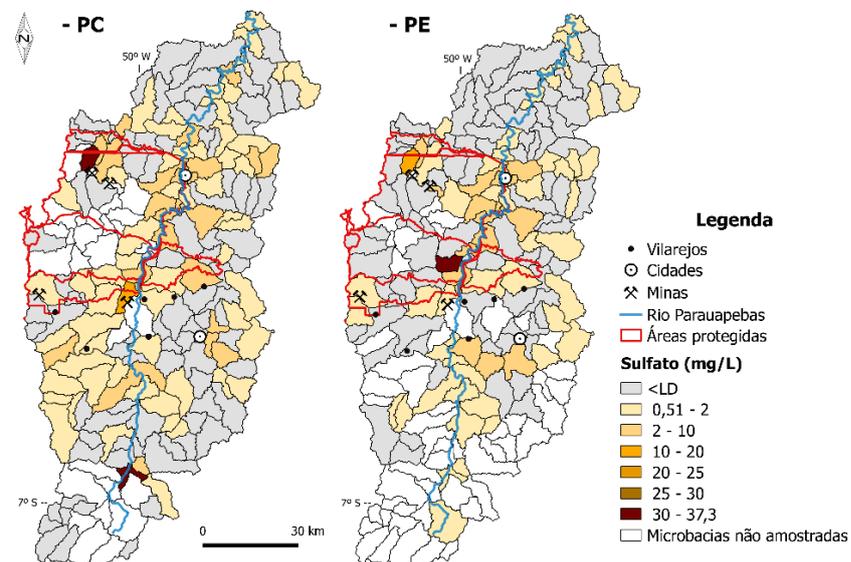
Para o sulfato, número muito grande de amostras, em ambos os períodos, revelou concentrações abaixo do LD (Figura 27). Concentrações comparativamente mais elevadas deste ânion foram observadas ao longo do curso do rio Parauapebas e na porção sul do médio. Também foram registrados valores algo mais elevados em relação à média da bacia na microbacia a norte da mina de ferro de N4 (Figura 27). Entretanto, nenhuma microbacia apresentou concentração acima do limite estipulado pelo CONAMA 357. Não foram verificadas diferenças significativas ao comparar PC com PE.

Figura 26 - Variação espacial da concentração de cloreto em águas superficiais da BRP.



Nota: 250 mg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Figura 27 - Variação espacial da concentração de sulfato em águas superficiais da BRP.

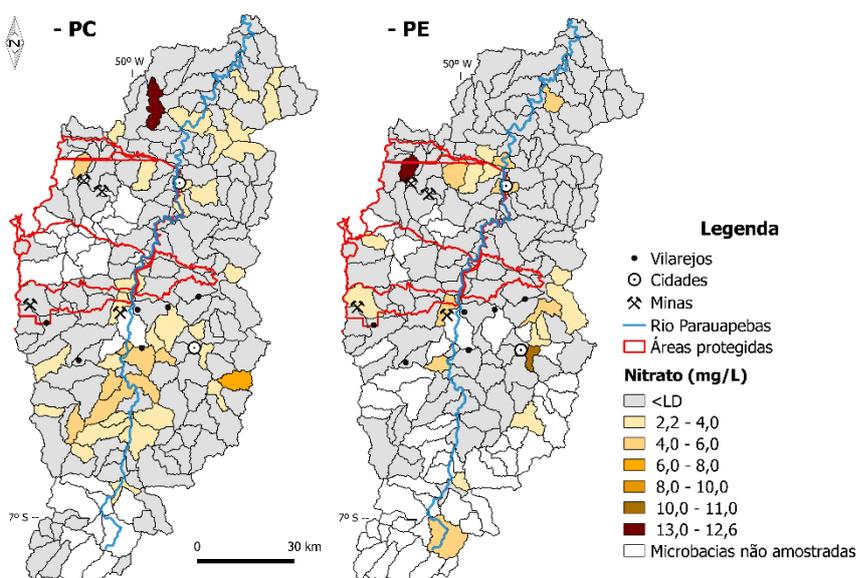


Nota: 250 mg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Os demais ânions, nitrato (Figura 28) e fluoreto (Figura 29), tal como sulfato, também mostram dominância de concentrações abaixo do LD e não revelam diferenças marcantes entre os dois períodos.

As concentrações de nitrato (Figura 28) se situaram abaixo do LD em mais de 75% das amostras em ambos os períodos, sendo que no PC foi obtido maior número de valores acima do LD ao comparar com o PE. Em apenas três microbacias, situadas uma nas proximidades da mina de N4, outra na margem esquerda do baixo Parauapebas e a terceira junto da cidade de Canaã dos Carajás (Figura 28), foram obtidas concentrações que ultrapassaram o limite máximo estipulado pelo CONAMA 357/05.

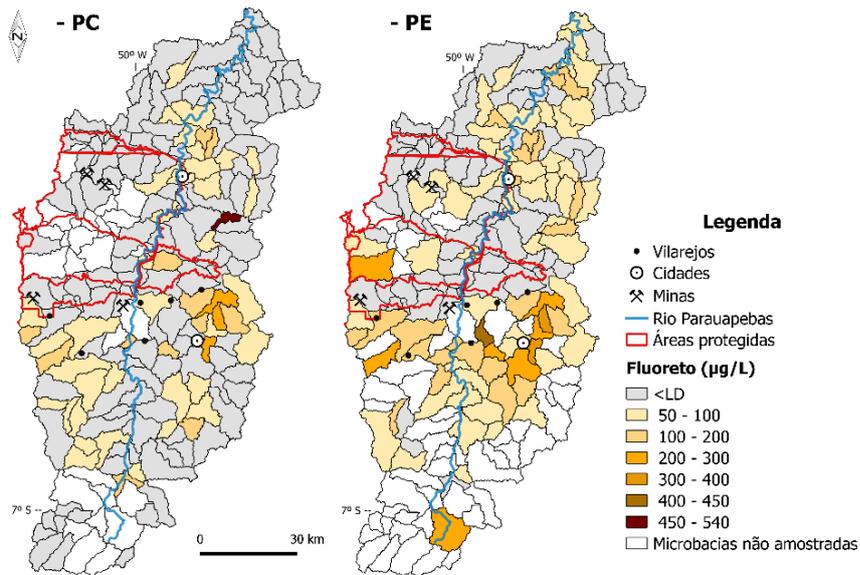
Figura 28 – Variação espacial da concentração de nitrato em águas superficiais da BRP.



Nota: 10 mg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Para o fluoreto, todas as amostras analisadas apresentaram valores abaixo do VMP do CONAMA 357 (Figura 29). Porém, constata-se conteúdos comparativamente mais elevados de fluoreto nas águas superficiais da porção superior do médio Parauapebas, coincidindo com a área de ocorrência do Cinturão Sul do Cobre (MORETO et al., 2015). No baixo Parauapebas, há dominância de conteúdos abaixo do LD nas águas das microbacias amostradas, principalmente durante o período chuvoso. Além disso, ao comparar os dois períodos, é possível observar diferenças no número de microbacias que apresentaram concentrações de F^- acima do LD e nos valores médios das concentrações, sendo o conteúdo médio no PE de 75,2 $\mu g/L$ e no PC de 50,3 $\mu g/L$ (Tabela 10).

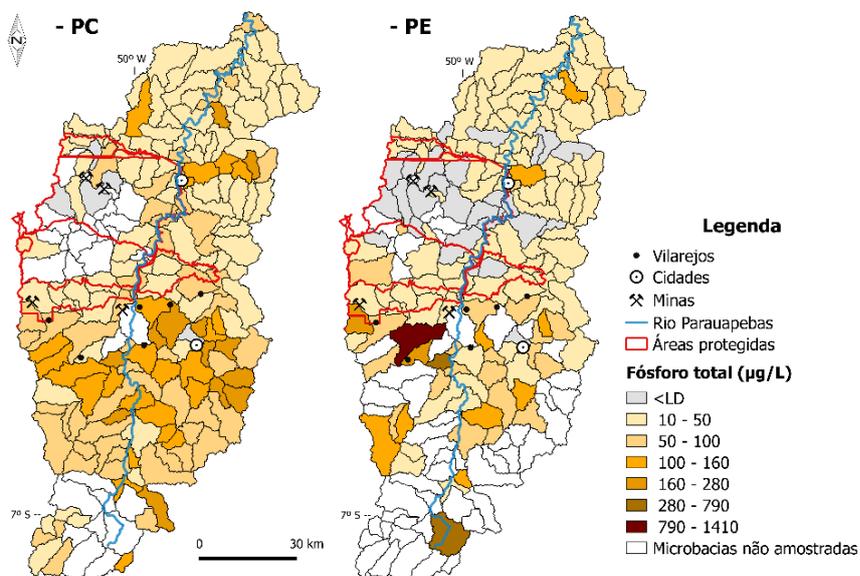
Figura 29 - Variação espacial da concentração de fluoreto em águas superficiais da BRP.



Nota: 1,4 mg/L = 1400 µg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Nas águas superficiais das microbacias amostradas, o conteúdo de fósforo total apresentou 2,8 % das amostras abaixo do LD no período chuvoso e 17% no de estiagem (Tabela 9). Para este elemento, 37 microbacias no PC e 14 no PE apresentaram concentrações excedente ao valor máximo permitido pelo CONAMA 357 (Figura 30).

Figura 30 - Variação espacial da concentração de fósforo total em águas superficiais da BRP.



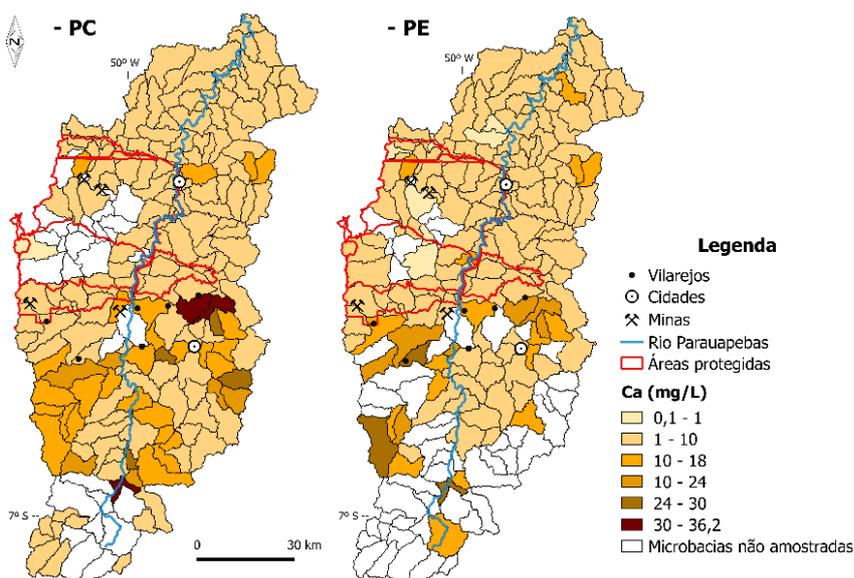
Nota: 0,1 mg/L = 100 µg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

6.3.3 Componentes maiores (cátions) das águas superficiais da BRP

Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn e Al, são os maiores componentes das águas superficiais da bacia do rio Parauapebas e Ca e Na são os cátions predominantes (Figuras 31 e 32). Suas concentrações, assim como as do K (Figura 33), foram algo mais elevadas no período chuvoso e tendem a crescer na porção centro-sul da bacia. O Fe também exibe teores mais elevados nas águas durante o período chuvoso, enquanto que Mg não varia de modo significativo nos dois períodos (Figura 34). O Ferro apresentou concentrações mais elevadas no PC, com 90% das amostras exibindo teores acima de 1 mg/L (Figura 35), valor considerado como correspondente a elementos maiores em águas.

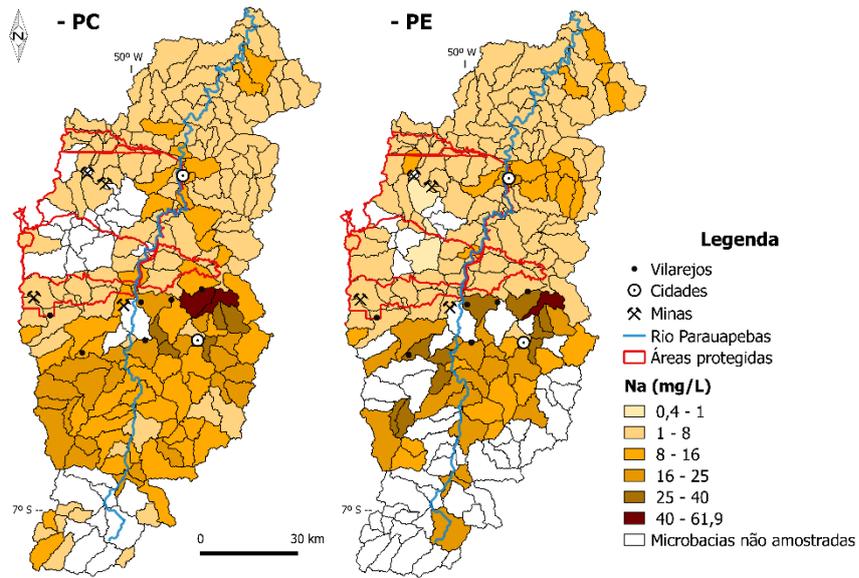
Apesar de serem os elementos com maiores concentrações detectadas, Ca e Na apresentaram em todas as amostras analisadas valores abaixo do VMP pela WHO/1993. Para K e Mg (Figuras 33 e 34) não são fornecidos limites em ambas resoluções consideradas. Para o Fe, as concentrações foram quase todas superiores a 0,3 mg/L (Figura 35), valor máximo recomendado para ferro total pela WHO/1993.

Figura 31 – Variação espacial da concentração de cálcio em águas superficiais da BRP.



Nota: 200 mg/L é o limite máximo previsto pela WHO/1993.

Figura 32 – Variação espacial da concentração de sódio em águas superficiais da BRP.



Nota: 200 mg/L é o limite máximo previsto pela WHO/1993.

Figura 33 - Variação espacial da concentração de potássio em águas superficiais da BRP.

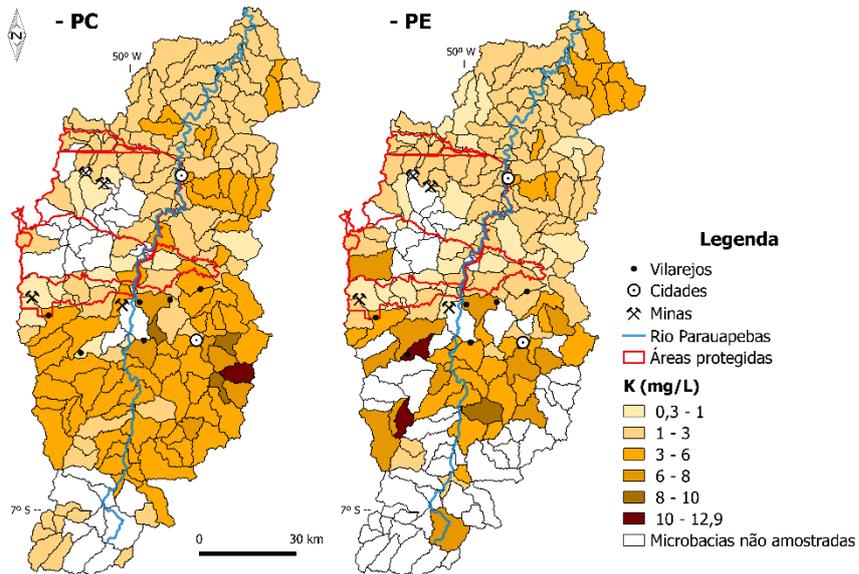


Figura 34 - Variação espacial da concentração de magnésio em águas superficiais da BRP.

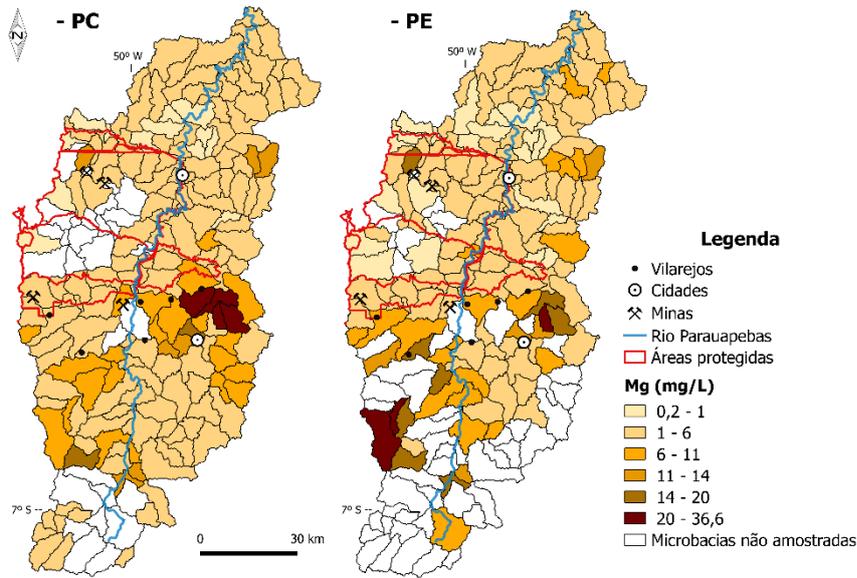
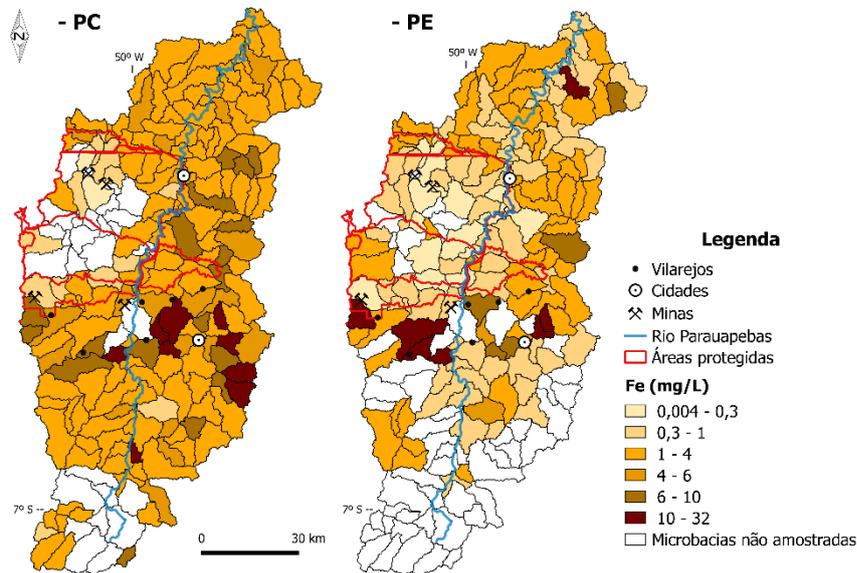


Figura 35 - Variação espacial da concentração de ferro em águas superficiais da BRP.

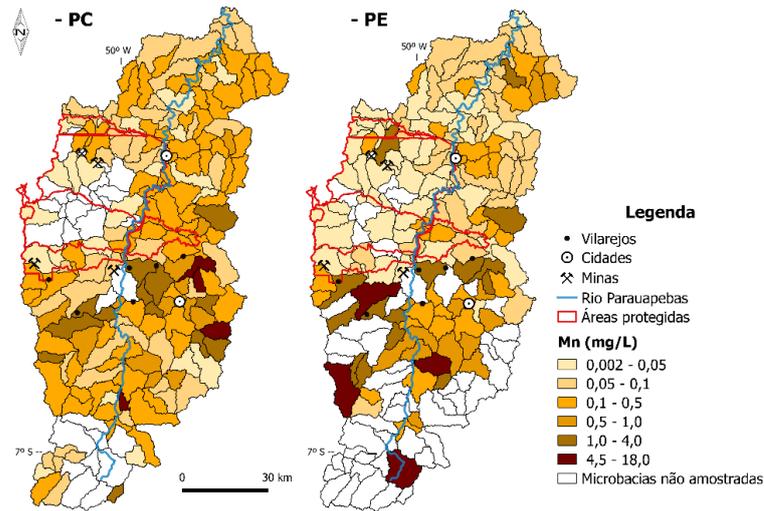


Nota: 0,3 mg/L é o limite máximo previsto pela WHO/1993.

A distribuição espacial das concentrações de Mn (Figura 36) apresenta notável semelhança com a do Fe (Figura 35), notadamente no período chuvoso. Porém, no período de estiagem, no alto Parauapebas, várias microbacias apresentaram enriquecimento na concentração deste elemento, o que não foi observado para o Fe. Considerando os valores médios (Tabela 10), as concentrações de Mn ainda são maiores no período chuvoso. Para este elemento, nos dois períodos, número significativo de amostras ficou acima do valor máximo estipulado por CONAMA 357.

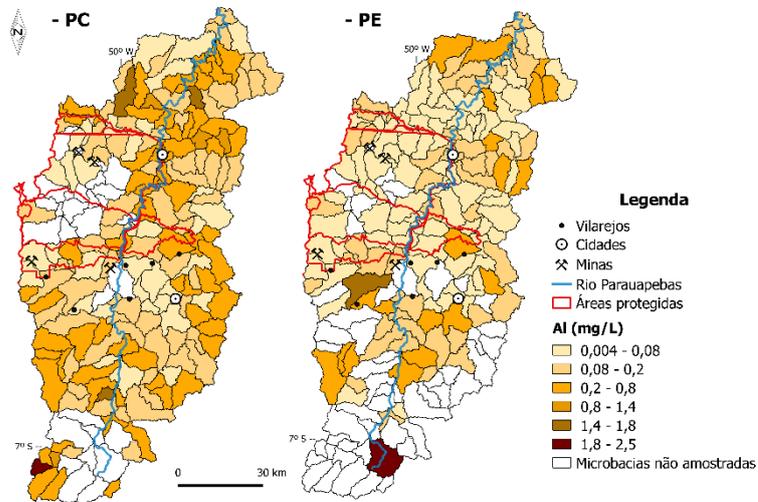
O Al também revelou teores mais elevados em águas durante o período chuvoso (Tabela 10), no qual apresenta como particularidade o fato de não mostrar contraste notável de concentração em diferentes trechos da bacia (Figura 37). No período de estiagem as microbacias com teores mais elevados tendem a se concentrar na zona limite entre o alto e o médio Parauapebas. Em ambos os períodos, várias microbacias, principalmente no período chuvoso, exibiram concentrações acima do limite máximo estipulado pela WHO/1993.

Figura 36 - Variação espacial da concentração de manganês em águas superficiais da BRP.



Nota: 0,1 mg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Figura 37 - Variação espacial da concentração de alumínio em águas superficiais da BRP.



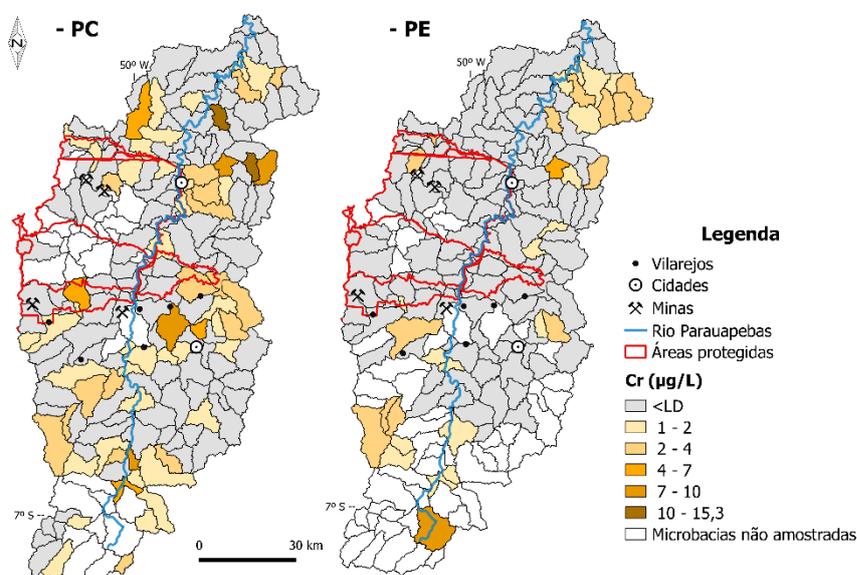
Nota: 0,2 mg/L é o limite máximo previsto na WHO/1993.

6.3.4 Elementos-traço nas águas superficiais

Para os elementos-traço, com exceção de Zn e Sn, as concentrações foram maiores no período chuvoso (Tabela 10). Dentre eles, os elementos apresentados em teores médios decrescentes de ordem de abundância são: Sr>Ba>Zn>Rb>Ti>Cu>B>Sn>Co>Ni>V>Cr no período chuvoso, e Ba>Sr>Zn>Rb>Ti>B>Cu>Sn>Ni>Co>V>Cr no de estiagem.

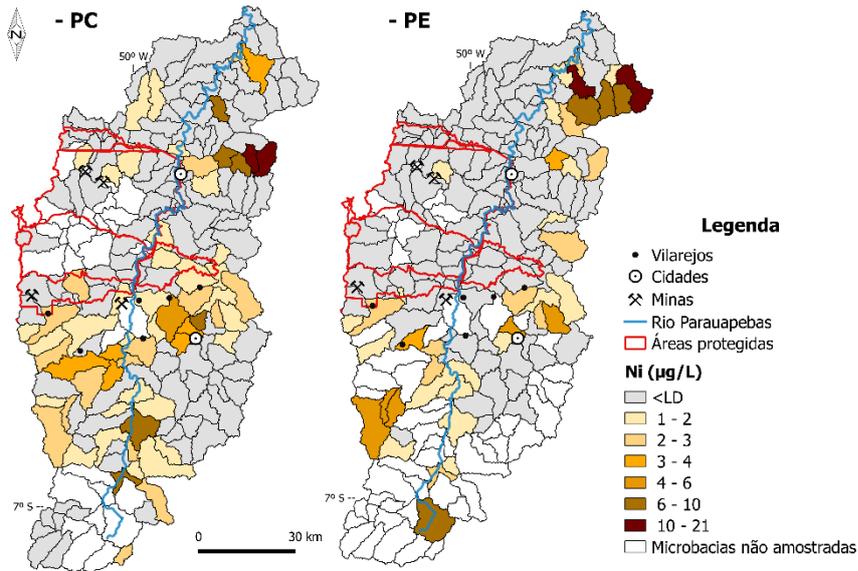
Cromo, níquel e cobalto (Figuras 38, 39 e 40) apresentam em grande número de microbacias concentrações abaixo do limite de detecção, tendo sido obtidos valores significativos, em sua maioria, em áreas de ocorrência de rochas máficas e ultramáficas. Em consequência, estes elementos apresentam similaridades em suas distribuições espaciais. Os conteúdos destes três elementos nas águas superficiais da bacia são sempre inferiores ao valor máximo estipulado por CONAMA 357/05.

Figura 38 - Variação espacial da concentração de cromo em águas superficiais da BRP.



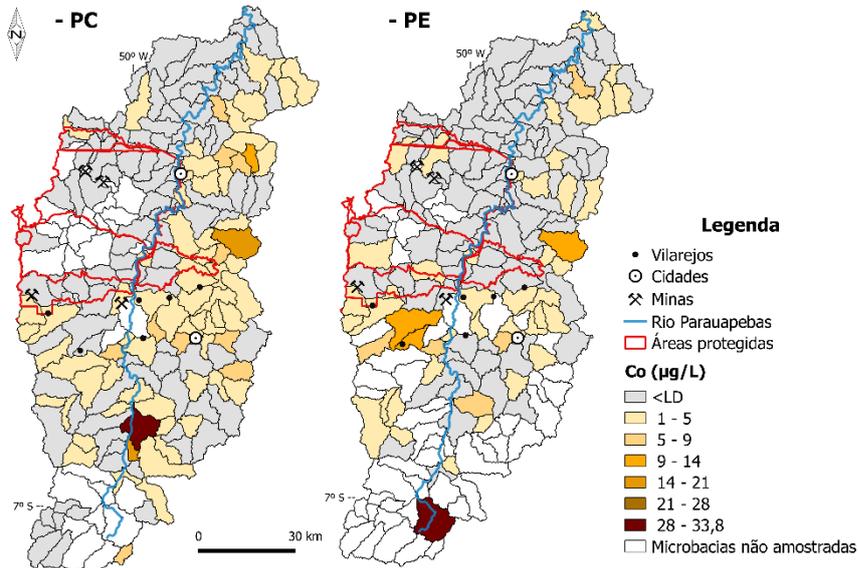
Nota: 0,05 mg/L = 50 µg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Figura 39 - Variação espacial da concentração de níquel em águas superficiais da BRP.



Nota: 0,025 mg/L = 25 µg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Figura 40 - Variação espacial da concentração de cobalto em águas superficiais da BRP.



Nota: 0,05 mg/L = 50 µg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

Rb, Sr e Ba são três elementos com afinidade geoquímica, os quais apresentaram distribuições espaciais semelhantes com concentrações mais elevadas no alto e na porção superior do médio Parauapebas, situadas nos domínios Canaã dos Carajás, Sapucaia e Rio Maria – CC (Figuras 41, 42 e 43), onde dominam rochas granitoides ricas em feldspatos. Sr e Ba são relativamente abundantes e apresentaram conteúdos acima do LD em quase todas as microbacias amostradas em ambos os períodos (Tabela 9). O mesmo não se verifica com o Rb

que exibe conteúdos abaixo do LD em grande número de microbacias (Figura 41). Dentre estes três elementos, apenas o Ba possui limite máximo definido pelo CONAMA 357/05, correspondente a 700 µg/L. De modo geral, os conteúdos de Ba se situam muito abaixo deste valor (Figura 43). Apenas uma microbacia no período de estiagem, que apresenta o valor máximo do conjunto analisado, ultrapassou este valor.

Figura 41 - Variação espacial da concentração de rubídio em águas superficiais da BRP.

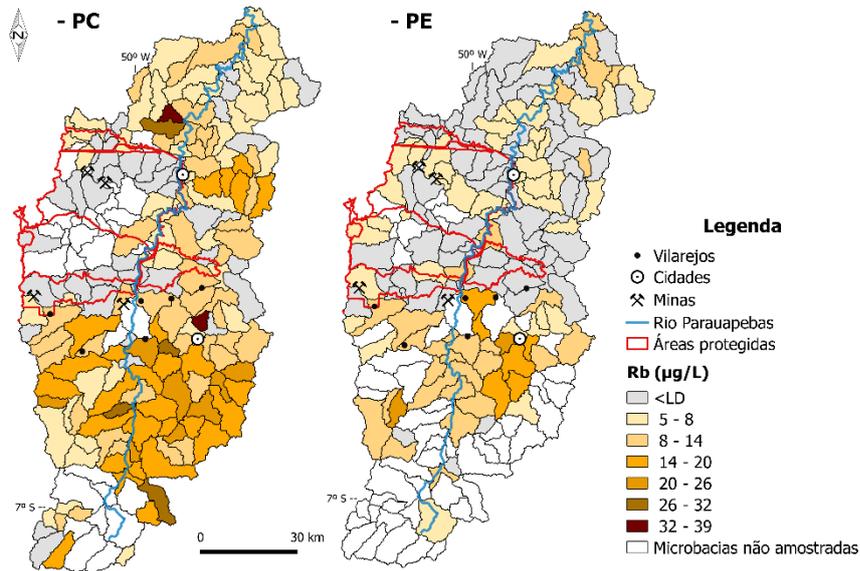


Figura 42 - Variação espacial da concentração de estrôncio em águas superficiais da BRP.

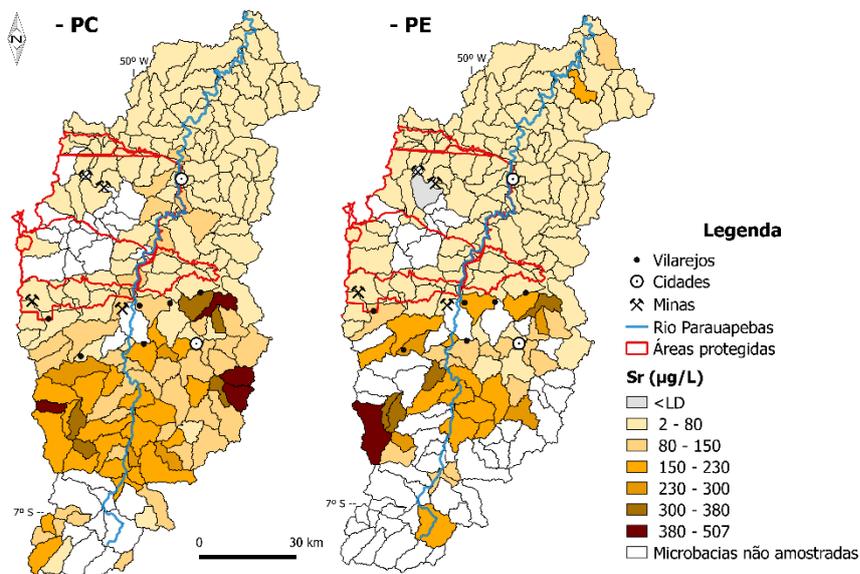
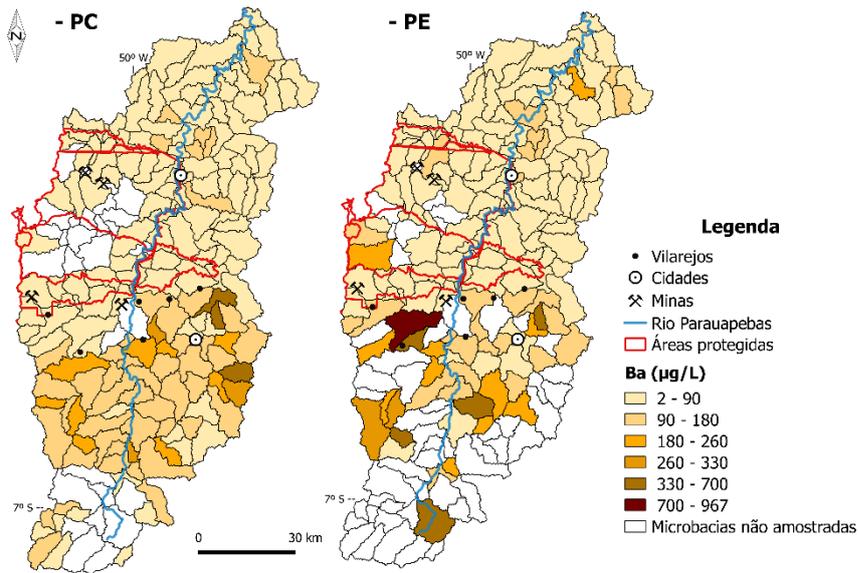


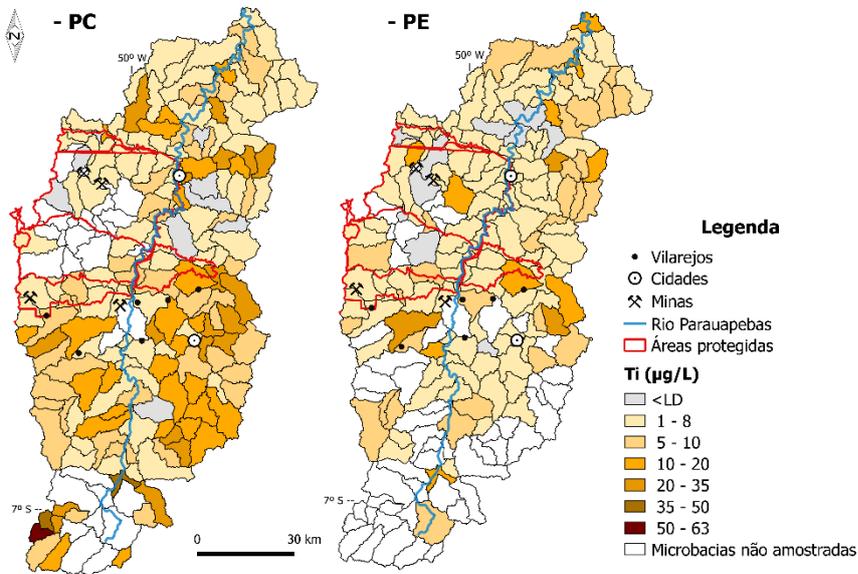
Figura 43 - Variação espacial da concentração de bário em águas superficiais da BRP.



Nota: 0,7 mg/L = 700 µg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2

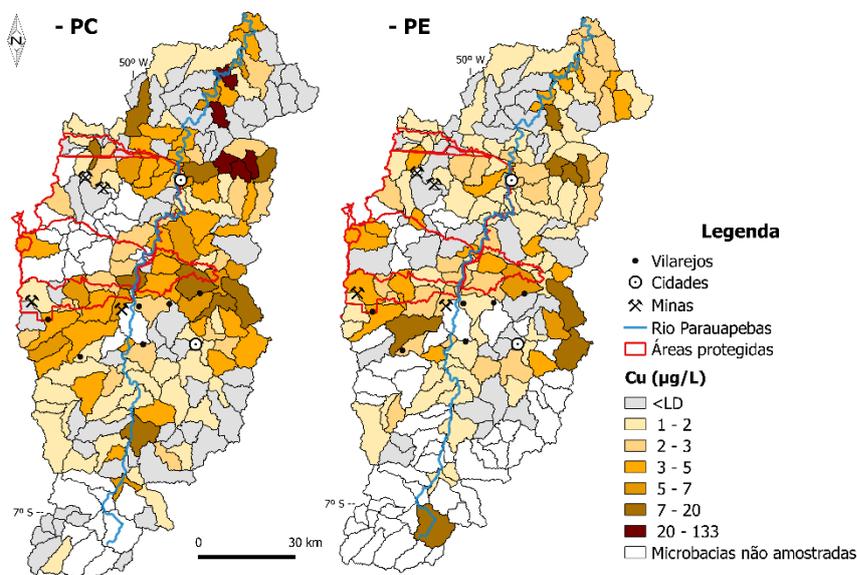
O titânio mostra algumas analogias com Rb, Sr e Ba, em particular no período chuvoso, quando mostra concentrações mais elevadas na porção superior do médio e no alto Parauapebas (Figura 44). Os conteúdos de Ti não são muito altos, mas só localmente se situam abaixo do LD.

Figura 44 - Variação espacial da concentração de titânio em águas superficiais da BRP.



O cobre apresenta comportamento diferenciado em relação aos demais elementos já discutidos. Verificaram-se teores mais elevados em microbacias situadas no médio Parauapebas (Figura 45), na parte central da bacia, e em outras alinhadas na direção leste-oeste na altura da cidade de Parauapebas, no domínio da Bacia Carajás, formada principalmente por rochas metavulcânicas máficas e formações ferríferas bandadas. Estas duas zonas com notável enriquecimento em cobre, correspondem aos cinturões Norte e Sul do Cobre (MORETO et al., 2015), sendo que ao longo do cinturão sul se situam a mina de cobre do Sossego e vários outros depósitos deste metal, entre os quais 118 e Cristalino. Apesar dos teores mais elevados ao longo destes cinturões, em nenhum local da bacia o conteúdo de cobre ultrapassa o limite máximo admitido pela WHO/1993 que é de 2000 $\mu\text{g/L}$.

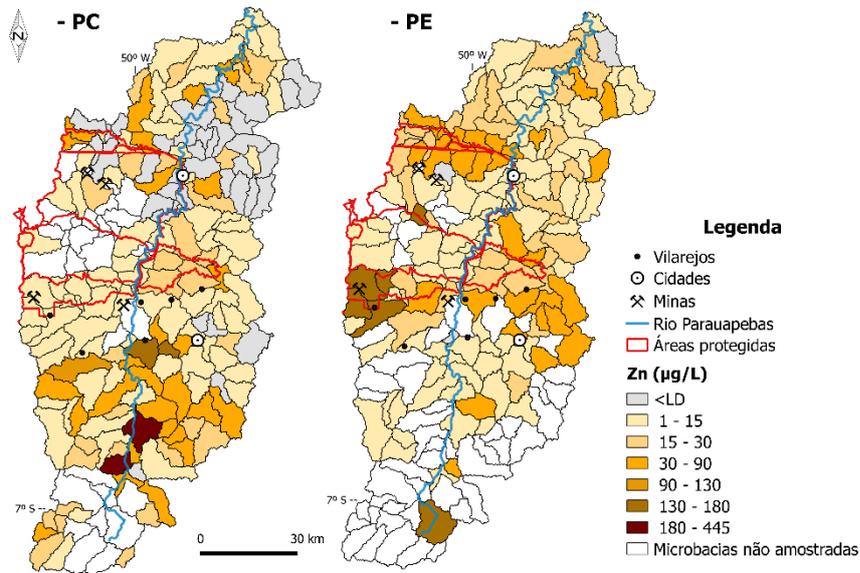
Figura 45 - Variação espacial da concentração de cobre em águas superficiais da BRP.



Nota: 2,0 mg/L = 2000 $\mu\text{g/L}$ é o limite máximo previsto na WHO/1993.

O zinco também exibe comportamento bastante particular, com teores médios próximos nos dois períodos, porém contrastantes em termos de distribuição espacial. No período chuvoso, observaram-se maiores concentrações no Domínio CC, enquanto que na parte superior da bacia, significativo número de microbacias revelaram conteúdos abaixo do LD. Já no período de estiagem, as concentrações foram superiores ao PC e as microbacias que apresentaram conteúdos mais elevados mostram-se alinhadas segundo os cinturões Norte e Sul do Cobre (Figura 46). Apenas duas microbacias no PC apresentaram concentrações acima ao VMP do CONAMA 357/05, o qual corresponde a 180 $\mu\text{g/L}$.

Figura 46 - Variação espacial da concentração de zinco em águas superficiais da BRP.



Nota: 0,18 mg/L = 180 µg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2.

O estanho mostra baixa concentração, com grande número de amostras revelando composição abaixo do LD (Figura 47). Sua concentração foi maior no período de estiagem e sua distribuição espacial é irregular, não ficando claros os fatores que a controlam. Vanádio e boro também apresentaram baixas concentrações, com predomínio de valores abaixo de LD nos dois períodos (Figuras 48 e 49). As amostras analisadas revelam teores de V e B muito inferiores ao valor máximo admitido por CONAMA 357/05, correspondente, respectivamente, a 100 µg/L e 500 µg/L.

Figura 47 - Variação espacial da concentração de estanho em águas superficiais da BRP.

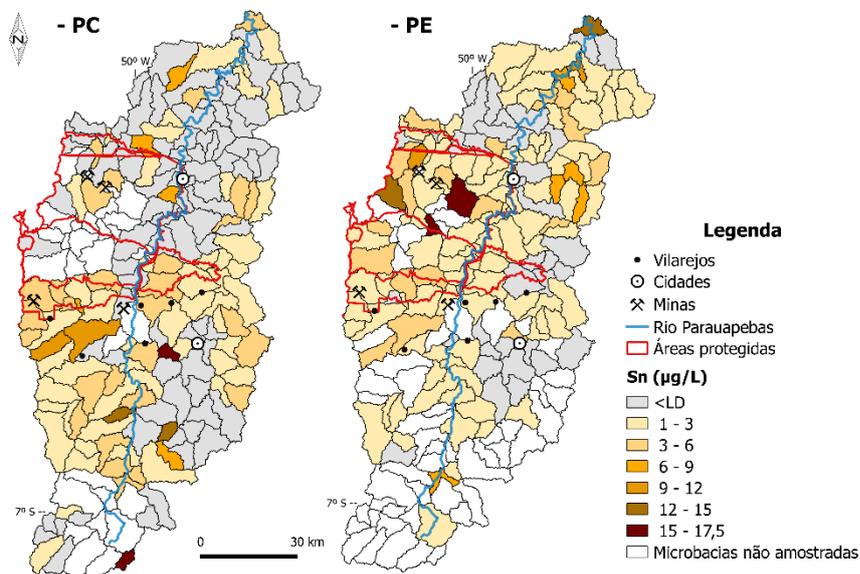
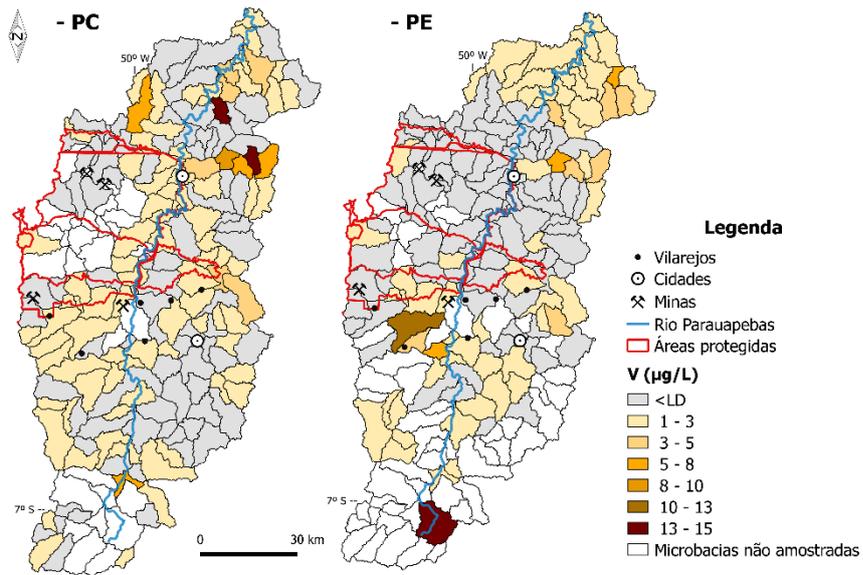
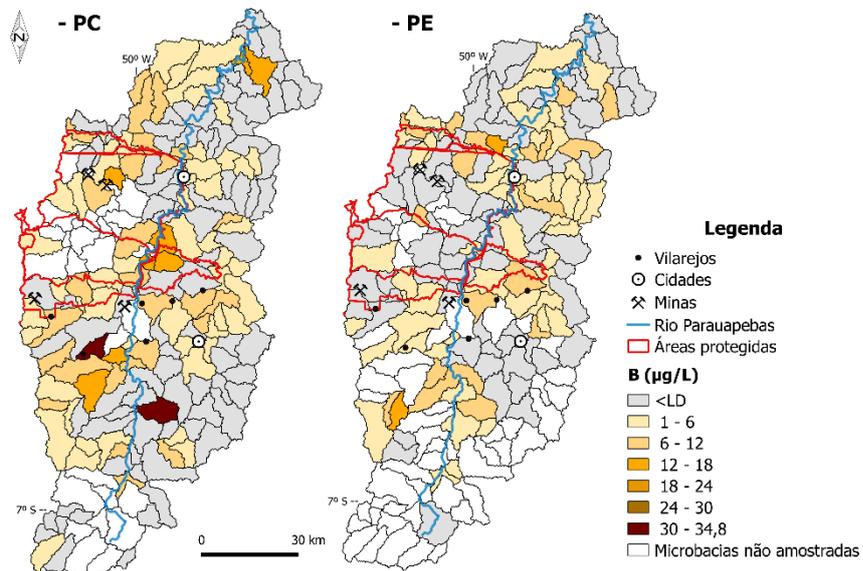


Figura 48 - Variação espacial da concentração de vanádio em águas superficiais da BRP.



Nota: 0,1 mg/L = 100 µg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2

Figura 49 - Variação espacial da concentração de boro em águas superficiais da BRP.



Nota: 0,5 mg/L = 500 µg/L é o limite máximo previsto na resolução CONAMA 357/05 - classe 2

6.4 ESTIMATIVA DE *BASELINE* GEOQUÍMICO DE METAIS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO RIO PARAUAPEBAS

Na Tabela 14, são ilustrados os resultados obtidos com as diferentes técnicas estatísticas aplicadas para definir os valores de *baseline*. Além disso, constam os conteúdos máximos permitidos para os diferentes elementos, conforme estabelecido por CONAMA 357/05 – classe 2 e WHO/1993. Para os elementos V, B, Co, Cr e Ni, em ambos os períodos, Sn no período chuvoso e Rb no de estiagem, que apresentaram % <LD superior a 47%, não foi possível aplicar as técnicas interativa 2σ e função de distribuição calculada em razão de suas limitações (Tabela 14). Para a técnica mediana + 2MAD, também se observou restrições para os elementos Co, Cr e Ni em ambos os períodos, Rb, V e B no período de estiagem e Sr no período chuvoso (Tabela 14). No caso da técnica TIF, o valor de *baseline* superior ficou superestimado e não pôde ser utilizado para os elementos Sr, Zn, Rb e B nos dois períodos, para Ti e Sn no chuvoso e para Cr no de estiagem (Tabela 14).

Das técnicas de mais ampla aplicação na literatura atual, a técnica interativa 2σ foi a que apresentou menores valores de *baseline*, sendo observados valores próximos a função de distribuição calculada, ao percentil 75 e a curva de frequência acumulada, para muitos elementos, entre os quais podem ser destacados Ba, Fe, Ti, Rb, Cu e Sn (Tabela 14). Já a técnica TIF forneceu os maiores valores de *baseline*, os quais se aproximam dos valores correspondentes ao percentil 98 ou são superiores a eles. A técnica mediana + 2MAD forneceu valores inferiores ou situados entre aqueles dos percentis 95 e 98 ou, mais raramente, ligeiramente superiores a ambos.

Ao comparar os dois períodos, percebe-se amplas variações nos valores superiores de *baseline*, observando concentrações mais elevadas para a maioria dos elementos, no período chuvoso. Fe, Al, Sr, Ti, Rb e Ni fornecem valores mais elevados no período chuvoso em todas as técnicas aplicadas (Tabela 14). Cu, B, V, Co e Cr apresentam comportamento similar, porém uma ou mais técnicas indicaram valores mais elevados no período de estiagem. Ba e Mn mostram, dependendo da técnica aplicada, valores mais elevados em um ou outro período. Finalmente, Zn e Sn mostram dominância de valores de *baseline* mais elevados no período de estiagem (Figura 14), coerentemente com o fato de apresentarem teores mais elevados também neste período.

Dentre os valores de *baseline* superiores calculados para os 15 metais considerados, em todas as técnicas aplicadas, o *baseline* do Mn ultrapassa o limite máximo do CONAMA

357/05 e se verifica o mesmo para os *baselines* de Fe e Al em relação aos valores estabelecidos por WHO/1993.

A curva de frequência acumulada juntamente com os valores de *baseline* indicados pelas técnicas Técnica interativa, Função de distribuição, mediana + 2 MAD, P 98 e *Tukey Inner Fences* foram representadas em diagramas de frequência cumulativa para os 15 elementos-traço considerados, sendo ilustradas para os elementos Fe, Cu e Zn (Figuras 50, 51 e 52). Os elementos que apresentaram coeficiente de variação superior a 100%, que são a grande maioria, como é típico de dados geoquímicos (Tabela 14), foram plotados em escala logarítmica (REIMANN; FILZMOSER; GARRETT, 2015).

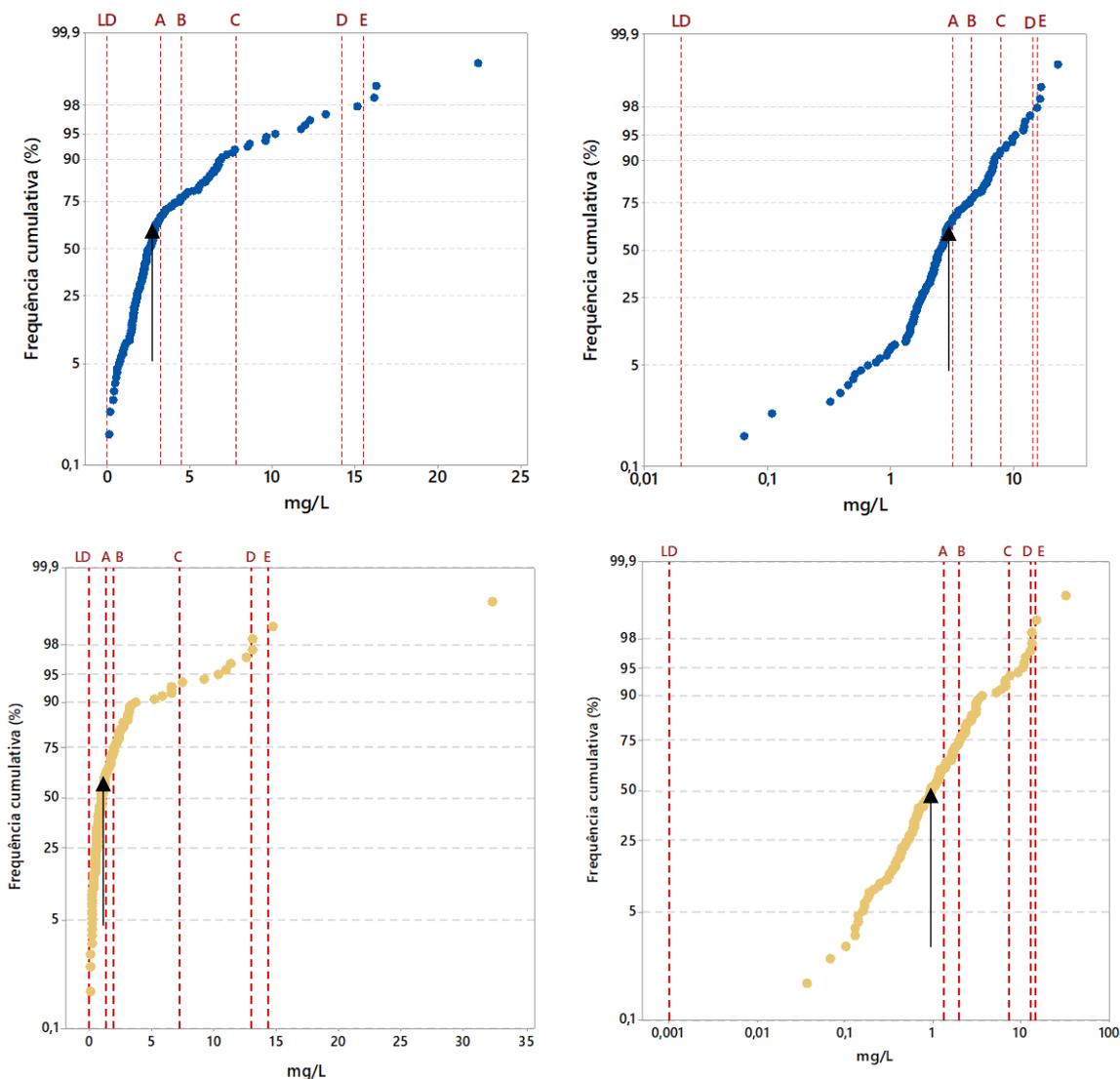
Tabela 14 – Limite superior das concentrações de *baseline* para 15 metais no período chuvoso e de estiagem na bacia do rio Parauapebas.

Elemento	Unidade	%<LD	CV (%)	CFA	P75	I2 σ	FD	M_MAD	P95	P98	TIF	VMP
Ba_PC	μg/L	0	73,6	104,0	106,0	106,2	125,9	204,2	235,3	308,3	323,6	700*
Ba_PE		0	124,6	96,0	101,8	64,8	94,6	316,2	256,8	394,5	595,7	
Fe_PC	mg/L	0	91,2	3,7	4,2	3,2	4,5	7,8	9,7	14,2	15,5	0,3**
Fe_PE		0	174,5	3,5	2,0	1,3	2,0	6,9	9,7	13,0	14,3	
Mn_PC	mg/L	0	318,9	0,4	0,3	0,2	0,3	1,0	1,7	3,4	1,9	0,1*
Mn_PE		0	217,6	0,3	0,3	0,1	0,2	0,7	2,6	4,1	6,5	
Al_PC	mg/L	0	119,9	0,26	0,3	0,2	0,4	1,0	0,7	1,4	1,8	0,2**
Al_PE		0	183,6	0,13	0,1	0,1	0,15	0,4	0,4	0,7	0,8	
Sr_PC	μg/L	0	107,2	96,6	125,5	98,2	130,6	-	299,6	378,4	-	NP
Sr_PE		0,7	131,8	25,0	71,0	34,4	59,9	275,4	248,2	310,8	-	
Ti_PC	μg/L	5,1	102,0	8,8	11,8	7,5	11,5	38,9	25,3	29,5	-	NP
Ti_PE		6,5	90,4	5,7	5,4	5,3	6,5	13,5	11,8	15,2	21,38	
Zn_PC	μg/L	21	236,8	20,0	22,8	4,1	20,5	218,8	52,9	127,8	-	180*
Zn_PE		2	131,3	9,0	28,9	10,7	25,9	134,9	56,8	150,7	-	
Rb_PC	μg/L	23,3	83,2	13,1	13,6	13,7	15,4	38,9	24,4	28,1	-	NP
Rb_PE		47,7	101,4	7,7	7,9	-	-	-	14,6	16,5	-	
Cu_PC	μg/L	32,4	282,3	4,3	3,7	2,2	3,9	28,84	10,9	28,5	75,0	2000**
Cu_PE		24,8	100,3	4,1	2,7	2,9	3,2	8,13	7,1	9,6	-	
V_PC	μg/L	47,2	123,3	2,0	1,8	-	-	9,55	4,5	6,6	12,6	100*
V_PE		58,2	149,4	1,8	1,4	-	-	-	4,2	6,8	7,1	
B_PC	μg/L	48,3	145,5	5,0	4,8	-	-	13,18	12,5	15,4	-	500*
B_PE		52,3	122,2	6,4	3,5	-	-	-	9,1	11,8	-	
Sn_PC	μg/L	48,9	122,5	3,3	2,9	-	-	9,55	6,7	11,5	-	NP
Sn_PE		24,2	114,3	4,6	2,5	2,9	3,5	5,50	7,0	12,4	9,0	
Co_PC	μg/L	56,8	187,4	3,1	1,8	-	-	-	6,1	10,2	11,9	50*
Co_PE		68	205,6	1,3	1,2	-	-	-	5,4	11,0	4,7	
Cr_PC	μg/L	64,2	150,3	1,5	1,4	-	-	-	4,1	9,0	6,3	50*
Cr_PE		78,4	110,8	4,0	-	-	-	-	3,2	3,8	-	

Ni_PC	µg/L	64,2	157,9	2,9	1,7	-	-	-	4,3	7,7	10,0	25*
Ni_PE		73,2	154,2	2,7	1,1	-	-	-	5,0	7,9	3,5	

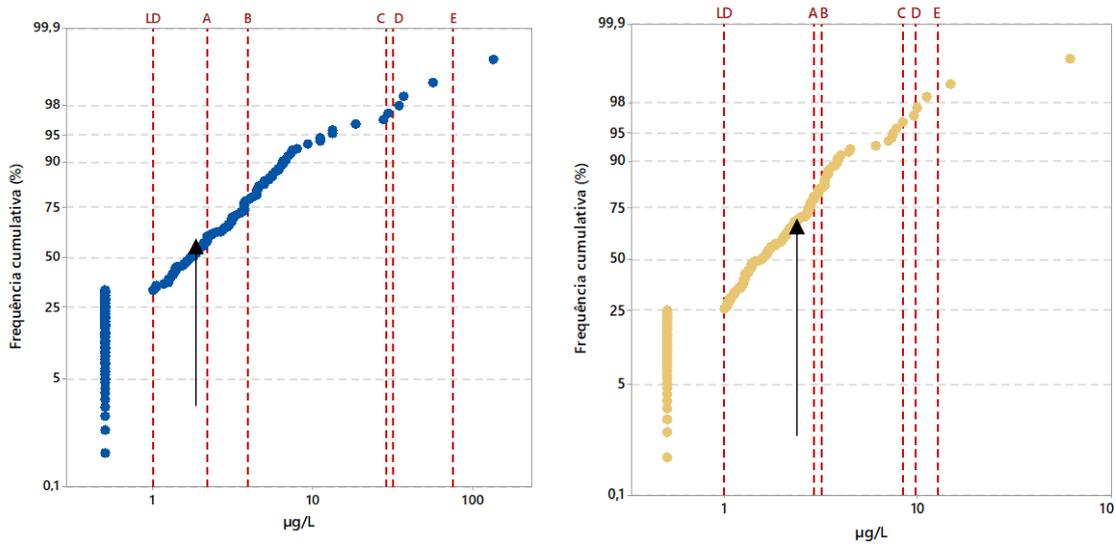
Nota: Limite de detecção – LD; CV – Coeficiente de variação; CFA – Curva de frequência acumulada; P75 – Percentil 75; I2σ – Técnica interativa 2σ; FD – Função de distribuição; M_MAD - mediana + 2MAD; P95 – Percentil 95; P98 – Percentil 98; TIF - *Tukey inner fence*; VMP – Valor máximo permitido; NP – Não possui VMP; * Conama 357/05 Classe 2; ** *World Health Organization/1993*; (-) Elementos para os quais não puderam ser calculados valores superiores de *baseline*.

Figura 50 – Valores superiores de *baseline* para Fe no período chuvoso (cor azul) e de estiagem (cor bege) na BRP (Os gráficos da esquerda estão em escala real e os da direita em logarítmica).



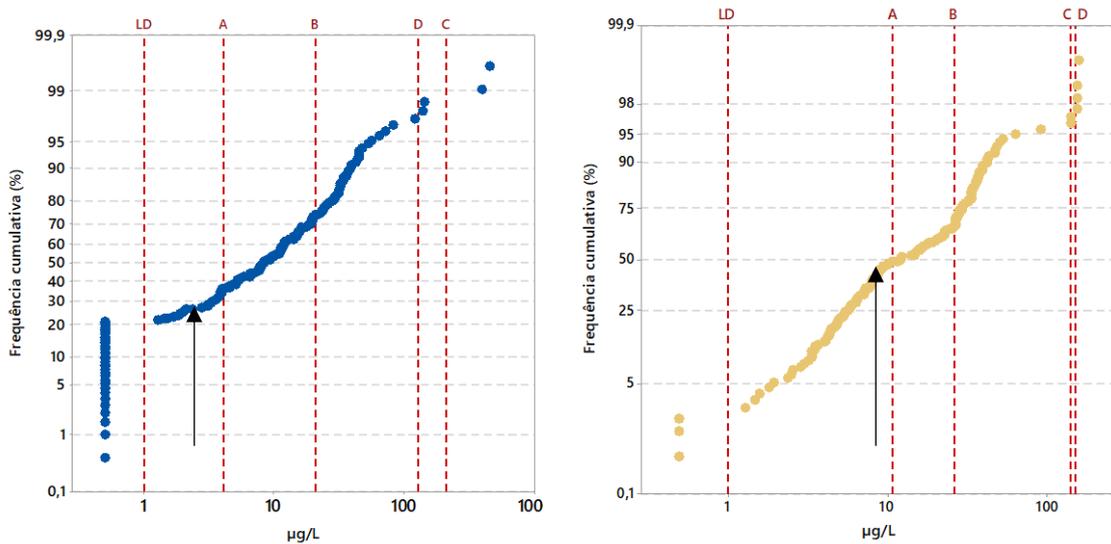
Nota: LD – Limite de detecção; A – Técnica interativa, B – Função de distribuição, C – Mediana + 2 MAD, D - P 98; E - *Tukey Inner Fences*. A seta indica qual o ponto de inflexão, representando a curva de frequência acumulada.

Figura 51 - Valores superiores de *baseline* para Cu no período chuvoso (cor azul) e de estiagem (cor bege) na BRP.



Nota: LD – Limite de detecção; A – Técnica interativa, B – Função de distribuição, C – Mediana + 2 MAD, D - P 98; E - Tukey Inner Fences. A seta indica qual o ponto de inflexão, representando a curva de frequência acumulada. Os dois gráficos estão representados em escala logarítmica.

Figura 52 - Valores superiores de *baseline* para Zn no período chuvoso (cor azul) e de estiagem (cor bege) na BRP.



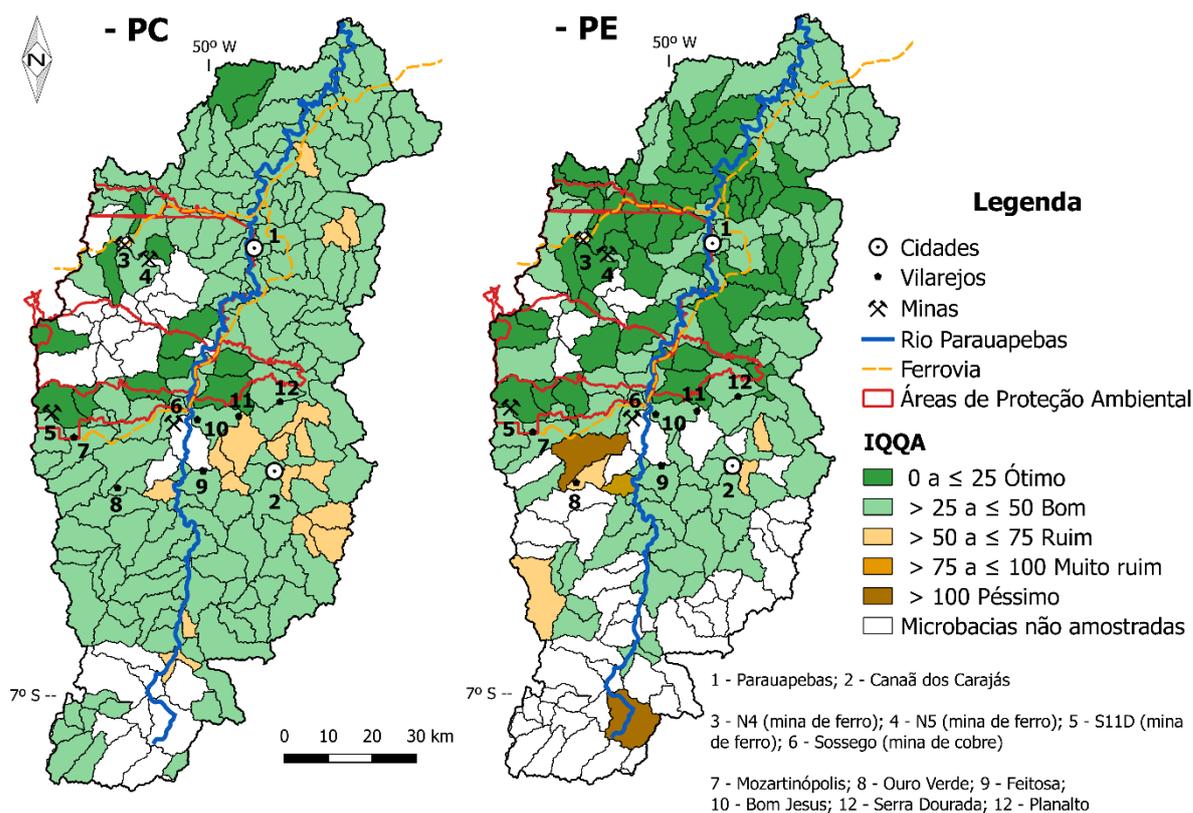
Nota: LD – Limite de detecção; A – Técnica interativa, B – Função de distribuição, C – Mediana + 2 MAD, D - P 98; E - Tukey Inner Fences. A seta indica qual o ponto de inflexão, representando a curva de frequência acumulada. Os dois gráficos estão representados em escala logarítmica.

6.5 ÍNDICE DE QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA – IQQA

Para o cálculo do IQQA, embora não contemple todos os parâmetros exigidos pela ANA (2005), entre eles os parâmetros biológicos, como coliformes termotolerantes e demanda bioquímica de oxigênio, considera-se que o IQQA proposto tenha condições de permitir uma avaliação satisfatória da qualidade da água da bacia.

Na figura 53 temos a representação do IQQA para cada microbacia amostrada na bacia do rio Parauapebas. A maior parte das microbacias apresentaram índice de qualidade classificado como ótimo ($0 \leq \text{IQQA} \leq 25$) a bom ($25 < \text{IQQA} \leq 50$), em ambos os períodos. Além disso, foram observadas mudanças de qualidade entre os dois períodos. No período chuvoso, 17 microbacias apresentam qualidade ruim ($50 < \text{IQQA} \leq 75$). Já no período de estiagem, 4 microbacias foram enquadradas com qualidade ruim, apenas uma com qualidade muito ruim e outras duas com qualidade péssima. As microbacias situadas no alto Parauapebas foram as quais apresentaram IQQA mais elevado ao comparar com os demais trechos da bacia.

Figura 53 – Variação espacial do Índice de Qualidade Química da Água na BRP.



7 DISCUSSÕES

7.1 INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES SAZONAIS NA GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Os resultados do levantamento geoquímico revelaram influência das variações sazonais na bacia do rio Parauapebas – BRP. Embora as concentrações da maioria dos elementos tenham sido inferiores aos respectivos valores máximos estipulados por CONAMA 357/05 e WHO/1993, para a maioria deles, houve distinções entre um período e outro nos valores de concentrações. Para o OD, foram observados valores abaixo do mínimo estipulado pelo CONAMA (5mg/L), em maior quantidade, durante o PC (Figura 21). Possivelmente, isto se deve a maior quantidade de matéria orgânica conduzida para o corpo d'água em função do intenso fluxo superficial presente na região durante o período chuvoso. O aumento da matéria orgânica nas águas superficiais provocaria um consumo maior de OD pelas bactérias, resultando na liberação de gases (CHAPMAN, 1996; MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008), e causaria a diminuição dos valores de OD. Além disso, a correlação negativa moderada entre OD e STD ($r = -0,42$), demonstra que o material carregado durante o PC, contribui para menores valores de OD. Condutividade elétrica e STD revelaram tendência a valores mais elevados no período chuvoso (Tabela 10 e Figura 12), com notável concentração nos dois períodos no alto Parauapebas (Figuras 19 e 20), que corresponde à região mais desmatada da bacia (SOUZA-FILHO et al., 2016). As concentrações mais elevadas no período chuvoso estão fortemente relacionadas ao regime intenso de precipitação, que ocasiona maior lixiviação e fluxo superficial com transporte de materiais para as drenagens, principalmente em áreas desflorestadas (PANDAY et al., 2015; LEVY et al., 2018; NÓBREGA et al., 2018). Nas microbacias situadas nas adjacências das cidades de Parauapebas e Canaã dos Carajás, também foram observados valores mais elevados destes parâmetros, possivelmente relacionados a despejos de efluentes domésticos, reflexo da ausência de tratamento de esgoto.

Os valores de Eh foram integralmente positivos e em 70% das amostras, em ambos os períodos, exibiram valores acima de 300 mV, indicando ambientes de condições oxidantes (JARDIM, 2014). No período chuvoso, no baixo curso e preferencialmente na margem esquerda do Parauapebas, em áreas situadas em parte nos domínios da Flona de Carajás, observaram-se diversas microbacias com valores acima de 500mV (Figura 23). No período de estiagem, valores de mesma ordem são mais restritos e situam-se no médio Parauapebas. Possivelmente, tais valores mais elevados estejam relacionados à degradação aeróbia, processo que necessita de concentrações mais elevadas de oxigênio dissolvido (FLYHAMMAR;

HAKANSSON, 1999). O fato de OD e Eh associarem-se em um mesmo grupo durante a estação chuvosa, favorece esta hipótese (Figura 17). Porém, a correlação entre eles não chega a moderada (PC- 0,38 e PE- 0,28, Figura 16), revelando que outros fatores devem também influenciar o Eh. Embora esse parâmetro seja importante, os resultados devem ser avaliados com critério. Segundo Jardim (2014), em ambientes complexos como os sistemas aquáticos naturais, nem sempre a cinética dos íons permite que as condições de equilíbrio termodinâmico sejam estabelecidas.

Valores mais elevados de turbidez foram observados durante o período chuvoso (Tabela 10), e situam-se preferencialmente no norte da região de estudo (Figura 25). Possivelmente, o aumento da turbidez esteja relacionado com a maior precipitação e crescimento acentuado do fluxo superficial, observado no baixo Parauapebas (GAT, 2007), propiciando maior volume de material sólido ou em suspensão carregado para os rios. Além disso, o desmatamento intenso na região (SOUZA-FILHO et al., 2016), também tem provocado o aumento do fluxo superficial (PONTES et al., 2019), assim como observado nas bacias dos rios Vermelho e Sororó (SALOMÃO et al., 2018) e em outras áreas da região amazônica (PANDAY et al., 2015; LEVY et al., 2018; NÓBREGA et al., 2018). No período de estiagem, duas microbacias apresentaram turbidez acima do limite do CONAMA, e, em uma delas, o valor encontrado foi superior ao do PC na mesma microbacia. Possíveis explicações para isso seriam atividades locais, como interferências humanas ou animais (pecuária) durante esse período, ou a ocorrência de chuvas repentinas durante ou imediatamente antes da coleta dessas amostras, o que poderia causar a desagregação de sedimentos ou a colocação em suspensão de materiais particulados. Porém, cabe destacar que isto não é regra geral, pois não foi verificado na maior parte da bacia, e, nem tampouco, em outras sub-bacias da BHRI (SALOMÃO et al., 2018; SILVA, 2019).

Em relação ao pH, não foram observadas diferenças significativas entre os dois períodos. Mais de 89 % das amostras, nos dois períodos, exibiram valores de pH no intervalo de 6 a 8 (Figura 10). Em cinco microbacias no PC, verificaram-se valores abaixo de 6, estando três delas situadas nas proximidades da cidade de Parauapebas (Figura 22), possivelmente indicando a emissão de poluentes, talvez relacionada com despejo de efluentes não tratados, resultando na diminuição do pH. As outras duas microbacias, uma situada a sul da mina N5, em área de floresta, não parecem estar sofrendo influência da mina, pois o ponto de amostragem situa-se a montante. Já a outra microbacia, está situada na APA do Igarapé Gelado e no ponto em que foi coletada a amostra, a água apresentou características barrentas e havia apenas vegetação rasteira (gramíneas), sugerindo a possibilidade de maior aporte de matéria orgânica

por fluxo superficial, alterando a química da água e causando menor valor de pH. Já no período de estiagem, outras sete microbacias (Figura 22), todas situadas em áreas de proteção ambiental, apresentaram $\text{pH} < 6$, sendo uma delas a mesma já citada, situada na APA do Igarapé Gelado, e as outras seis, quatro na Flona de Carajás próximo as minas N4 e N5 e duas no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos. Nestas seis amostras, o pH variou de 5,18 a 5,91. Teixeira (2016) também observou nas regiões de N3 e N4WSul, valores de pH inferiores a seis durante o PE, mostrando que isto se verifica igualmente em outras áreas da bacia. O pH mais baixo neste período é devido à decomposição bacteriana de compostos orgânicos nos sedimentos, o que resulta na produção de CO_2 , que forma ácido carbônico e vários outros ácidos orgânicos, o que causa aumento na acidez (WETZEL, 1983).

Alguns componentes maiores, exemplificados por Al, Ca e K (Figura 14) assim como alguns elementos-traço (Ba, Rb, Sr, Ti, V; Figura 15) mostraram concentrações ligeiramente superiores no período chuvoso, explicáveis principalmente pelo fato de lixiviação e carreamento de partículas serem intensificados nesse período (LARK; BEARCOCK; ANDER, 2016).

O Fe é significativamente enriquecido no período chuvoso (Figura 35), enquanto o Mn é pouco enriquecido nesse período (Figura 36). No entanto, a correlação positiva entre Fe e Mn no período chuvoso indica que o escoamento superficial traz partículas de Fe-Mn associados para os corpos d'água. Mas esse não deve ser o fator dominante, pois a correlação entre Fe e Mn é apenas moderada (Figura 16), o que indica a atuação de processo de transporte adicional e/ou de uma associação iônica diferente de Fe e Mn na água. Por outro lado, a correlação negativa moderada entre OD e Fe ($r = -0,42$) no período chuvoso e moderada negativa entre OD e Mn ($r = -0,46$) no de estiagem, indicam que a dissolução redutiva de óxidos de Fe e Mn pode ser um fator adicional que influencia as concentrações de Fe e Mn.

7.2 INFLUÊNCIA DE AMBIENTE GEOLÓGICO E LITOLOGIA VS. EFEITOS ANTRÓPICOS NA GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS

Na bacia do rio Parauapebas, foi observada significativa influência do ambiente geológico e litologias locais nas concentrações de vários elementos-traço. As concentrações de cobre em várias microbacias, em ambos os períodos, se situaram abaixo do LD. Entretanto, as microbacias que apresentaram valores mais elevados, concentraram-se na parte central da bacia, e no baixo Parauapebas, alinhadas na direção leste-oeste na altura da cidade de Parauapebas (Figura 45), nos domínios da Bacia Carajás, formada principalmente por rochas metavulcânicas máficas e formações ferríferas bandadas. Estas duas zonas com notável enriquecimento em cobre, correspondem aos cinturões Norte e Sul do Cobre (MONTEIRO et al., 2008; MORETO et al., 2015), sendo que ao longo do cinturão sul se situam a mina de cobre do Sossego e vários outros depósitos deste metal, entre os quais 118 e Cristalino. Conclui-se que o enriquecimento em cobre nas águas superficiais da bacia do rio Parauapebas, é controlado por características geológicas e metalogenéticas e não antropogênicas. Os conteúdos deste elemento se situam sempre abaixo de 2000 µg/L, VMP estipulado pela WHO/1993.

Cr e Ni possuem grande afinidade geoquímica e efetivamente apresentaram semelhanças em suas distribuições (Figuras 38 e 39) espaciais tendo isso sido observado nos agrupamentos nos dois períodos (Figura 17). Cr e Ni exibem correlação moderada nos dois períodos ($r=0,6$ – PC; $r=0,64$ – PE). As ocorrências destes elementos estão associadas, principalmente, a corpos máfico-ultramáficos e também a sequências máficas (ROSA, 2014; MARTINS et al., 2017), cujas ocorrências estão distribuídas nos três domínios geológicos. Ao norte da bacia, no Domínio Bacajá, durante o período de estiagem, várias microbacias na margem direita do rio Parauapebas, situadas em ocorrência de rochas máficas da Formação Tapirapé (Figura 5), apresentaram teores mais elevados. Outras microbacias, situadas na Bacia Carajás, onde dominam rochas vulcânicas metamáficas, também apresentaram valores significativos, em particular durante o período chuvoso (Figuras 38 e 39). Finalmente, na porção sul da bacia, nos domínios Canaã dos Carajás, Sapucaia e Rio Maria, há enriquecimento nestes elementos associado as rochas metamáficas-ultramáficas do *greenstone belt* de Sapucaia (SOUZA et al., 2015) e, nas adjacências da cidade de Canaã dos Carajás, onde se encontra o depósito mineral de Ni do vermelho, associado com corpo máfico-ultramáfico. Embora as áreas mencionadas tenham apresentado enriquecimento relativo nestes elementos, não foram verificadas concentrações acima do VMP do CONAMA 357 em nenhuma das microbacias amostradas.

O cobalto apresentou semelhança em sua distribuição espacial a Cr e Ni (Figura 40), embora com menor grau de correlação. Por outro lado, apesar dos seus baixos valores de concentração, o cobalto exibe correlação forte com Mn no PC ($r=0,72$) e moderada no PE ($r=0,65$). Também apresenta correlação moderada com o ferro ($r=0,63$ – PC; $r=0,56$ – PE). Durante o intemperismo, este elemento é considerado relativamente móvel em ambientes oxidantes, como é o caso da BRP. Além disso, apresenta forte afinidade com argilo-minerais e óxidos hidratados de Fe e Mn (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992).

Ca, Na, K, Sr, Ba e Rb são elementos que apresentam afinidade geoquímica entre si, sendo a correlação entre eles forte ou moderada em ambas as estações (Figura 16). As concentrações foram mais elevadas no alto e na porção superior do médio Parauapebas, região onde predominam rochas granitóides ricas em feldspatos (FEIO et al., 2013; DALL'AGNOL et al., 2017), indicando forte influência do ambiente geológico e litologias dominantes nas concentrações anômalas destes elementos. Como estes elementos de maior mobilidade, exibem maiores concentrações no alto Parauapebas, região mais desmatada, sugere-se que seu enriquecimento em águas superficiais esteja associado a fatores litológicos, somados a alterações antropogênicas relacionadas com mudanças no uso e cobertura do solo.

A distribuição espacial das microbacias com valores mais elevados de condutividade e de sólidos totais dissolvidos (Figuras 19 e 20) também reflete o contexto geológico da bacia, pois há notável coincidência no limite entre a zona de valores máximos e mínimos com aquele entre os domínios meso a neoarqueanos de Canaã dos Carajás e Sapucaia e a bacia neoarqueana de Carajás (Figura 5). Os primeiros são formados, predominantemente, por granitóides de associações TTG e granitos cálcio-alcálicos a subalcálicos, com xistos máficos subordinados, rochas estas ricas em elementos de alta mobilidade, como K^+ , Na^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} . Os íons citados, acrescidos de Sr e Ba, apresentam forte correlação com condutividade e STD (Figura 16), e ocorrem em um mesmo agrupamento nas duas estações (Figura 17).

Ca^{2+} , Na^+ , K^+ e Mg^{2+} apresentam alta mobilidade (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001) e, como são constituintes maiores nas rochas granitóides (Ca, Na e K) ou máficas (Mg e Ca), dominantes na região estudada, isso explica o fato de apresentarem concentrações acima do LD nas águas de todas as microbacias amostradas. Os minerais que contêm tais elementos são facilmente desestabilizados durante processos intempéricos em clima tropical, sendo os seus constituintes mais móveis remobilizados e transportados em solução, podendo, assim, serem encontrados em todas as drenagens.

As concentrações de cloreto presentes em águas naturais são derivadas da dissolução de sais (LIMA, 2013), como o cloreto de sódio (NaCl), ou a partir da lixiviação de minerais

ferromagnesianos (VON SPERLING; HELLER; NASCIMENTO, 1996; SANTOS 1997; PARRA, 2006). Entretanto, concentrações mais elevadas em águas superficiais, podem ser ocasionadas igualmente por despejos de efluentes domésticos e industriais (SEMAD, 2009). Na BRP, o cloreto apresenta teores mais elevados em microbacias situadas próximas a Canaã dos Carajás (Figura 29) e sua distribuição parece influenciada pelo Cinturão Sul do Cobre (MORETO et al., 2015), pois foi constatado enriquecimento em cloro em minerais máficos de zonas hidrotermalizadas de ampla distribuição no mesmo (MONTEIRO et al., 2008; DALL'AGNOL et al., 2017).

7.3 QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA NA BACIA E A INFLUÊNCIA DE USO E COBERTURA DO SOLO

O índice de qualidade química da água (IQQA) revelou que a qualidade das águas de mais de 90% das microbacias da BRP varia de ótima a boa, em ambos os períodos (Figura 53). Todas as microbacias situadas em áreas de preservação ambiental apresentaram qualidade variando de ótima a boa, refletindo a importância da preservação ambiental para a manutenção dos ecossistemas aquáticos. Além disso, várias microbacias situadas nas APA's e no médio e alto Parauapebas exibiram melhor IQQA durante o período de estiagem, modificando-se de bom para ótimo (Figura 53). Isto indica influência da variação sazonal como fator a contribuir nos valores de IQQA.

Ao comparar a variação do IQQA nos três grandes domínios (Figura 5a), percebe-se que nos domínios Rio Maria, Sapucaia e Canaã dos Carajás, nenhuma microbacia apresentou qualidade ótima para os dois períodos. Nestes domínios, que se aproximam da delimitação do trecho alto Parauapebas, há predominância da pecuária extensiva e, em menor escala, agricultura e também presença de pequenos vilarejos e da cidade de Canaã dos Carajás (Figura 1). Tal trecho, configura-se como o de maior ocupação antrópica, pois apresenta um desmatamento mais intenso comparando com os demais trechos da BRP (SOUZA-FILHO et al., 2016). Nele, durante o período chuvoso, 15 microbacias, situadas, em sua maioria, na margem direita do rio Parauapebas e próximo a cidade de Canaã dos Carajás, exibiram IQQA ruim (Figura 53). Já no período de estiagem, para as mesmas microbacias, este cenário mudou bastante, apenas duas delas, situadas próximo a Canaã dos Carajás, apresentando qualidade ruim. Porém, outras quatro localizadas na margem esquerda exibiram qualidade inferior quando comparadas com o período chuvoso. Além disso, outra microbacia, situada no sul da BRP, amostrada somente no PE, também apresentou qualidade ruim (Figura 53). No conjunto da

bacia, apenas 10,6% das microbacias amostradas não mostraram qualidade boa ou ótima durante o PE. Em duas delas, a turbidez foi superior ao VMP (Figura 25) e isto contribuiu para o aumento no valor do IQQA. Estas microbacias durante o PE, foram influenciadas por atividades locais, como interferências humanas (esgoto) e animais (pecuária), ou também precipitações intensas durante ou imediatamente antes da coleta dessas amostras (cf. detalhado no item 7.1). OD e pH são parâmetros para os quais foram atribuídos os maiores pesos. Entretanto, estes não apresentaram contribuições significativas no IQQA, tendo em vista suas distribuições semelhantes nos diferentes trechos da BRP (Figuras 21 e 22). Por outro lado, CE, STD e P_{total} foram os parâmetros que mais influenciaram o IQQA (cf. discutido para CE e STD nos itens 7.1 e 7.2), sendo evidente os valores mais elevados no alto Parauapebas (Figuras 19, 20 e 30). Estes, após OD e pH, são os parâmetros para os quais foram atribuídos pesos mais elevados e foram os principais a contribuir para o aumento dos valores de IQQA. Conclui-se que no alto Parauapebas, embora as contribuições geogênicas sejam mais expressivas (cf. item 7.2), contribuições antropogênicas associadas ao uso e ocupação do solo, como a remoção da floresta tropical, também foram importantes e se somaram aos efeitos geogênicos.

Foi verificado em algumas microbacias a presença de oxigênio dissolvido acima de 6,8 mg/L. Estas microbacias estão situadas no médio e baixo Parauapebas, e, em grande parte, em áreas protegidas, como Flona de Carajás, APA do Gelado e Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, em áreas cobertas por floresta tropical ou onde há fragmentos remanescentes de floresta ou vegetação secundária (Figura 24). Tal fato, demonstra a influência da cobertura de floresta e da presença de mata ciliar, possivelmente, servindo como um tampão térmico (FRITZSONS et al., 2005; DUGDALE et al., 2018), contribuindo para a manutenção das concentrações de oxigênio dissolvido nas drenagens, por aumentar a capacidade de retenção da radiação solar e manter a temperatura das drenagens, diminuindo, assim, a possibilidade de dissociação de gases, causada pelo aumento de temperatura (SILVA et al, 2017).

Para o P_{total} , valores mais elevados foram observados durante o PC. Neste período, 37 microbacias apresentaram concentrações acima do VMP do CONAMA 357 e outras 14 durante o PE. Em sua maioria, estão situadas no trecho do alto Parauapebas, região mais desmatada, conforme já discutido. Neste sentido, sugere-se para estas microbacias que estes valores mais elevados estejam relacionados ao crescimento do fluxo superficial proporcionado pelos regimes intensos de chuvas durante o PC, que favorecem o transporte de partículas para as drenagens. Uma evidência disso é a correlação positiva moderada a forte entre P_{total} e os metais alcalinos e alcalinos terrosos (Figura 16). Além destas mesmas correlações, observa-se durante o PE uma correlação positiva forte entre P_{total} e turbidez ($r= 0,71$). Salomão et al. (2018) também

observaram valores de P_{total} acima do VMP nas bacias dos rios Vermelho e Sororó, sobretudo no período chuvoso e principalmente na bacia do rio Sororó, onde aproximadamente 50% dos valores se situaram acima do VMP (cf. Salomão et al., 2018, sua Figura 3, p. 188). A origem destes valores pode estar relacionada às atividades de pecuária (esterco bovino), ao despejo de efluentes domésticos não tratados e, em menor escala, ao uso de fertilizantes (CARPENTER et al., 1998), comumente utilizados na agricultura. Contudo, não se pode ser conclusivo em relação ao último ponto, pois sabe-se que este tipo de atividade não é marcante na BRP.

Dentre os parâmetros em estudo, quase todos estiveram de acordo com os limites da resolução CONAMA 357/05 e WHO/1993, com ressalva para os elementos Fe e Mn, os quais ultrapassaram em quase todas as amostras o limite máximo das resoluções. Salomão et al. (2018) também observaram valores elevados para estes elementos nas bacias dos rios Vermelho e Sororó, situadas na porção leste da BHRI (Figura 2b).

Teores elevados de Fe e Mn nas águas superficiais são a assinatura geoquímica dominante na BRP, sendo observados pesos de moderado a forte nos dois períodos (Tabela 10), e este quadro se mantém em outras sub-bacias da BHRI (SALOMÃO et al., 2018; SILVA, 2019), embora o valor máximo da sub-bacia do médio Itacaiúnas seja bem inferior aos das demais sub-bacias da BHRI. Ao se comparar com bacias de outros estados brasileiros (Tabela 15), constata-se superposição de valores entre a bacia do rio Corumbataí e a do médio Itacaiúnas, enquanto que a bacia do rio Santa Bárbara em Minas Gerais apresenta conteúdos de Fe e Mn muito inferiores aos das sub-bacias da BHRI. Na Amazônia, o ambiente supergênico caracteriza-se por acentuado enriquecimento de ferro e manganês e isto se reflete nos ambientes aquáticos, pois o desmatamento tende a favorecer níveis mais elevados de ferro e manganês nas águas superficiais (SALOMÃO et al., 2018). Nas áreas com vegetação preservada, observaram-se valores inferiores para o Fe ao comparar com as áreas desmatadas. Teixeira (2016) obteve valores significativos de Fe em águas superficiais situadas em áreas consideradas pristinas, localizadas nas adjacências dos corpos minerais N3 e N4WSul em Carajás. Porém, ao comparar com o restante da bacia, os conteúdos de Fe são bem inferiores. Tais valores de Fe foram obtidos em áreas protegidas, porém em áreas próximas das minas de ferro de N4 e N5, em local onde dominam as formações Carajás, constituída por formações ferríferas bandadas (Figura 5a), e Parauapebas, formadas por rochas metavulcânicas ricas em ferro. Por isso, observa-se que os valores elevados de Fe contidos nas águas superficiais da BRP, não estão relacionados a condições geológicas, nem à presença localizada de minas de Fe, tendo em vista que esta feição tem ampla distribuição em diferentes sub-bacias da BHRI, situadas em contextos geológicos muito contrastantes (SALOMÃO et al., 2018; SILVA, 2019).

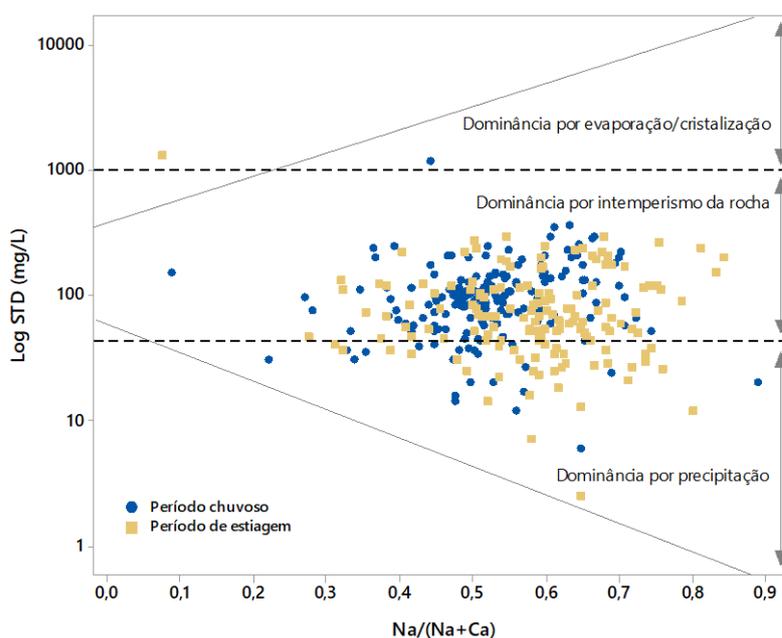
Tabela 15 – Concentrações de ferro manganês total nas águas de sub-bacias da bacia do rio Itacaiúnas e em bacias de outros estados brasileiros.

CONCENTRAÇÃO (mg/L)		LOCAL/SITES	ESTADO	REFERÊNCIA
Fe	Mn			
0,1 a 32,3	0,002 a 18	Bacia do rio Parauapebas	PA	Quaresma (2019)
0,03 a 0,8	0,005 a 0,4	Bacia hidrográfica do rio Santa Bárbara.	MG	Marques (2016)
0,13 a 5,81	0,04 a 0,85	Sub-bacia do médio rio Itacaiúnas	PA	Silva (2019)
0,36 a 19,1	0,03 a 9,1	Bacias dos rios Vermelho e Sororó.	PA	Salomão et al. (2018)
0,15 a 5,5	0,03 a 0,2	Rio Corumbataí	SP	Falqueto (2008)

Nota: PA – Pará; MG – Minas Gerais; SP – São Paulo.

O gráfico de *Gibbs* (Figura 54) permite avaliar os principais processos que controlam a hidrogeoquímica da BRP. Dentre os considerados, o gráfico indica predomínio de processos de intemperismo de rochas. Com influência subordinada de precipitação. Assumindo que o intemperismo de rochas é o principal processo que controla a hidrogeoquímica da BRP. A partir das correlações positivas, moderadas a fortes entre os componentes maiores Ca, Na, Mg e K (Figura 16) indicam que o intemperismo de minerais silicatados é o principal fator que controla a química da água da BRP. Este tipo de intemperismo é fonte de HCO_3^- que adsorve íons H^+ da água e contribui para o aumento do pH. Uma evidência disso é a correlação positiva entre Ca, Mg, Na e K e pH (Figura 16).

Figura 54 - Diagrama $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ vs. $\log \text{STD}$ (Gráfico de *Gibbs*) para as águas superficiais da BRP.



7.4 VALORES DE *BASELINE* GEOQUÍMICO PARA METAIS NA BACIA DO RIO PARAUPEBAS

Na literatura são propostas diferentes metodologias para a determinação de valores de *baseline* (MATSCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000; REIMANN et al., 2005; GALUSKA, 2007a; NAKIĆ; POSAVEC; BACĀANI, 2007; MRVIĆ et al., 2011) e se percebe que não há unanimidade quanto ao método mais indicado para estimar estes valores. Por isso, vários autores têm utilizado múltiplas metodologias e confrontado criticamente os diferentes valores de *baseline* obtidos (DÍEZ et a., 2007; MRVIĆ et al., 2011; SALOMÃO et al., 2018). Além disso, a escolha da técnica mais apropriada a ser utilizada para a determinação de valores de *baseline* requer o conhecimento prévio de características locais, tais como geologia, nível de antropização e presença ou não de áreas preservadas.

Os valores de *baseline* dos diferentes elementos nas águas superficiais da bacia do rio Parauapebas, exibiram amplas variações considerando as várias técnicas utilizadas (Tabela 14). De modo geral, pode-se definir dois patamares: o primeiro seria aquele que corresponde a um *baseline* mais conservador, representado pelos valores fornecidos por Curva de frequência acumulada, Percentil 75, Técnica interativa 2σ e Função de distribuição; o segundo, apresenta valores mais elevados, que podem ser vistos como sendo representativos de um *baseline* ambiental, o qual compreende fontes naturais mais fontes antropogênicas difusas, e que seria definido pelos métodos mediana + 2MAD, Percentil 95, Percentil 98 e *Tukey inner fence* (Tabela 14). Além disso, como a maioria dos metais apresentou variações de concentração nos dois períodos, foi necessário estabelecer valores de *baseline* distintos para cada um dos períodos.

Do ponto de vista de conservação ambiental, a técnica interativa 2σ e a função de distribuição seriam as mais apropriadas pois removem um número significativo de *outliers* e exibem resultados mais realistas (MATSCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000; NAKIĆ; POSAVEC; BACĀANI, 2007). Por isso, para a bacia do rio Parauapebas, os resultados destas duas técnicas foram considerados como *baselines* superiores conservadores (BSC), o que seria equivalente ao *baseline* natural. Entretanto, para os elementos-traço como V, B, Co, Cr e Ni nos dois períodos, e Rb no de estiagem e Sn no chuvoso, não foi possível estabelecer valores de BSC, pois apresentaram cerca de 50% de valores abaixo do LD (Tabela 14), o que inviabiliza a aplicação destas duas técnicas (NAKIĆ; POSAVEC; BACĀANI, 2007). Para tais elementos, foram adotados como BSC, os valores indicados pela curva de frequência acumulada – CFA.

Ba, Fe, Mn e Al, foram os únicos elementos que apresentaram valores superiores de *baseline* para todas as técnicas estatísticas aplicadas (Tabela 14), reflexo do fato de apresentarem totalidade de amostras com conteúdos acima do LD. De forma genérica, como já observado para a maioria dos elementos, os valores de *baseline* superiores foram maiores durante o período chuvoso, resultado da influência da variação sazonal. Apenas Zn e Sn mostraram dominância de valores de *baseline* mais elevados no período de estiagem (Tabela 14), coerentemente com o fato de apresentarem teores mais elevados também neste período.

Em algumas regiões, onde verificou-se influência dominante da geologia nas concentrações de alguns elementos, tais como Ni, Cu e Cr, é necessária bastante atenção, pois podem ser obtidos valores de *baseline* não condizentes com a realidade de outras áreas na bacia do rio Parauapebas, onde predominam valores abaixo do LD. Por isso, deve-se considerar caso a caso. Além disso, não se pode considerar apenas valores de BSC, pois, conforme já observado, a BRP foi intensamente desmatada (SOUZA-FILHO et al., 2016) e, portanto, certamente foi influenciada por fatores antrópicos, devendo ser levada em conta a possível contribuição destes fatores, principalmente em áreas urbanizadas ou totalmente desmatadas. Dentro desta ótica, valores mais realistas podem resultar das técnicas mediana + 2MAD, Percentil 95, Percentil 98 e *Tukey inner fence*. Tais técnicas forneceriam valores representativos da soma das contribuições naturais mais as contribuições antropogênicas difusas, sendo os valores resultantes compreendidos como *baseline* superior ambiental (BSA) (JARVA, 2016). Consequentemente, no contexto da BRP, devem ser considerados não somente os valores de BSC, mas também os de BSA, tendo em vista a realidade desta bacia. Entretanto, dentre as técnicas mencionadas, somente Percentil 95 e 98 exibiram valores de *baseline* para os 15 metais calculados. O método TIF, embora bastante utilizado na literatura (RODRIGUES, 2012; REIMANN; CARITAT, 2017), não assume os valores de *outliers* para algumas distribuições (REIMANN; FILZMOSE; GARRETT, 2005). Por isso, os valores do Percentil 98 mostraram-se como os mais adequados para representar os valores de *baseline* superiores ambientais (BSA) na BRP (Tabela 14).

Assumindo os valores de *baseline* conservadores para os 15 elementos calculados (Tabela 14), durante o período chuvoso, o Fe e o Mn estão acima dos valores máximos estipulados pela WHO/1993 e por CONAMA 357/05, respectivamente. Já no período de estiagem, o Fe também é superior ao VMP pela WHO, enquanto que o Mn, dependendo da técnica considerada, pode se situar acima ou próximo do VMP estipulado pelo CONAMA. Já os valores de Al, no período chuvoso, também se situaram acima ou próximos do VMP estipulado pela WHO, ao passo que no período de estiagem Al apresentou valor de *baseline*

conservador abaixo do VMP. Por outro lado, para estes três elementos (Fe, Mn e Al), em ambos os períodos, o *baseline* superior ambiental se situou muito acima do VMP (Tabela 14). Para os demais elementos, os valores de *baseline* para as múltiplas técnicas utilizadas são inferiores aos valores máximos estipulados pela WHO e por CONAMA (Tabela 14).

Valores de *baseline* acima do VMP estipulado para o Fe e Mn, também foram observados por Salomão et al. (2018) e Silva (2019). Isto reforça que os valores máximos estipulados pela resolução brasileira (CONAMA 357/05), ou até mesmo pela WHO, não são realistas para a região amazônica e particularmente para a BRP e outras sub-bacias da BHRI. Tal situação, também foi observada em outras regiões do Brasil (RODRIGUEZ et al., 2013). Por isso, fazer comparações com base em padrões de referência internacionais, sem levar em consideração fatores locais, como condições geológicas, hidrológicas, climatológicas e a dinâmica do uso e cobertura da terra, que podem variar amplamente de uma região para outra (ARPINE; GAYANE, 2016; REIMANN et al., 2018; SALOMÃO et al., 2018), pode resultar em subestimar ou superestimar riscos ambientais para uma determinada região. O presente estudo das águas superficiais da bacia do rio Parauapebas, principalmente para os elementos Fe e Mn, os quais excederam os limites estipulados pela WHO e por CONAMA, ilustra como a legislação vigente brasileira necessita de ajustes que levem em consideração as peculiaridades de cada região/estado brasileiro.

8 CONCLUSÕES

As variações sazonais influenciam fortemente nos valores dos parâmetros físico-químicos e nas concentrações de um significativo número de elementos-traço, para os quais foi observada tendência a apresentar valores mais elevados durante o período chuvoso. As águas superficiais da BRP exibiram pH variando de levemente ácido a alcalino para a maiorias das microbacias amostradas. Tal feição, somada aos conteúdos relativamente elevados de Fe e Mn, são características marcantes das águas nesta região. O intemperismo de rochas silicáticas mostrou-se como o principal fator a controlar a hidrogeoquímica das águas na BRP.

As áreas de proteção ambiental da BRP são de fundamental importância para a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos. Elas apresentaram menores valores de temperatura durante o período de estiagem em relação às áreas desmatadas e menores concentrações de ferro ao comparar com o restante da bacia. Em mais de 90% das microbacias amostradas, o índice de qualidade química da água variou entre ótimo e bom. No trecho do alto Parauapebas, embora as contribuições geogênicas sejam mais expressivas, contribuições antropogênicas associadas ao uso e ocupação do solo, também foram importantes e se somaram aos efeitos geogênicos.

As áreas desmatadas também exercem forte influência na assinatura geoquímica das águas superficiais, pois nelas a mobilidade dos elementos-traço tende a ser maximizada e há maior fluxo superficial, sobretudo durante o período chuvoso, aumentando o aporte de material carregado para as drenagens, que conseqüentemente tendem a exibir maiores concentrações de vários elementos-traços e valores mais elevados de determinados parâmetros físico-químicos.

A maioria dos parâmetros e elementos analisados exibe valores compatíveis com os respectivos valores máximos permitidos pela resolução CONAMA 357/05 – classe 2. O Mn apresentou concentrações muito acima do valor máximo estipulado pela resolução vigente. O mesmo foi verificado com o Fe e Al, se comparado com os valores de potabilidade estipulados pela WHO/1993.

A estatística descritiva se constituiu numa importante etapa para compreender as distribuições e comportamento dos parâmetros e elementos estudados na BRP. Além disso, o uso da estatística multivariada mostrou-se ferramenta indispensável para estabelecer e compreender as afinidades geoquímicas e o nível de correlação entre os principais constituintes nas águas superficiais da região.

Para vários elementos-traço, sendo exemplificado por Cu ao longo dos cinturões norte e sul de mineralizações deste metal e para Ni e Cr na presença de rochas máficas e ultramáficas,

foi observada a influência da geologia local como principal fator controlador do enriquecimento nestes elementos, indicando fonte natural.

O uso de múltiplas técnicas para estimar valores de *baseline* mostrou-se essencial para definir a mais adequada para cada elemento. Além disso, foram definidos, com base nas técnicas utilizadas, dois níveis de *baseline*: um considerado mais conservador por excluir número significativo de *outliers*, que pode ser visto como *baseline* natural; o segundo levaria em conta os valores de *outliers* e corresponderia ao *baseline* ambiental, que seria mais abrangente e englobaria as contribuições naturais mais as antropogênicas, considerada a mais apropriada para a BRP.

Os valores de *baseline* na BRP para Fe, Mn e Al são superiores aos VMP estipulados pelas legislações, o que reforça a inadequabilidade da legislação brasileira, pois a região e a bacia estudada apresentam peculiaridades que deveriam ser consideradas para a proposição de valores adequados ao contexto dessa bacia.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Água na medida certa: a hidrometria no Brasil**. Agência Nacional de Águas; textos elaborados por Antonio Cardoso Neto. Brasília: ANA, 2012.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728. 2013.
- AMUNDRUD, S. L.; SRIVASTAVA, D. S.; LOUNIBOS, L. P. Drought sensitivity predicts habitat size sensitivity in an aquatic ecosystem. **Ecology**, v. 96, n. 7, p. 1957–1965. 2015.
- ANDER, E. L. *et al.* Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil. **Science of the Total Environment**, v. 454–455, p. 604–618. 2013.
- ANDRADE, L. N. Autodepuração dos corpos d'água. **Revista da Biologia**. v. 5, p. 16–19. 2010.
- APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd ed. **American Public Health Association**, Washington, 2012. 1360 p.
- ARMENGOL, J.; MORENO-AMICH, R.; PALAU, A. The ecology of the Iberian inland Waters: Homage to Ramon Margalef. **Limnética**, Espanha, v. 25, p. 612. 2006.
- ARPINE, H.; GAYANE, S. Determination of background concentrations of hydrochemical parameters and water quality assessment in the Akhuryan River Basin (Armenia). **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 94, p. 2–9. 2016.
- BAO, C. *et al.* Understanding watershed hydrogeochemistry: 1. Development of RT-Flux-PIHM. **Water Resources Research**, v. 53, n. 3, p. 2328–2345. 2017.
- BARROW, N.J. The reaction of plant nutrients and pollutants with soil. **Aust. J. Soil Res.**, v. 27, p.475-492, 1989.
- BATES, R. L.; JACKSON, J. A. **Dictionary of geological terms**. New York. Anchor books. A Division of Random House Inc., 1984. 571 p.
- BOYER, E. W. *et al.* Response characteristics of DOC flushing in an alpine catchment. **Hydrol. Process**, v.11, p. 1635-1647. 1997.
- BROWN, R. M. *et al.* A water quality index – crashing the psychological barrier, in: Advances in: **Water Pollution Research**. Elsevier, p. 787–797. 1973.
- CARPENTER, S. R. *et al.* Nonpoint Pollution of surface waters with Phosphorus and Nitrogen. **Ecological Applications**, v. 8, n. 3, p. 559-568. 1998.
- CARVALHO, C. F.; FERREIRA, A. L.; STAPELFELDT, F. Qualidade das Águas do Ribeirão Ubá – MG. **Revista Escola Minas**, v. 3, n. 57, p 165 – 172. 2004.
- CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments - A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. 2nd ed. Reino Unido: UNESCO, WHO, e UNEP; e FN Spon, 1996. 609 p.

CHATTERJEE, P. R.; RAZIUDDIN, M. Studies on the water quality of a water body at Asansol town, west Bengal. **Nature Environment and Pollution Technology**. v. 6, n. 2, p. 289–292. 2007.

CHEN, K. *et al.* Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in a coastal area in Shenzhen, China. **Environmental Pollution**, v. 147, p. 771-780. 2007.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **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.** Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005.

DALL'AGNOL, R. *et al.* Mineralogy, geochemistry, and petrology of Neoproterozoic ferroan to magnesian granites of Carajás Province, Amazonian Craton: The origin of hydrated granites associated with charnockites. **Lithos**, v. 277, p. 3–32. 2017.

D'ALMEIDA, C. *et al.* The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. **International Journal Climatology**, V. 27, p. 633-647. 2007.

DAMYANOVA, S.; IVANOVA, I.; IGNATOVA, N. Water quality assessment of aquatic ecosystems using ecological criteria case study in Bulgaria. **Biotechnology and Biotechnological Equipment**, v. 28, n. 6, p. 1050–1056. 2014.

DEEGAN, L. A. *et al.* Amazon deforestation alters small stream structure, nitrogen biogeochemistry and connectivity to larger rivers. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1, p. 53–74. 2011.

DEMIRAK, A. *et al.* Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. **Chemosphere**, v. 63, n. 9, p. 1451-1458. 2006.

DIERSING, N. **Water Quality: Frequently Asked Questions**. Florida Brooks National Marine Sanctuary, Key West, FL. 2009.

DÍEZ, M. *et al.* Background arsenic concentrations in Southeastern Spanish soils. **Science of the Total Environment**, v. 378, p. 5-12. 2007.

DRISCOLL, C. T.; OTTON, J. K.; IVERFELDT, A. Trace metals speciation and cycling. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. (Ed.). *Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research*. Chichester: J. Wiley & Sons, p. 299-322. 1994.

DUGDALE, S. J. *et al.* Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes. **Science of the Total Environment**, v. 610–611, p. 1375–1389. 2018.

EPA - Environmental Protection Agency. Method 300.0: **Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography**. Revision 12. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1993.

EPA - Environmental Protection Agency. Method 300.1: **Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography**. Revision 12. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1999.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 263 p.

FAQUELTO, M. A. **Avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) e dos elementos químicos nas águas e nos sedimentos do rio Corumbataí - SP**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo - USP, 2008. 117 p.

FEIO, G. R. L. *et al.* Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. **Precambrian Research**, v. 227, p. 157–185. 2013.

FLYHAMMAR, P.; HAKANSSON, K. The release of heavy metals in stabilized MSW by oxidation. **Science of the Total Environment**, n. 243-244, p. 291-303. 1999.

FRITZSONS, E. *et al.* a influência da floresta ciliar sobre a temperatura das águas do rio Capivari, região cárstica curitibana. **Floresta**, v. 35, n. 3, p. 395–407. 2005.

GAILLADERT, J.; DUPRÉ, J. V. Trace Elements In River Waters *In*: Drever, J. I. **Treatise on Geochemistry**, Amsterdam, Elsevier, VOLUME 5: Surface And Ground Water, Weathering and Soils. 2003. p. 225 – 272.

GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; LOUVAT, P.; ALLÈGRE, C. J. (1999), Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. **Chem. Geol.**, v. 159, p. 3-30. 1999.

GALUSZKA, A. A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. **Environmental Geology**, v. 52, n. 5, p. 861–870. 2007a.

GALUSZKA, A. Different approaches in using and understanding the term “Geochemical Background” - practical implications for environmental studies. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 16, n. 3, p. 389-395. 2007b.

GALUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. Geochemical background - an environmental perspective. **Mineralogia**, v. 42, n. 1, p. 7–17. 2011.

GASHI, F. *et al.* Assessment of the effects of urban and industrial development on water and sediment quality of the Drenica River in Kosovo. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, p. 1-10. 2016.

GAT. Itacaiúnas: **Estudo de Gestão Ambiental Territorial da Bacia do Itacaiúnas**. Caderno 3: Água, Relatório interno, Marabá, 2007. 261 p.

GOUGH, L.P. Understanding our fragile environment. Lessons from geochemical studies. **United States Geological Survey Circular**, v. 1105, p. 1-34, 1993.

GRIMM, N. B. *et al.* Sensitivity of aquatic ecosystems to climatic and anthropogenic changes: the basin and range, American southwest and Mexico. **Hydrological Processes**, v. 11, p. 1023–1041. 1997.

GUILHERME, L. R. G. *et al.* Elementos-traco em solos e sistemas aquáticos. **Temas em Ciência do Solo**, v. 4, n. 3, p. 345–390. 2005.

HART, B. T.; LAKE, P. S. Studies of heavy metal pollution in Australia with particular emphasis on aquatic systems. *In*: HUTCHINSON, T. C.; MEEMA, K. M., (Eds.), **Lead, mercury, cádmium and arsenic in the environment**. New York: Wiley, 1987. p. 187 – 216.

- HAWKES, H.E., WEBB, J.S. **Geochemistry in mineral exploration**. New York Harper, 1962. 415 p.
- HEMOND, H. F.; FECHNER, E. J. **Chemical fate and transport in the environment**. 3th edition, 2015. 476 p.
- HERING, J.G. Implications of complexation, sorption and dissolution kinetics for metal transport in soils. In: ALLEN, H.E.; HUANG, C.P.; BAILEY, G.W. & BEWERS, A.R., eds. **Metal speciation and contamination of soil**. Boca Raton, Lewis Publishers, 1995. p. 59-83.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/parauapebas.html>. Acesso em: 20/04/2018.
- JARDIM, C. H. A “Crise Hídrica” No Sudeste Do Brasil: Aspectos Climáticos E Repercussões Ambientais. **Revista Tamoios**, v. 11, n. 2, p. 67–83. 2015.
- JARDIM, W. F. Medição e interpretação de valores do potencial redox (eh) em matrizes ambientais. **Química Nova**, v. 37, n. 7, p. 1233–1235. 2014.
- JARVA, J. 2016. **Geochemical baselines in the assessment of soil contamination in Finland**. Geological Survey of Finland, Espoo, 2016. p. 52.
- JORQUERA, C. O. *et al.* Regional hydrogeochemical mapping in Central Chile: natural and anthropogenic sources of elements and compounds. **Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis**, v. 15, p. 72–96. 2015
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 413 p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 2 ed. London: CRC Press. 1992.
- KHANGEMBAM, S.; KSHETRIMAYUM, K. S. Evaluation of hydrogeochemical controlling factors and water quality index of water resources of the Barak valley of Assam, Northeast India. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 8, p. 541–553, 2019.
- KUMP, L.R.; BRANTLEY, S.L; ARTHUR, M.A. Chemical weathering, atmospheric CO₂, and climate. **Annual Review of Earth and Planet Science**, v. 28, p. 611 – 667. 2000.
- LARK, R. M.; BEARCOCK, J. M.; ANDER, E. L. How does temporal variation affect the value of stream water as a medium for regional geochemical survey?. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 169, p. 211-233. 2016.
- LEPELTIER, C. A simplified treatment of geochemical data by graphical representation. **Economic Geology**, v. 64, p. 538-550. 1969.
- LEVY, M. C. et al. Land Use Change Increases Streamflow Across the Arc of Deforestation in Brazil. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 8, p. 3520–3530. 2018.
- LIMA, C. S. **Estudo da qualidade da água na sub-bacia do Ribeirão do Carmo (MG), com ênfase na geoquímica e na comunidade zooplanctônica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, 2013. 157 p.

- LIMA, L. S. et al. Feedbacks between deforestation, climate, and hydrology in the Southwestern Amazon: Implications for the provision of ecosystem services. **Landscape Ecology**, v. 29, n. 2, p. 261–274. 2014.
- MAROTTA, H.; SANTOS, R. O. D; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente e Sociedade**, v. 11, p. 67–79. 2008.
- MARQUES, L. D. S. **Avaliação espaço temporal da qualidade da água e da concentração e distribuição de elementos químicos em sedimentos na bacia hidrográfica do rio Santa Bárbara-MG**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, 2016. 149 p.
- MARTINELLI, L. A. *et al.* Agriculture in Brazil: Impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n. 5–6, p. 431–438. 2010.
- MARTINS, P. L. G. *et al.* Neoproterozoic magmatism in the southeastern Amazonian Craton, Brazil: Petrography, geochemistry and tectonic significance of basalts from the Carajás Basin. **Precambrian Research**, v. 302, p. 340–357. 2017.
- MARTIRANI, L. A; PERES, I. K. Water crisis in São Paulo: news coverage, public perception and the right to information. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 1-20. 2016.
- MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. Geochemical background - Can we calculate it?. **Environmental Geology**, v. 39, n. 9, p. 990–1000. 2000.
- McARTHUR, J.M. *et al.* Natural organic matter in sedimentary basins and its relation to arsenic in anoxic ground water: the example of West Bengal and its worldwide implications. **Appl. Geochem.**, v. 19, p. 1255-1293. 2004.
- MENEZES, R. S. **Avaliação sazonal da qualidade da água em lagoas dos platôs da Serra Sul de Carajás, Sudeste da Amazônia, Brasil**. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico Vale - ITV, 2017. 128 p.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Origem: PRT MS/GM 2914/2011)**. Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5 do Ministério da Saúde de 03 de outubro de 2017.
- MIYAGAWA, L. J. P. P. **Geologia, petrografia e geoquímica da suíte ofiolítica Araguacema – Cinturão Araguaia**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará - UFPA, 2012. 131 p.
- MONTEIRO, L. V. S. Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide-copper-gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil. **Ore Geol. Rev.** v. 34, 317– 875 336. 2008.
- MORETO, C.P.N. *et al.* Neoproterozoic and paleoproterozoic iron oxide-copper-gold events at the sossego deposit, Carajás Province, Brazil: Re-Os and U-Pb geochronological evidence. **Econ. Geol.** v. 110, p. 809–835. 2015.
- MRVIĆ, V. *et al.* Methods for assessment of background limit of Ni and Cr in soils of eastern Serbia. **Ratarstvo i povrtarstvo**, v. 48, p. 189-194. 2011.

- MUKATE, S. *et al.* Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. **Ecological Indicators**, v. 101, p. 348–354, 2019.
- MULHOLLAND, D. S.; BOAVENTURA, G. R.; ARAÚJO, D. F. Modelo geoquímico aplicado à avaliação da qualidade de água da bacia do alto curso do rio Paracatu – MG. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 14, p. 39-46. 2010.
- NAKIĆ, Z.; POSAVEC, K.; BACĀANI, A. A Visual Basic Spreadsheet Macro for Geochemical Background Analysis. **Ground Water**, v. 45, p. 642-647. 2007.
- NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 36-48. 2005.
- NAVARRE-SITCHLER, A; BRANTLEY, S. Basalt weathering across scales, **Earth and Planetary Science Letters**, v. 261, p. 321-334. 2007.
- NOBRE, C. *et al.* Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 2, p. 252-262. 2016.
- NÓBREGA., R. *et al.* A multi-approach and multi-scale study on water quantity and quality changes in the Tapajós River basin, Amazon. Proc. Int. Assoc. **Hydrol. Sci**, v.377, 3–7. 2018.
- NOORI, R. *et al.* A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. **Environmental Pollution**, v. 244, p. 575–587. 2019.
- NRIAGU, J. O. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. **Nature**, 338, p. 47–49. 1989.
- PANDAY, P. K. *et al.* Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 523, p. 822–829. 2015.
- PARRA, R. R. **Análise geoquímica de água e de sedimentos afetados por minerações na bacia hidrográfica do rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais - Brasil.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, 2006. 141p.
- PLUMLEE, G.S. The environmental geology of mineral deposits. In: PLUMLEE, G.S., LOGSDON, J.J. (eds.). **The environmental geochemistry of mineral deposits**. Part A, Processes, Techniques, and Health Issues. Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology, 1999. v. 6A, p. 71-116.
- PONTES, P. R. M. *et al.* The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia. **Journal of Environmental Management**, v. 235, p. 489–499. 2019.
- QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation.** 2009. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>
- REIMANN, C. *et al.* GEMAS: Establishing geochemical background and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soil. **Applied Geochemistry**, v. 88, p. 302–318. 2018.

REIMANN, C.; FILZMOSE, P.; GARRETT, R. G. Background and threshold: Critical comparison of methods of determination. **Science of the Total Environment**, v. 346, n. 1–3, p. 1–16. 2005.

REIMANN, C.; GARRETT, R. G. Geochemical background - Concept and reality. **Science of the Total Environment**, v. 350, n. 1–3, p. 12–27. 2005.

RODRIGUES, A. S. D. L. **Caracterização da bacia do Rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil: avaliação geoquímica ambiental e proposição de valores de background**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, 2012. 190 p.

RODRIGUES, A. S. D. L.; NALINI JÚNIOR, H. A. Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. **Revista da Escola de Minas**, v. 62, n. 2, p. 155–165. 2009.

RODRIGUES, A. S. L. et al. Background values for chemical elements in sediments of the Gualaxo do Norte River Basin, MG, Brazil. **Ciênc. Amb.**, v. 7, p. 15-32. 2013.

ROSA, W. D. **Complexos acamadados da Serra da Onça e Serra do Puma: geologia e petrologia de duas intrusões máfico-ultramáficas com sequência de cristalização distinta na província arqueana de Carajás, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2014. 87 p.

SAHOO, P. K. *et al.* High resolution hydrogeochemical survey and estimation of baseline concentrations of trace elements in surface water of the Itacaiúnas River Basin, southeastern Amazonia: Implication for environmental studies. **Journal of Geochemical Exploration**. 2019.

SAJIKUMAR, N.; REMYA, R. S. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. **Journal of Environmental Management**, v. 161, p. 460–468. 2015.

SALOMÃO, G. *et al.* Geochemical distribution and threshold values determination of heavy metals in stream water in the sub-basins of Vermelho and Sororó rivers, Itacaiúnas River watershed, Eastern Amazon, Brazil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 32, n. 2, p. 180–198. 2018.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa F.A.C. & Manuel Filho, J. **Hidrologia: Conceitos e Aplicações**. CPRM, 1997. p. 81-108.

SCHÖBER, P.; BOER, C; SCHWARTE, L. A. Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. **Anesthesia and Analgesia**, v. 126, n. 5, p. 1763–1768. 2018.

SEMAD - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Relatório Anual 2009: Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Rio Doce**. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2009. 444 p.

SILVA JÚNIOR, RENATO O. *et al.* Estimativa de precipitação e vazões médias para a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI), Amazônia Oriental, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10.5, p. 1638-1654. 2017.

SILVA, G. S. **Baselines geoquímicos e avaliação da qualidade química da água superficial na sub-bacia do médio rio Itacaiúnas, região de Carajás - PA**. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico Vale - ITV, 2019. 108p.

SILVA, L. A. *et al.* Solubilidade e reatividade de gases. **Química Nova**, v. 40, n. 7, p. 824–832. 2017.

SILVEIRA, M. P. Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2004. 68 p.

SOUZA, S. D. M. *et al.* O Greenstone Belt Sapucaia na região de Água Azul do Norte, Província Carajás: Contexto geológico e caracterização petrográfica e geoquímica. **Contrib. a Geol. da Amaz.** v. 9, p 317–338. 2015.

SOUZA-FILHO, P. W. M. *et al.* Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 175–184. 2016.

SZIKSZAY, M. **Geoquímica das águas**. Boletim IG-USP. Série Didática, 1993. n. 5, p. 1–166.

TANRIVERDI, Ç. *et al.* Assessment of surface water quality of the Ceyhan River basin, Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 167, p. 175–184. 2010.

TEIXEIRA, S. S. **Estudo da qualidade das águas superficiais e estimativa de background na área das minas de ferro da Serra Norte, Carajás**. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico Vale - ITV, 2016. 128 p.

TIDBALL R.R.. *et al.* Geochemical baselines for sagebrush and soil. Powder river basin. Montana-Wyoming. U.S. **Geological Survey open-file report**, v. 6, p. 74-250. 1974.

TUKEY, J.W. **Book Reviews: Exploratory data analysis**. Mass., EUA: Addison-Wesley, Reading, 1977. 688p.

TUME, P. *et al.* Spatial distribution of potentially harmful elements in urban soils, city of Talcahuano, Chile. **J. Geochemical Explor.** v. 184, p. 333–344. 2018.

URRESTI-ESTALA, B. *et al.* Determination of background levels on water quality of groundwater bodies: A methodological proposal applied to a Mediterranean River basin (Guadalhorce River, Málaga, southern Spain). **Journal of Environmental Management**, v. 117, p. 121–130, 2013.

VASCONCELOS, C. H. *et al.* Surveillance of the drinking water quality din the LEGAL Amazon: analysis of vulnerable areas. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 24, n. 1, p. 14–20. 2016.

VASQUEZ, L. V. *et al.* **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará**: Sistema de Informações Geográficas–SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, 2008, 328 p.

VON SPERLING, M.; HELLER, L.; NASCIMENTO, N. O. Investigação científica em engenharia sanitaria e ambiental. Part 2: análise preliminar dos dados. **Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)**, Ano 1, Jul/Set, v. 3(1) p. 115-124. 1996.

WARREN, L. A.; HAACK, E. A. Biogeochemical controls on metal behaviour in freshwater environments. **Earth-Science Reviews**, v. 54, p. 261-320. 2001.

WENDLAND, F. *et al.* Derivation of natural background levels and threshold values for groundwater bodies in the Upper Rhine Valley (France, Switzerland and Germany). **Desalination**, v. 226, p. 160-168. 2008.

WETZEL, R. G. The oxygen content in freshwater. In: Brown M, ed. **Limnology**, 1983. p. 172.

WHITE, A. F. Chemical weathering rates of silicate minerals in soils, in Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals, edited by A.F. White and S.L. Brantley. **Mineralogical Society of America**, Washington, D.C, 1995. pp. 407-461.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for drinking-water quality: volume 1**: recommendations, 2nd ed. World Health Organization. 1993. 188 p. Disponível em: <http://www.who.int/iris/handle/10665/259956>

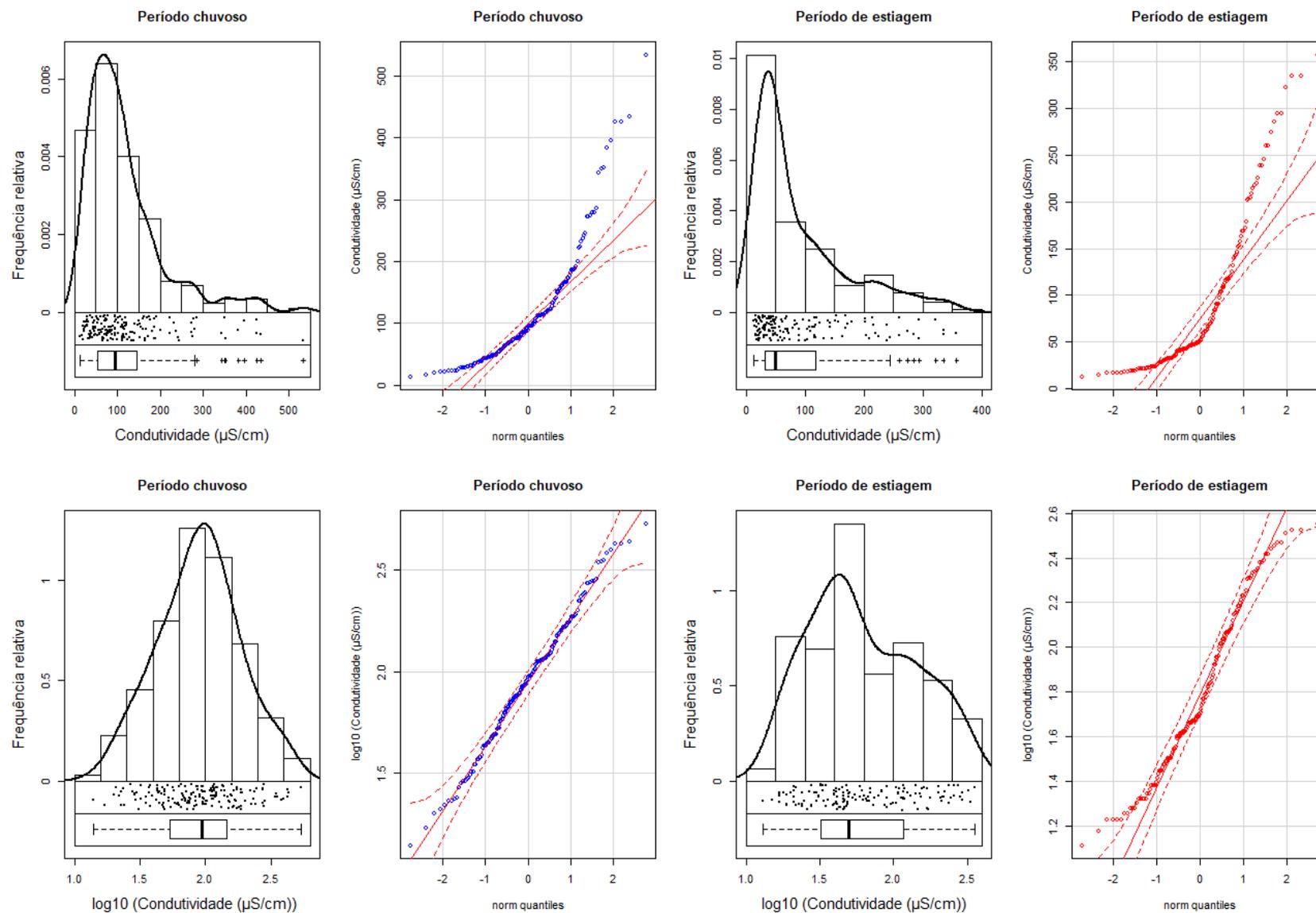
YOGENDRA, K.; PUTTAIAH, E. T. Determination of water quality index and suitability of an urban waterbody in Shimoga town, Karnataka. **The 12th World Lake Conference**. p. 342–346. 2008.

ZAPPI, D. C (ORG). **Paisagens e plantas de Carajás – Landscape and plants of Carajás**. Belém: ITV, 2017. 248 p.

Apêndice A

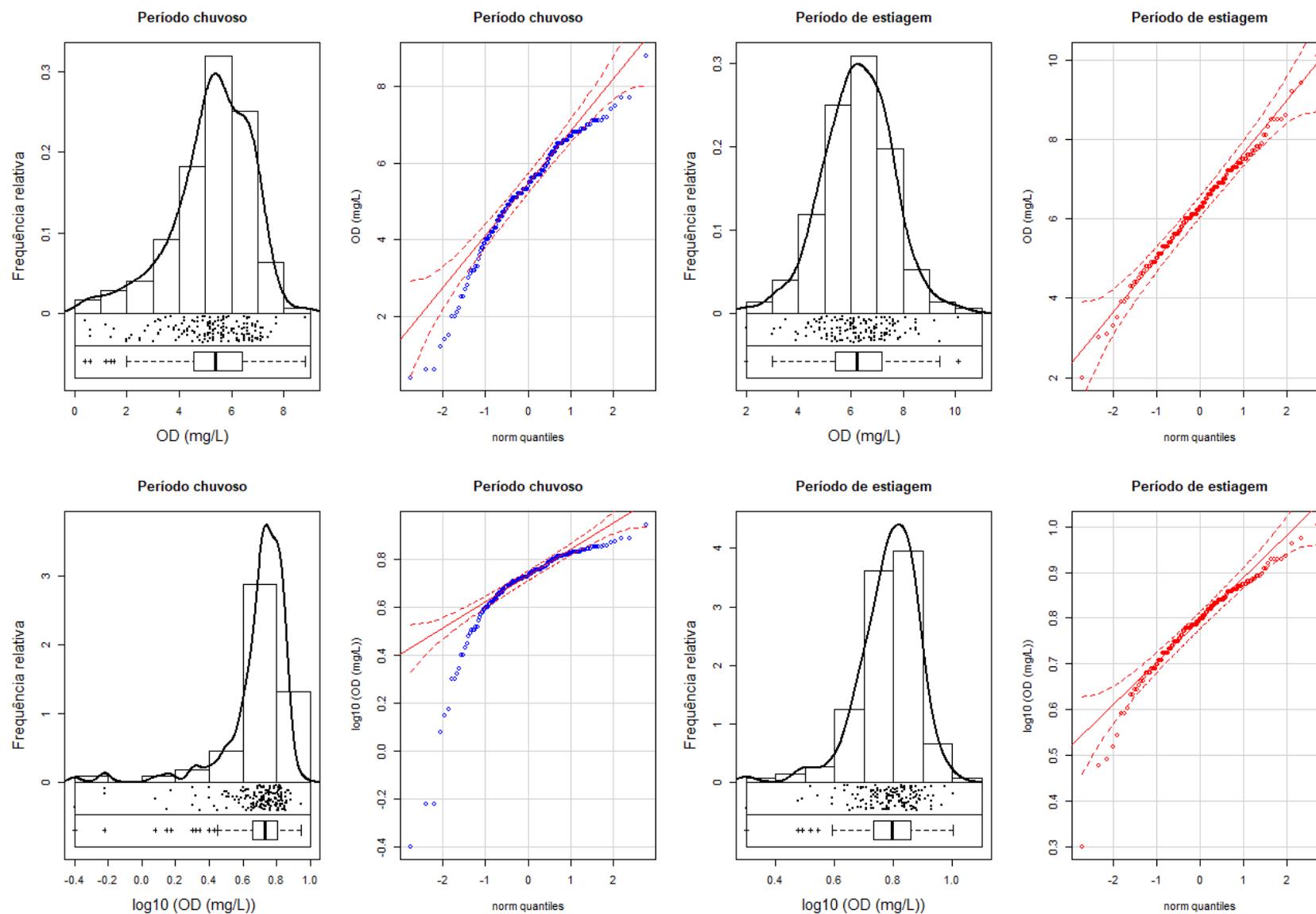
*Boxplot, histogramas e qq-plots das águas superficiais da
bacia do rio Parauapebas*

Figura A1 - *Boxplots*, histogramas e *q-q plots* de condutividade elétrica para os períodos chuvoso e de estiagem.



Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A2 - Boxplots, histogramas e q-q plots de oxigênio dissolvido para os períodos chuvoso e de estiagem.



Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A3 - *Boxplots*, histogramas e *q-q plots* de pH para os períodos chuvoso e de estiagem.

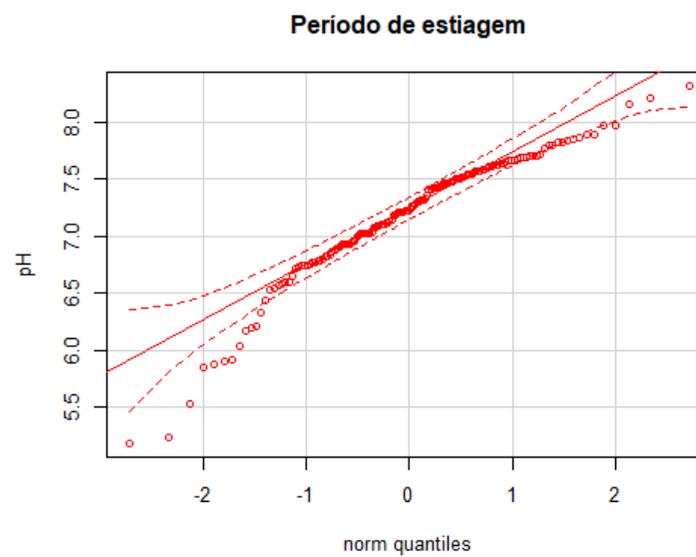
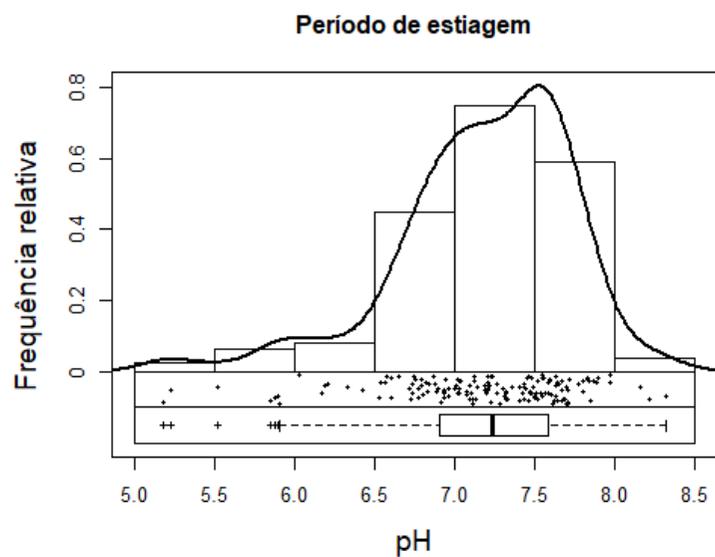
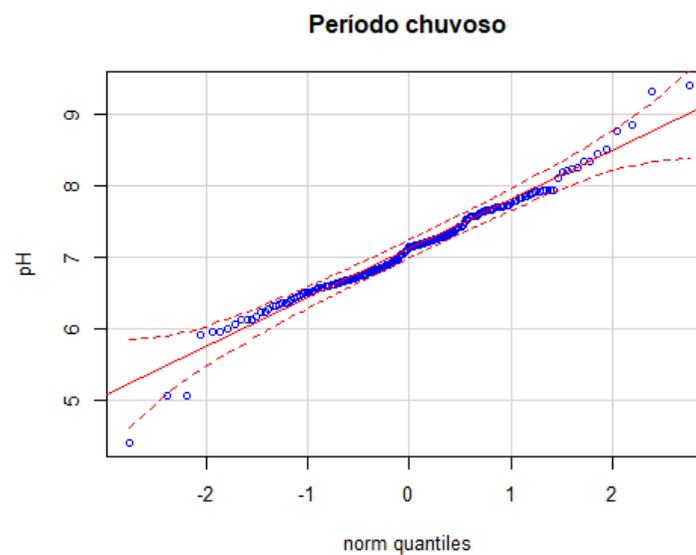
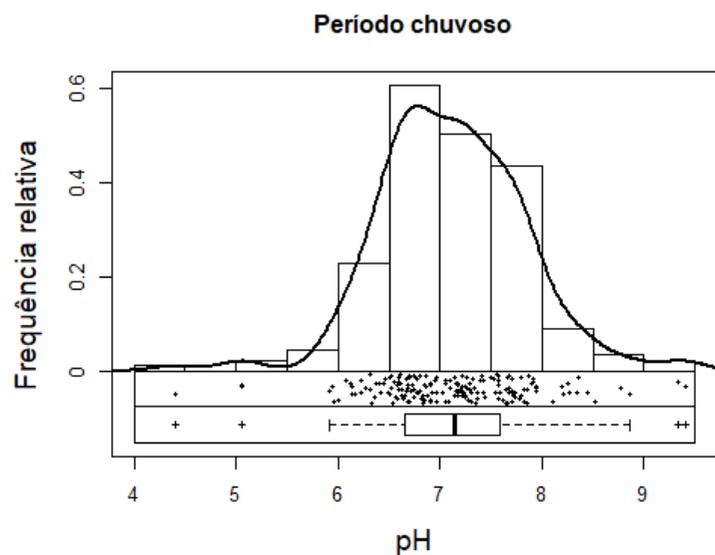
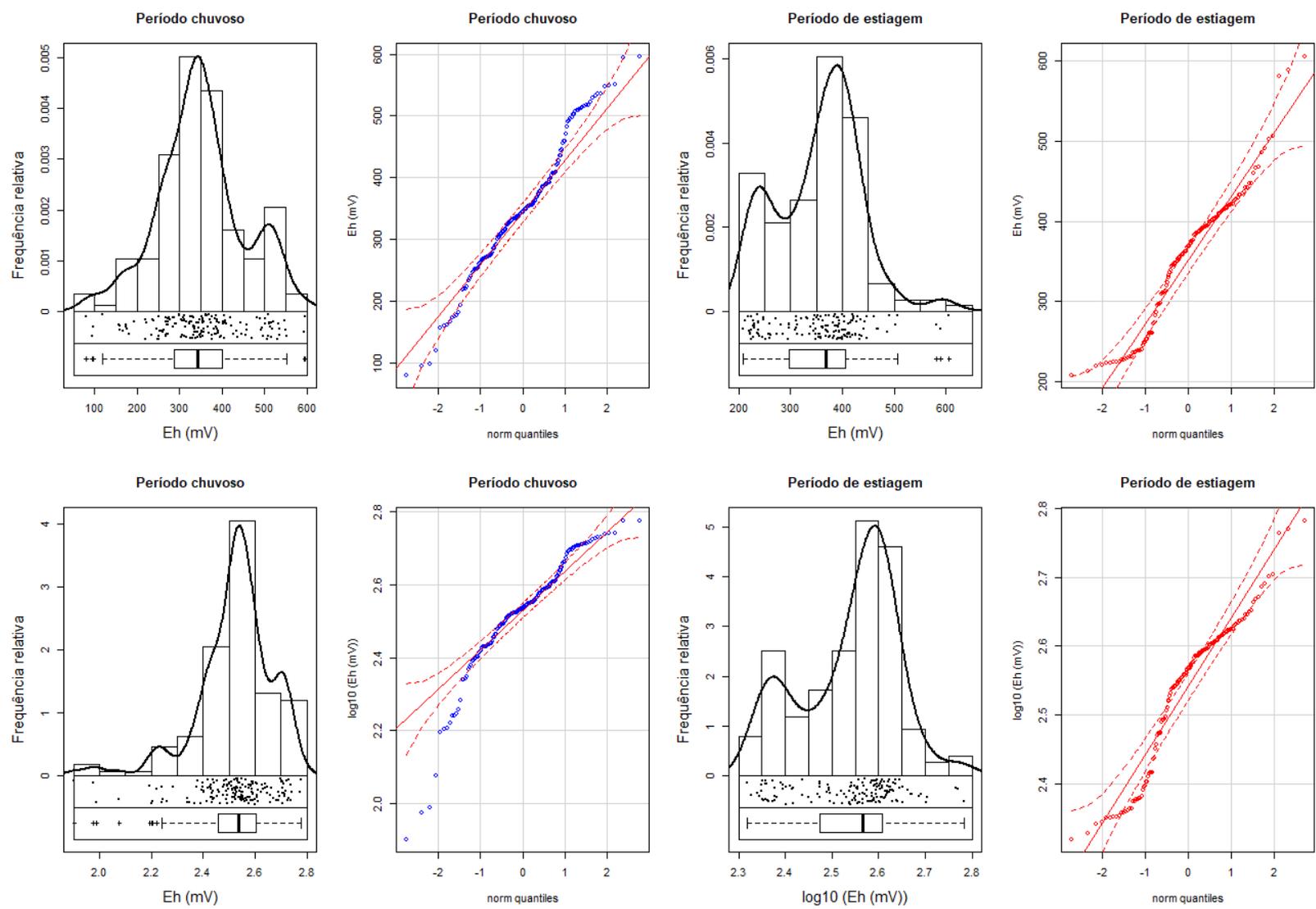
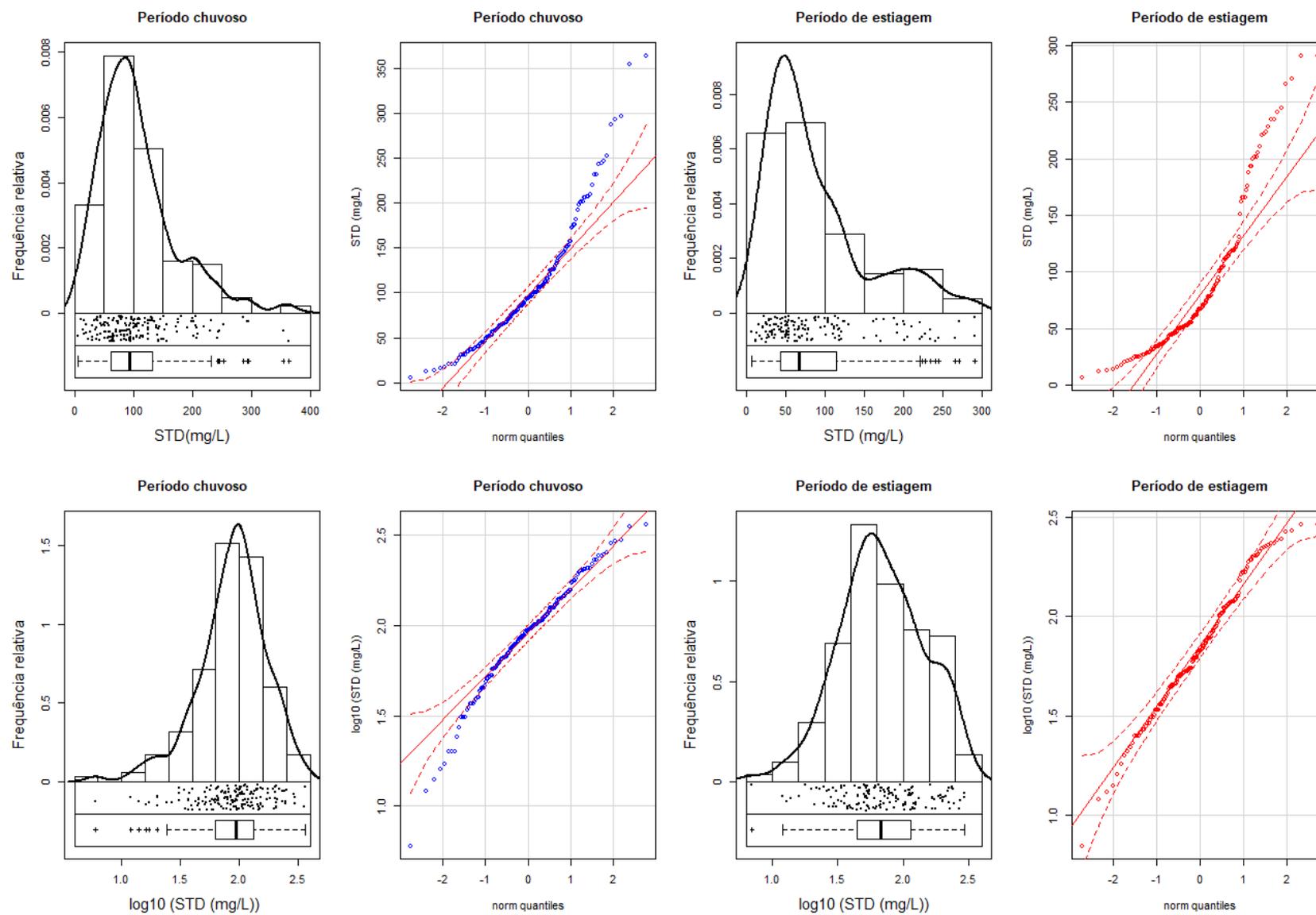


Figura A4 - Boxplots, histogramas e q-q plots de potencial redox para os períodos chuvoso e de estiagem.



Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A5 - *Boxplots*, histogramas e *q-q plots* de sólidos totais dissolvidos para os períodos chuvoso e de estiagem.



Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A6 - *Boxplots*, histogramas e *q-q plots* de temperatura para os períodos chuvoso e de estiagem.

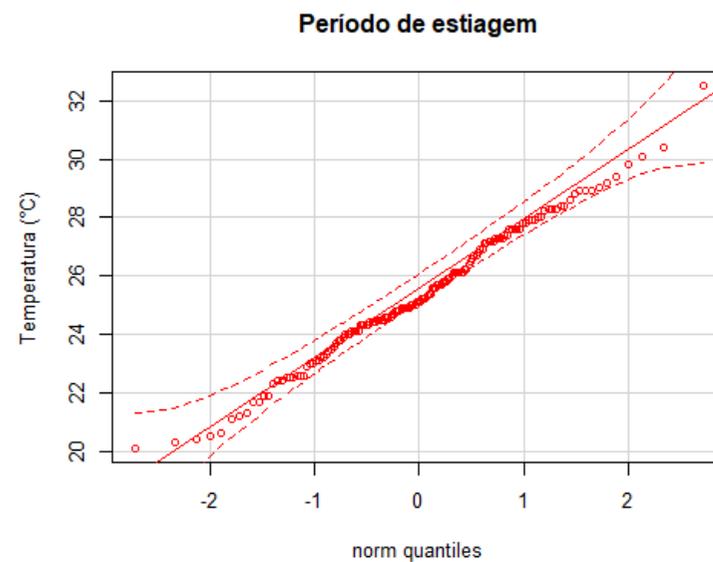
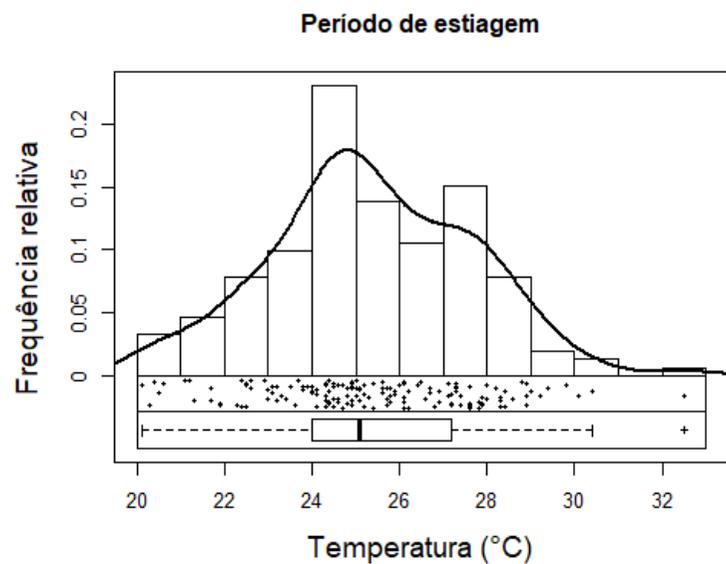
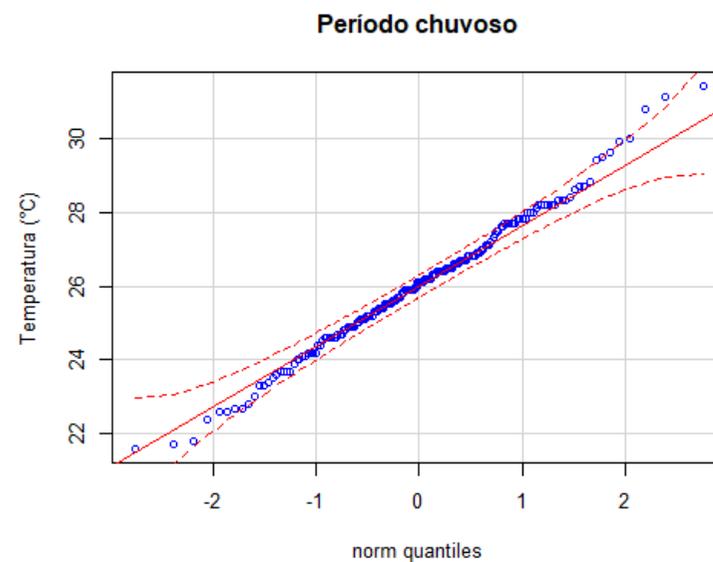
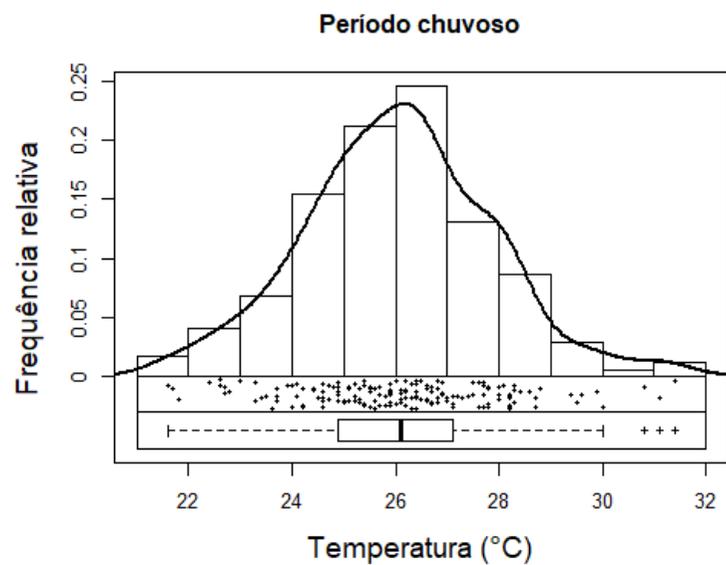
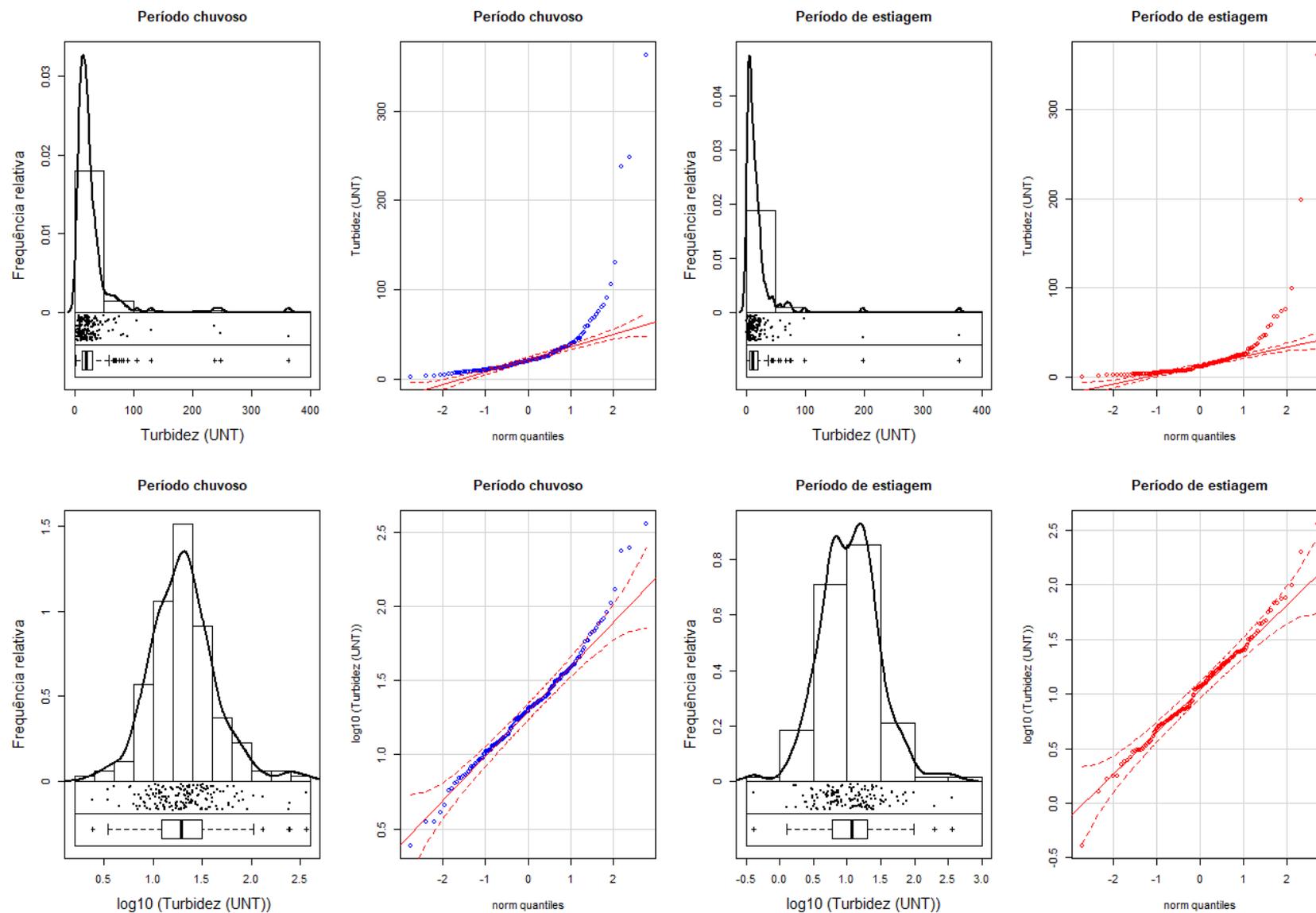
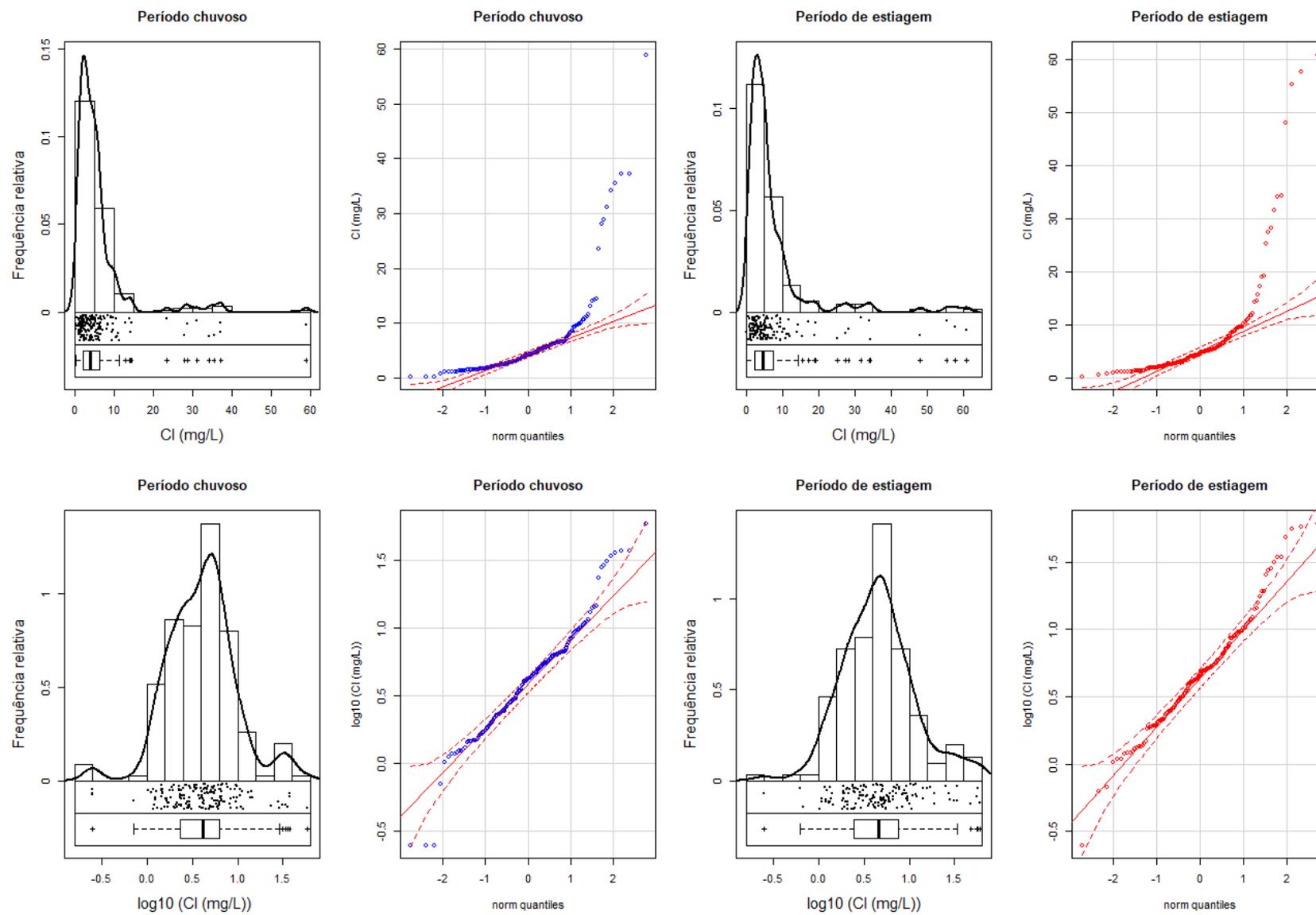


Figura A7 - Boxplots, histogramas e q-q plots de turbidez para os períodos chuvoso e de estiagem.



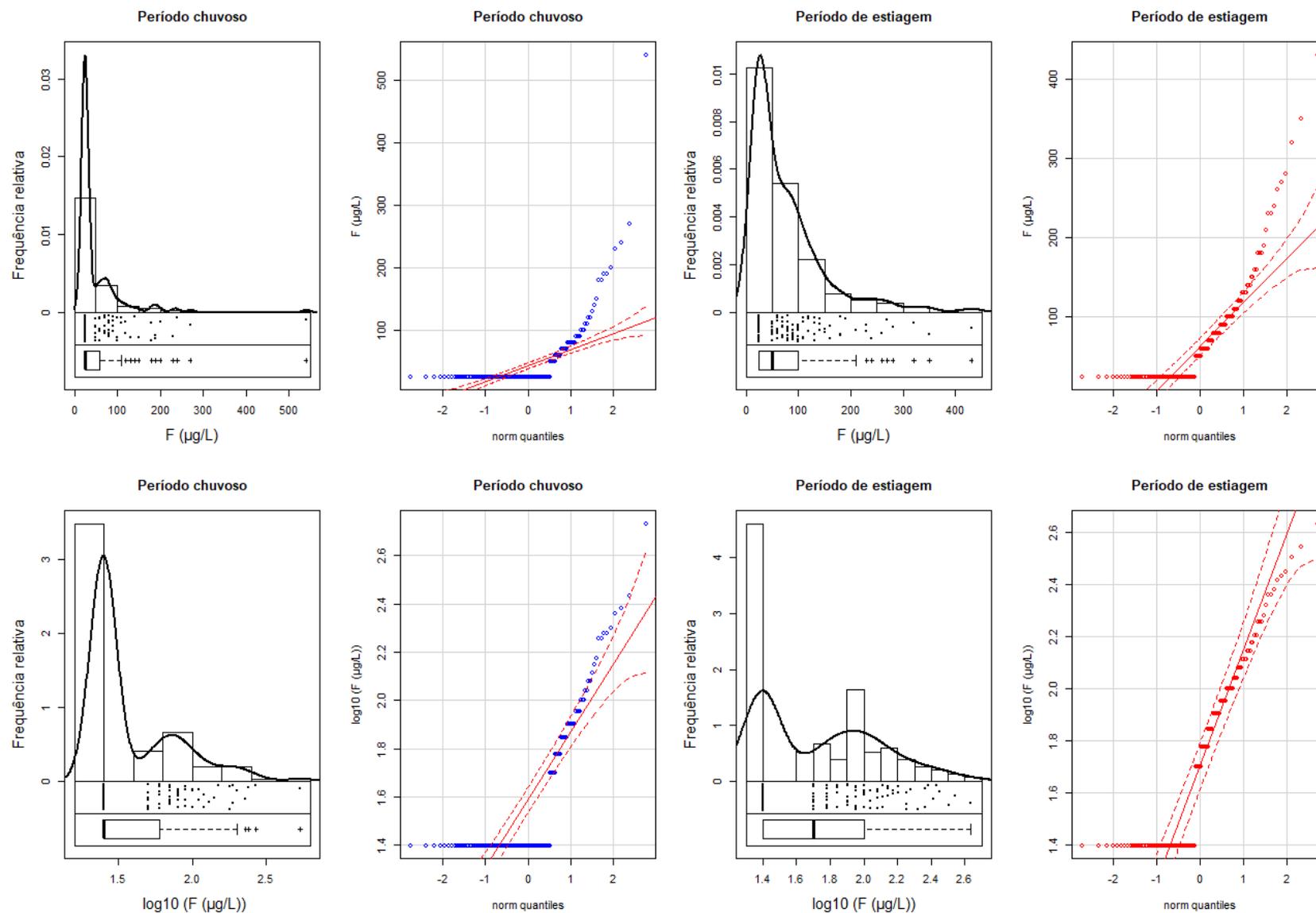
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A8 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o cloreto nos períodos chuvoso e de estiagem.



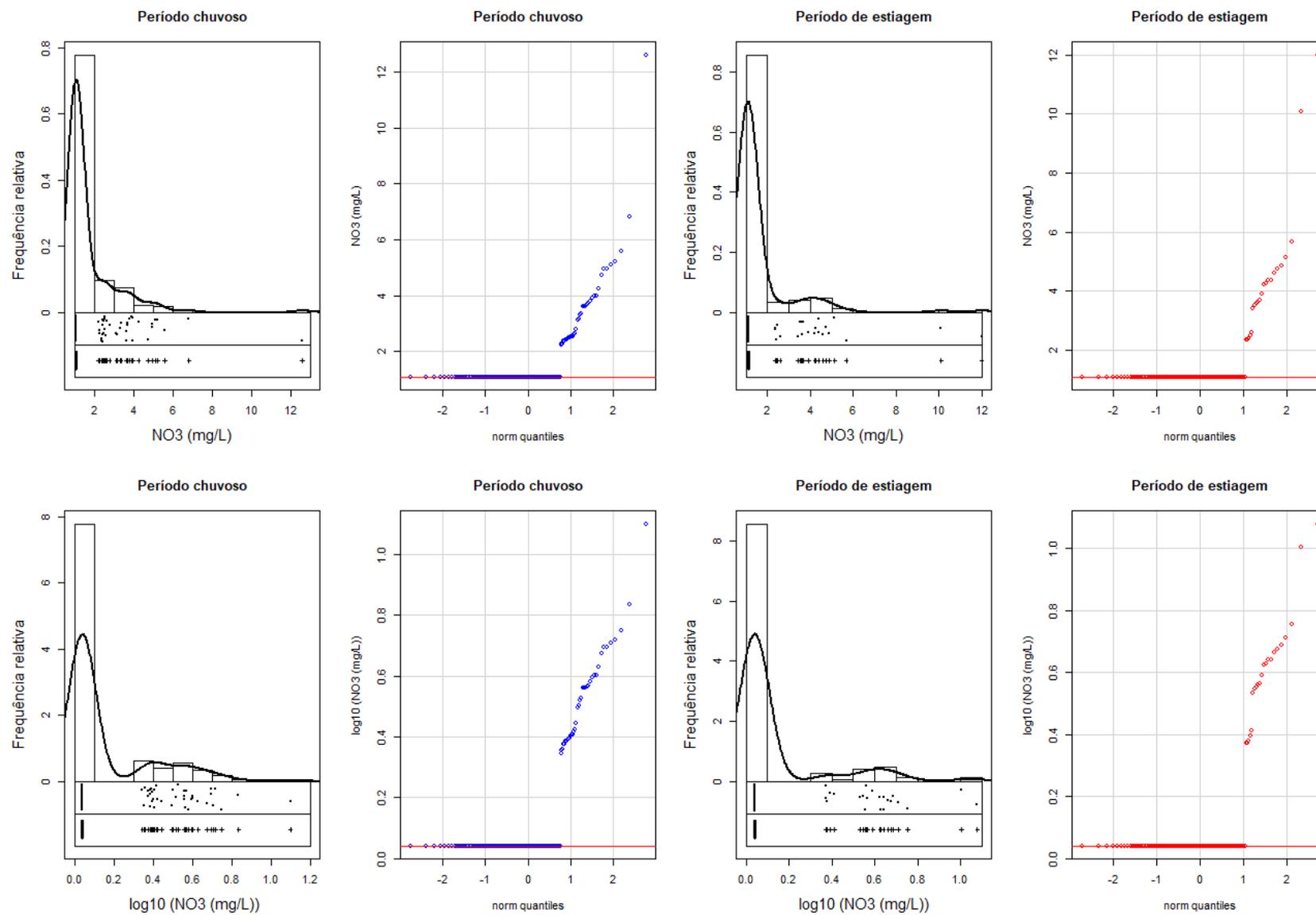
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizadas na base 10.

Figura A9 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o fluoreto nos períodos chuvoso e de estiagem.



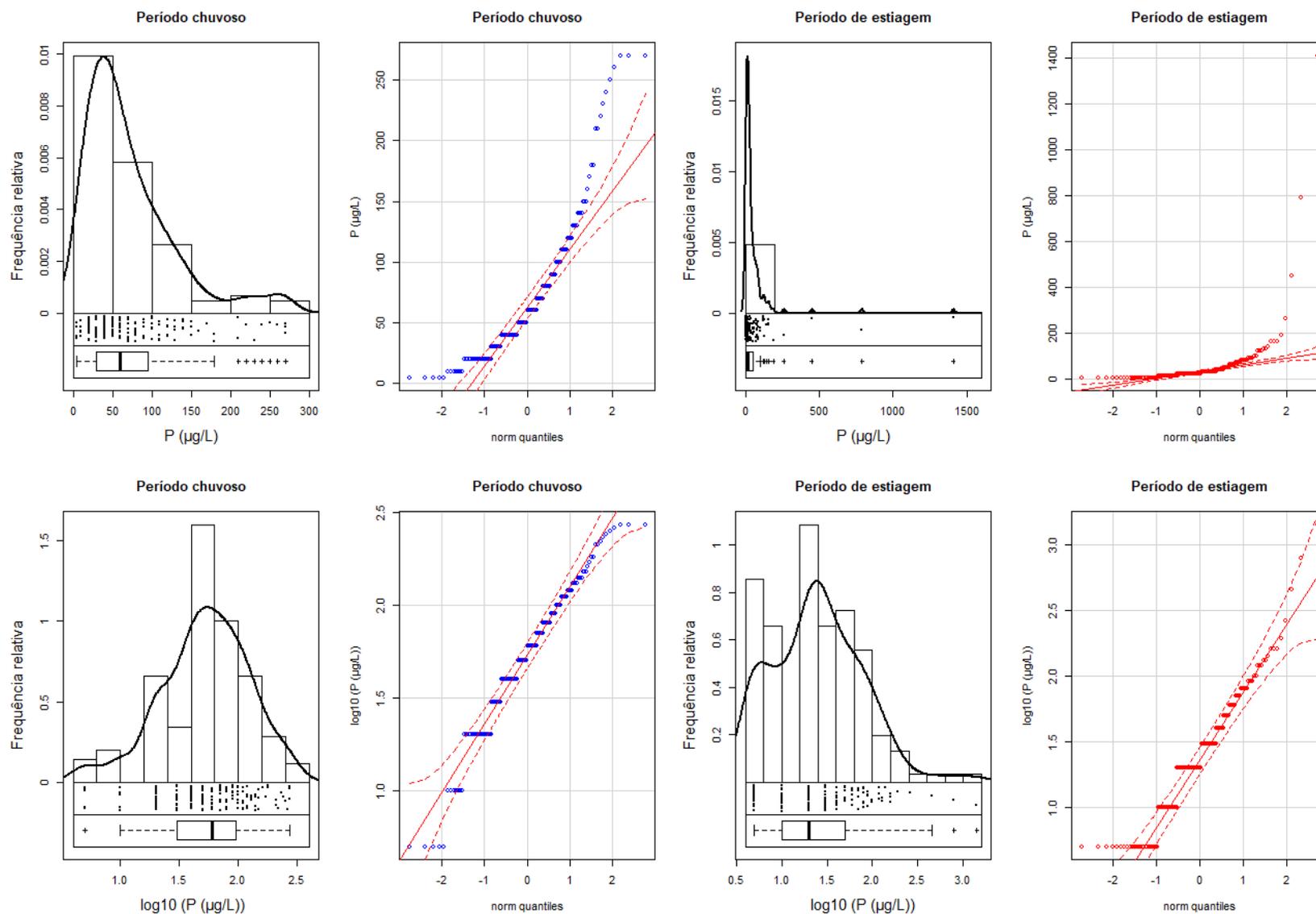
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A10 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o nitrato nos períodos chuvoso e de estiagem.



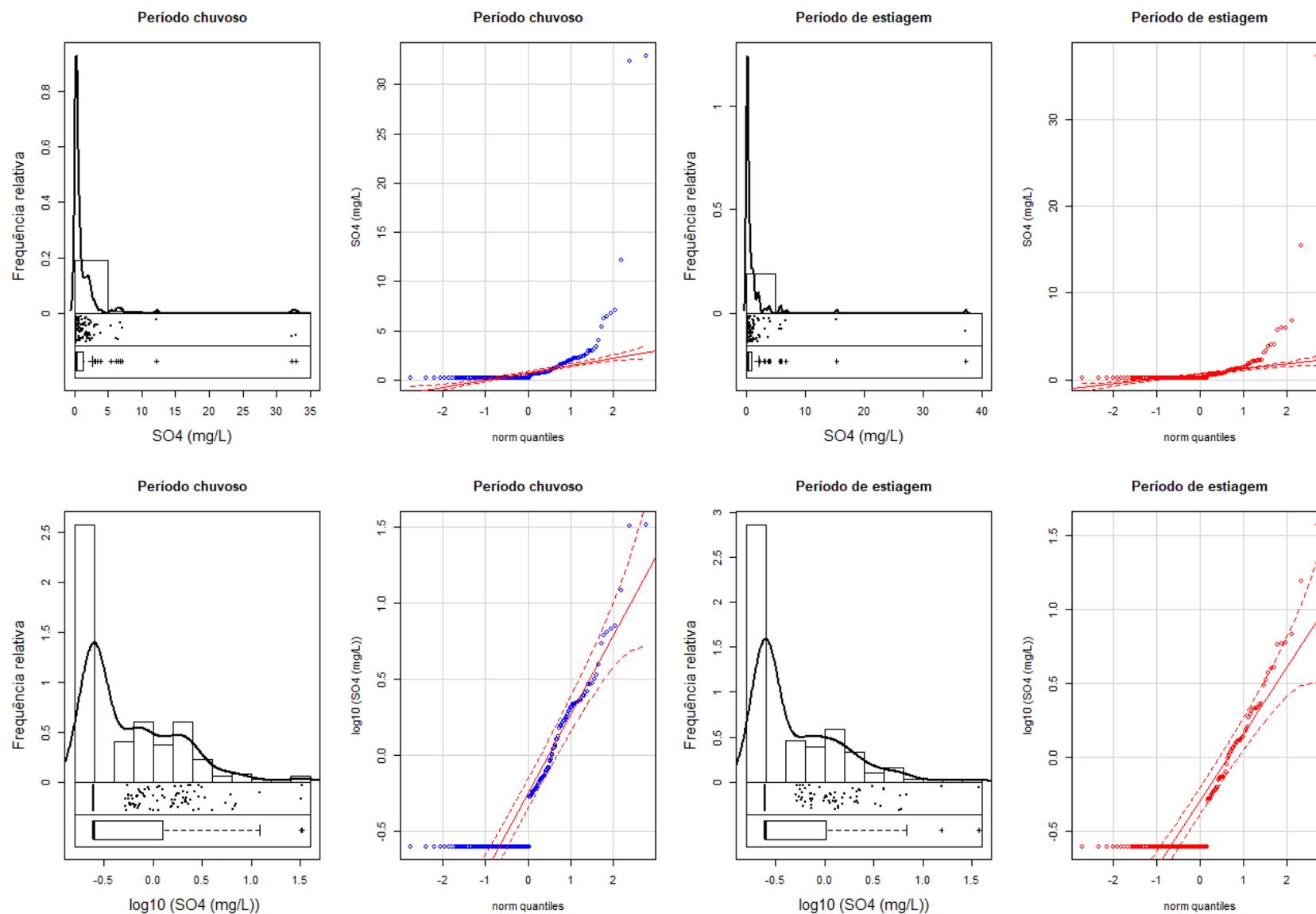
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A11 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o fósforo total nos períodos chuvoso e de estiagem.



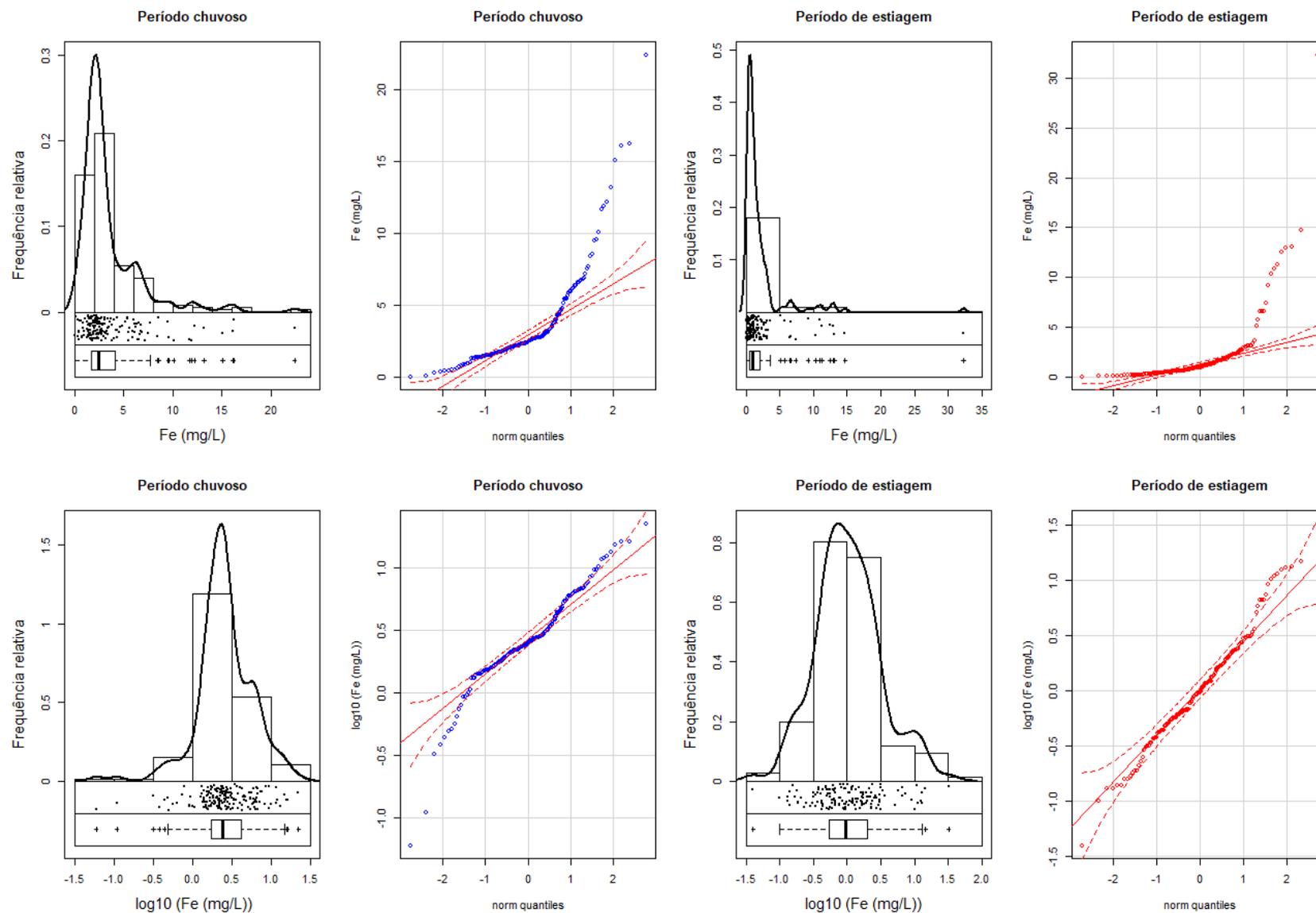
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A12 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o sulfato nos períodos chuvoso e de estiagem.



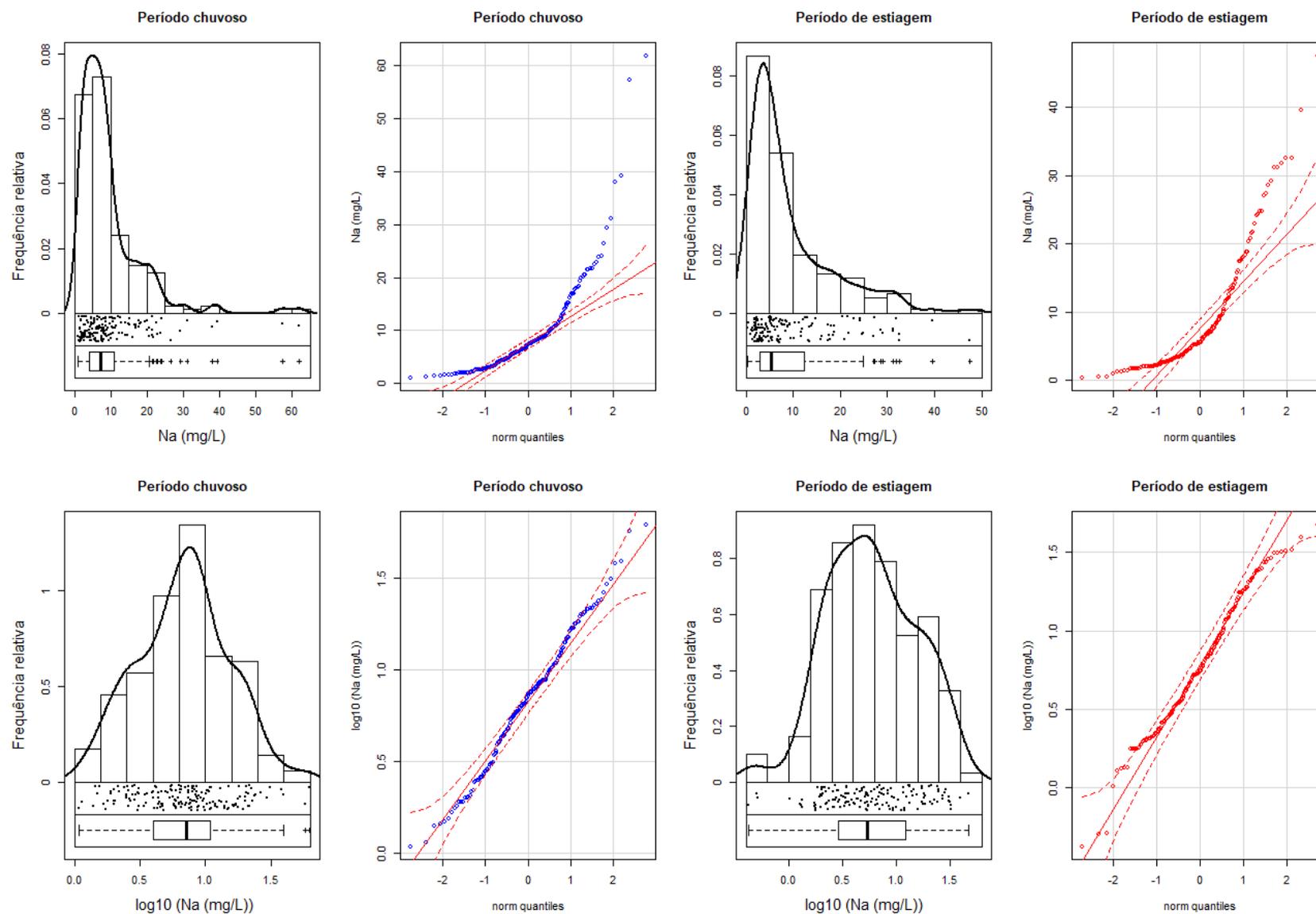
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A13 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o ferro nos períodos chuvoso e de estiagem.



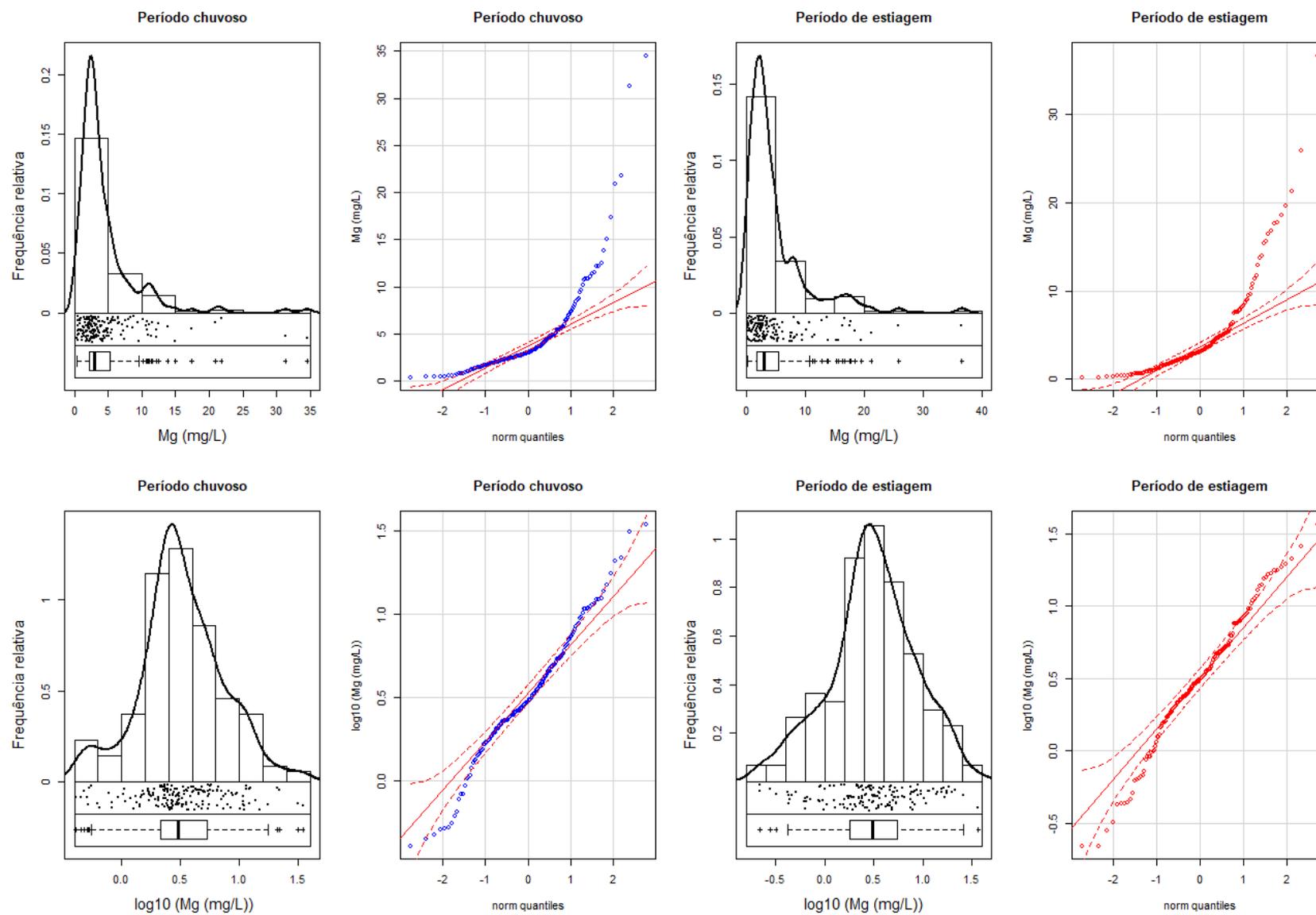
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A14 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o sódio nos períodos chuvoso e de estiagem.



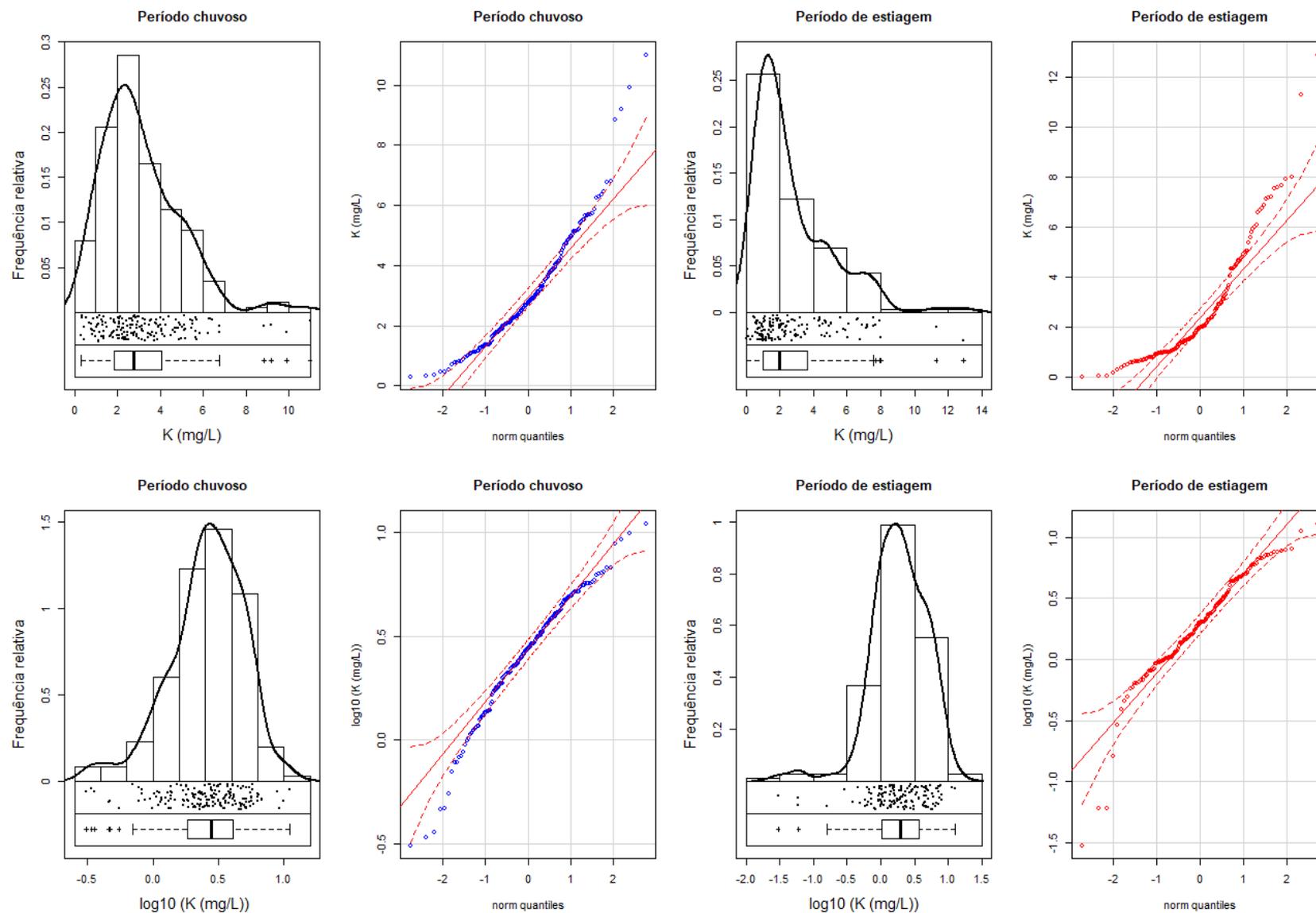
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A15 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o magnésio nos períodos chuvoso e de estiagem.



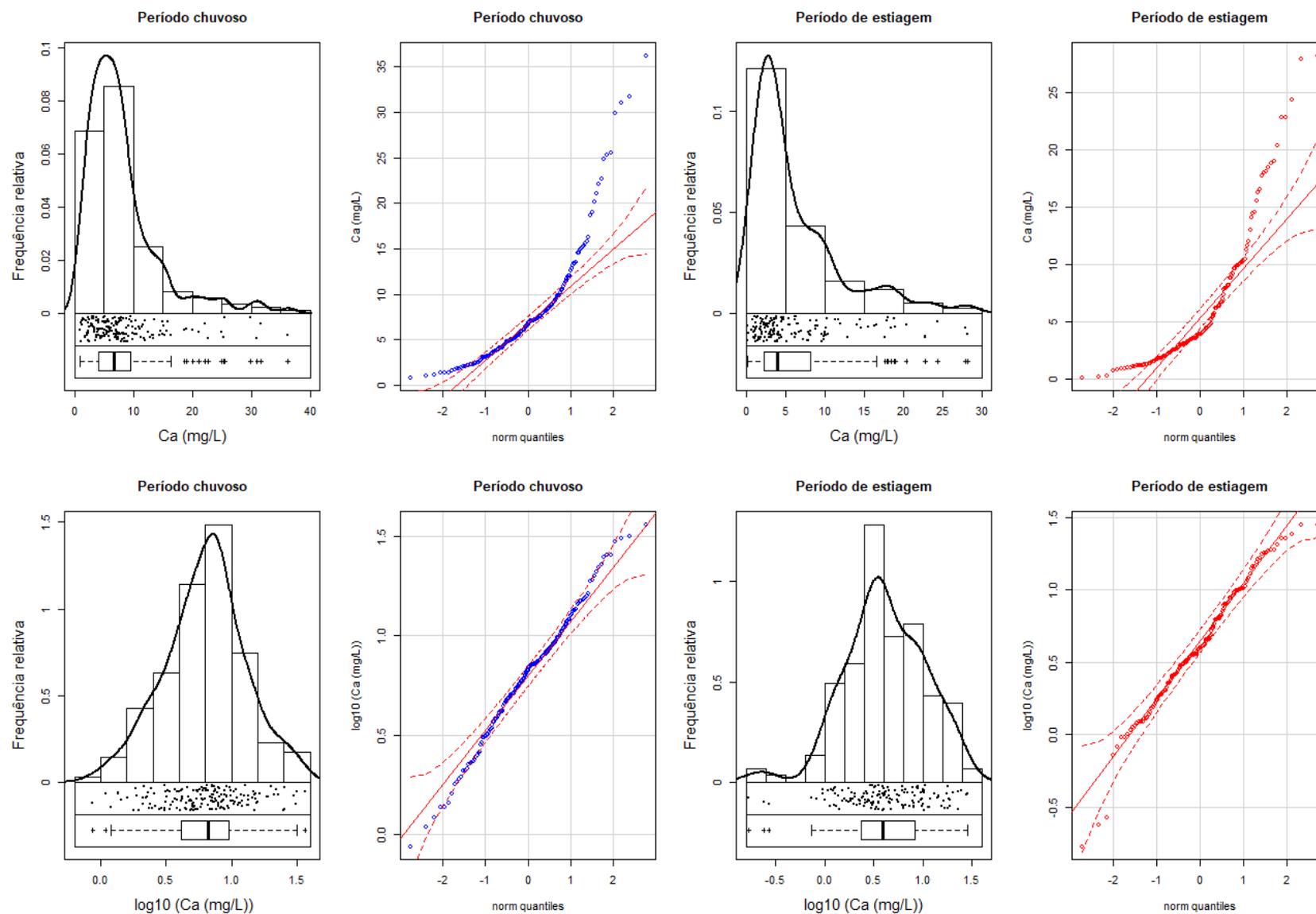
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A16 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o potássio nos períodos chuvoso e de estiagem.



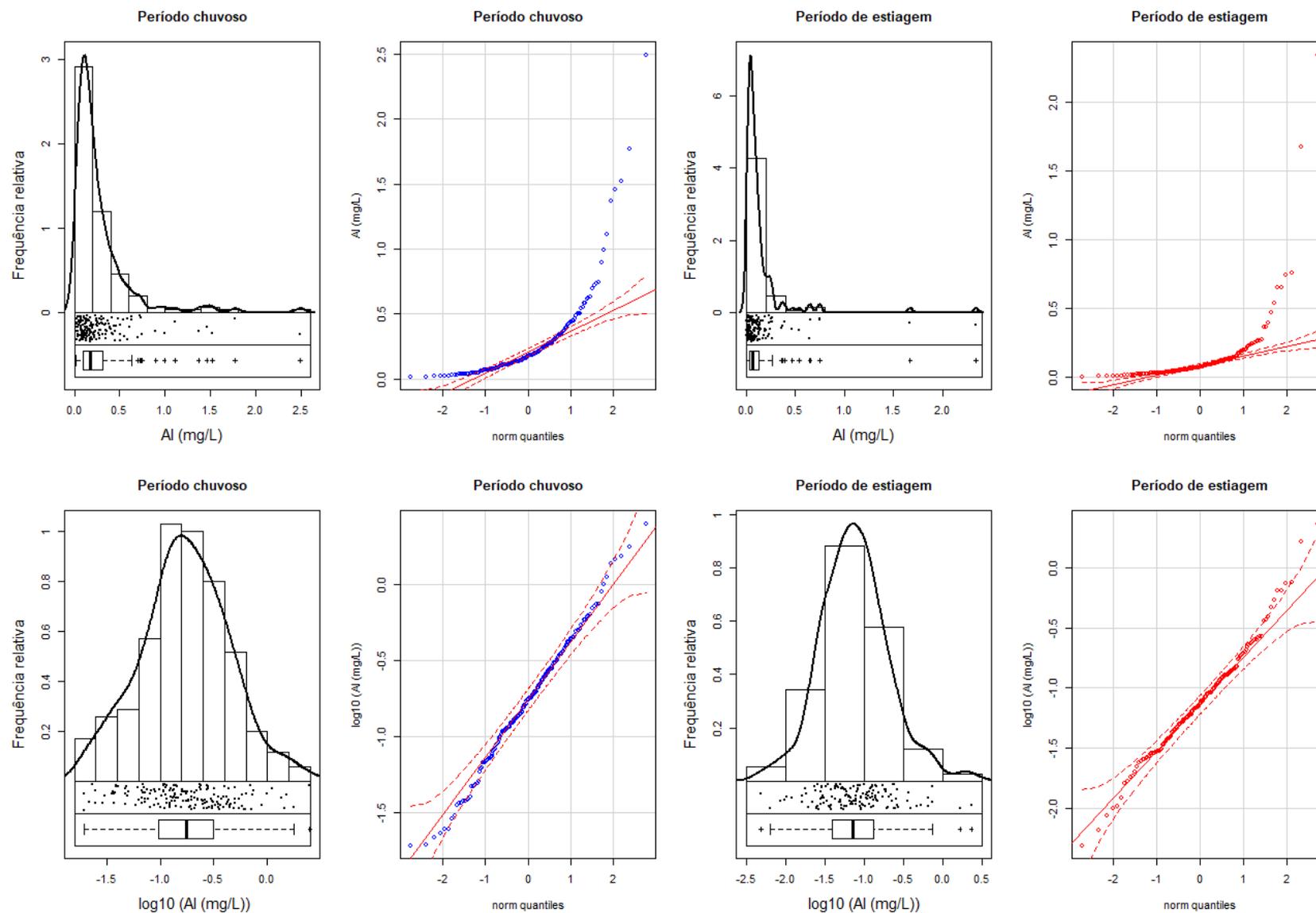
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A17 - *Boxplots*, histogramas e *q-q plots* para o cálcio nos períodos chuvoso e de estiagem.



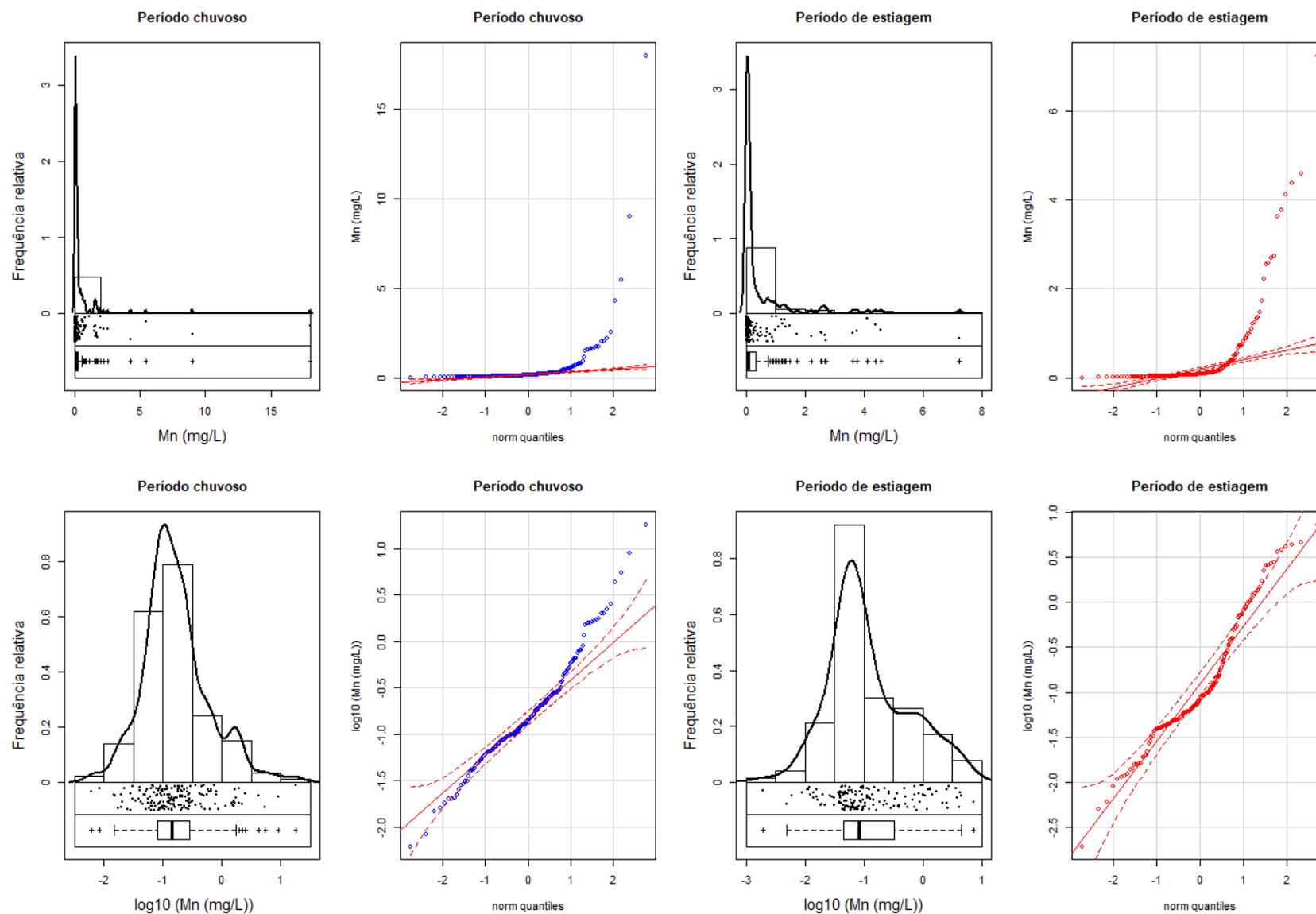
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A18 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o alumínio nos períodos chuvoso e de estiagem.



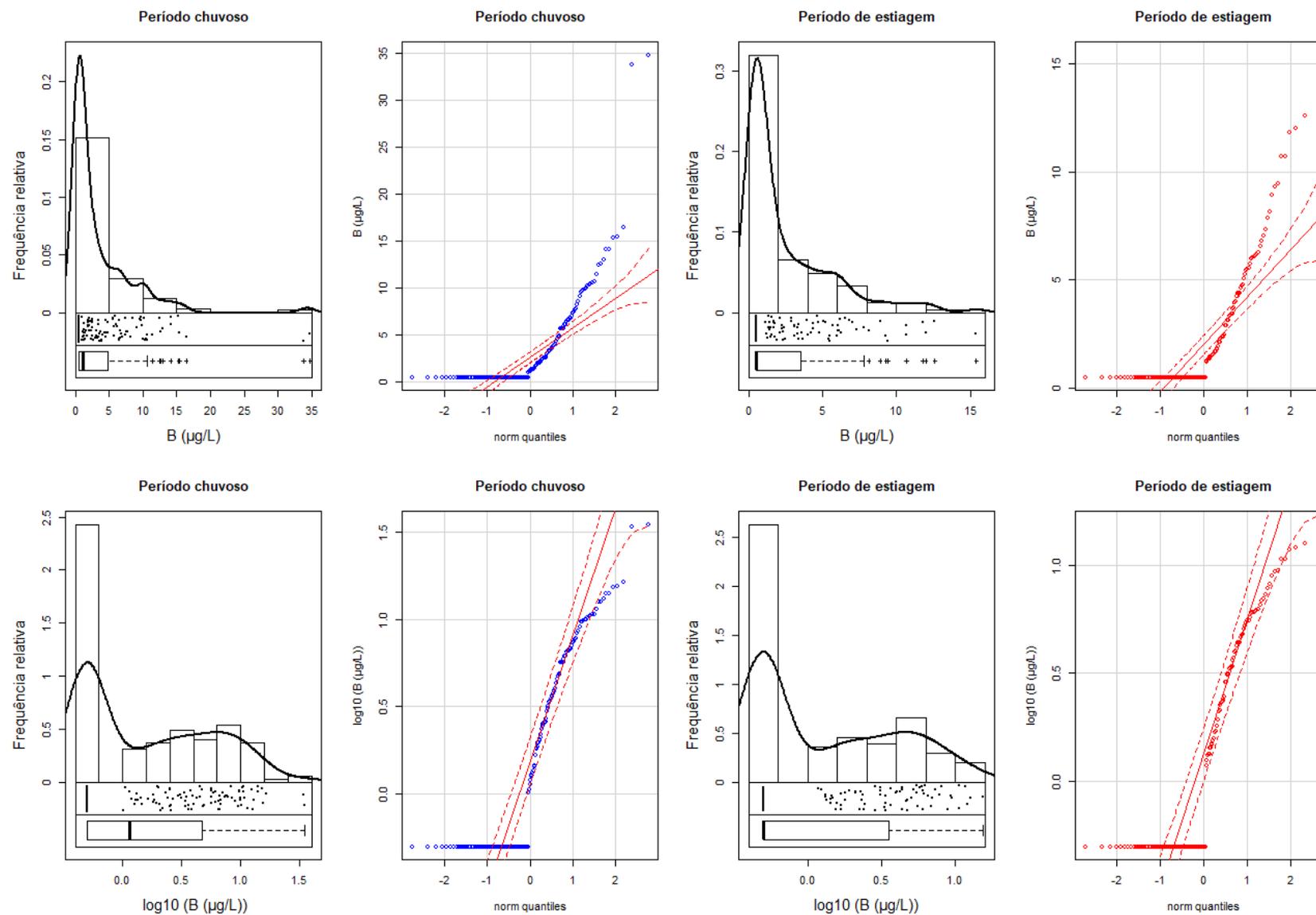
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A19 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o manganês nos períodos chuvoso e de estiagem.



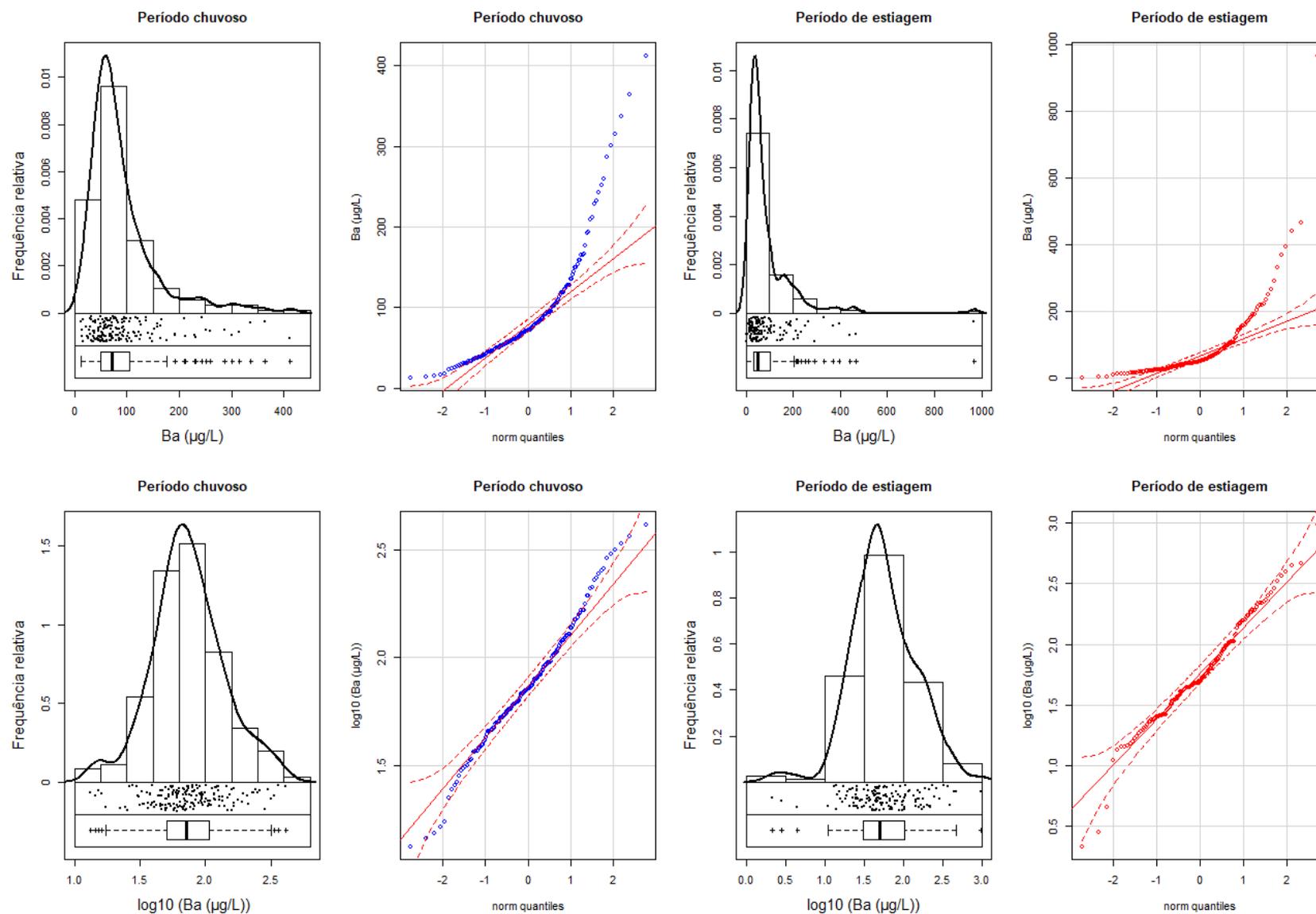
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A20 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o boro nos períodos chuvoso e de estiagem.



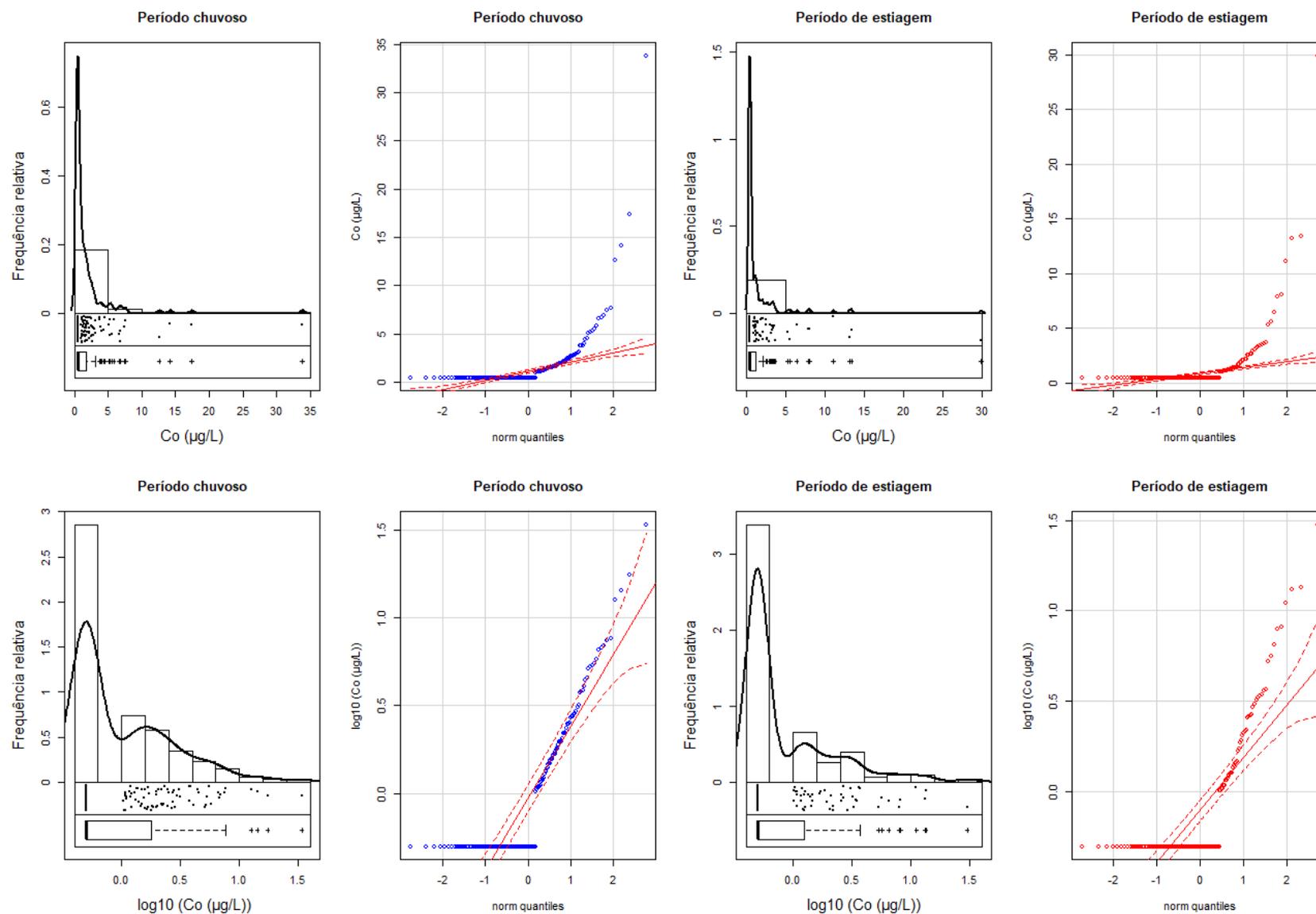
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizadas na base 10.

Figura A21 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o bário nos períodos chuvoso e de estiagem.



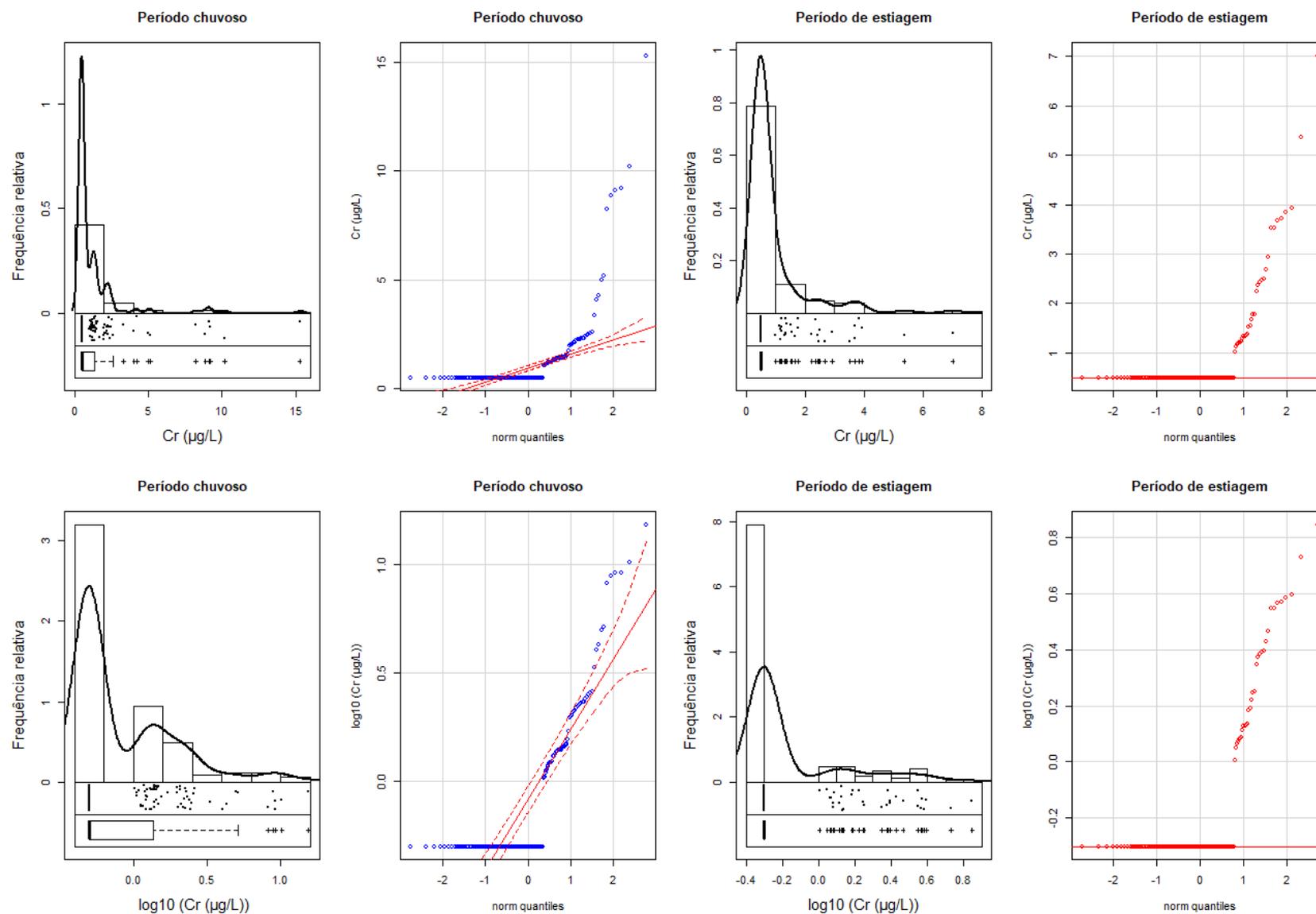
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A22 - *Boxplots*, histogramas e *q-q plots* para o cobalto nos períodos chuvoso e de estiagem.



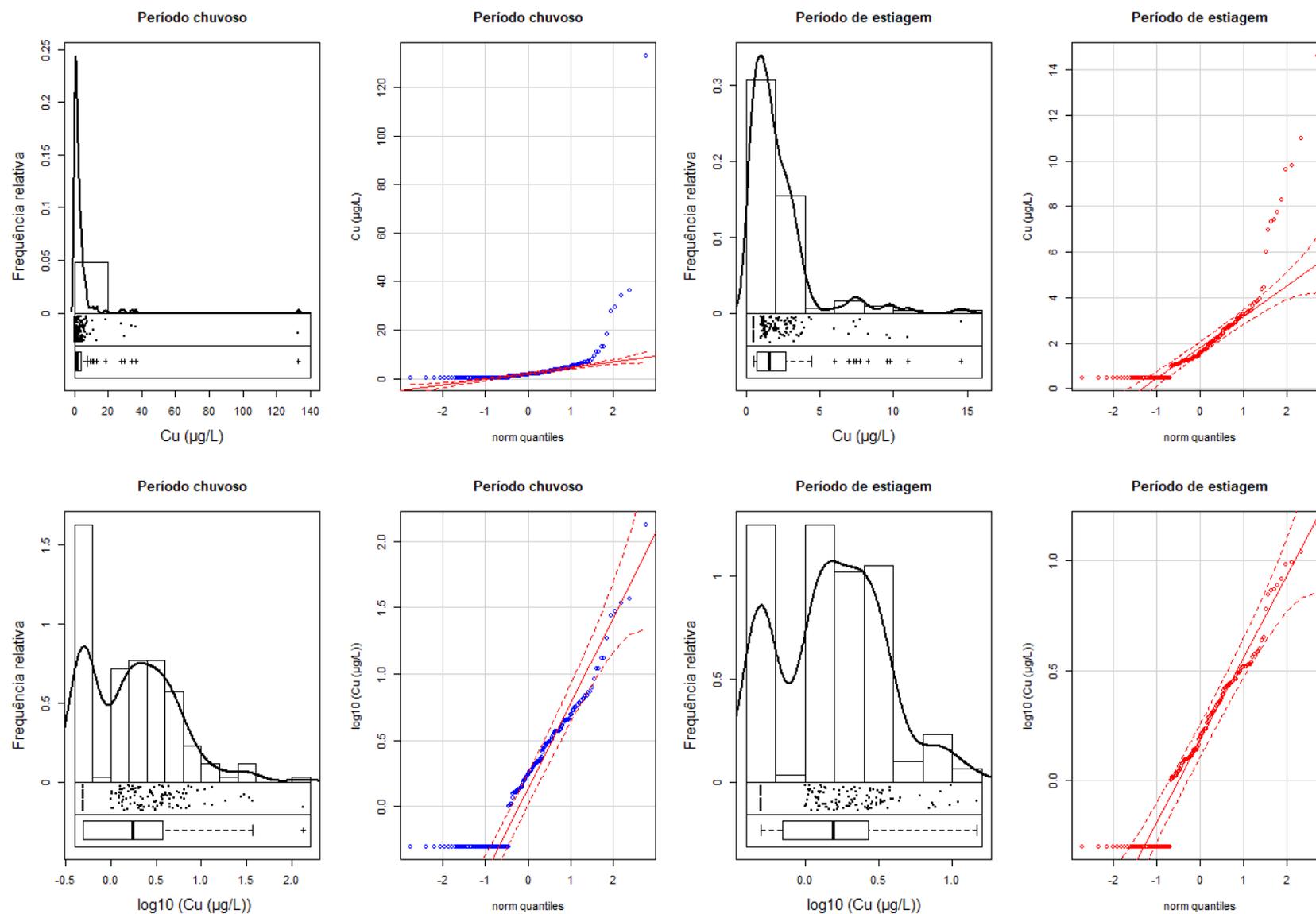
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A23 - *Boxplots*, histogramas e *q-q plots* para o cromo nos períodos chuvoso e de estiagem.



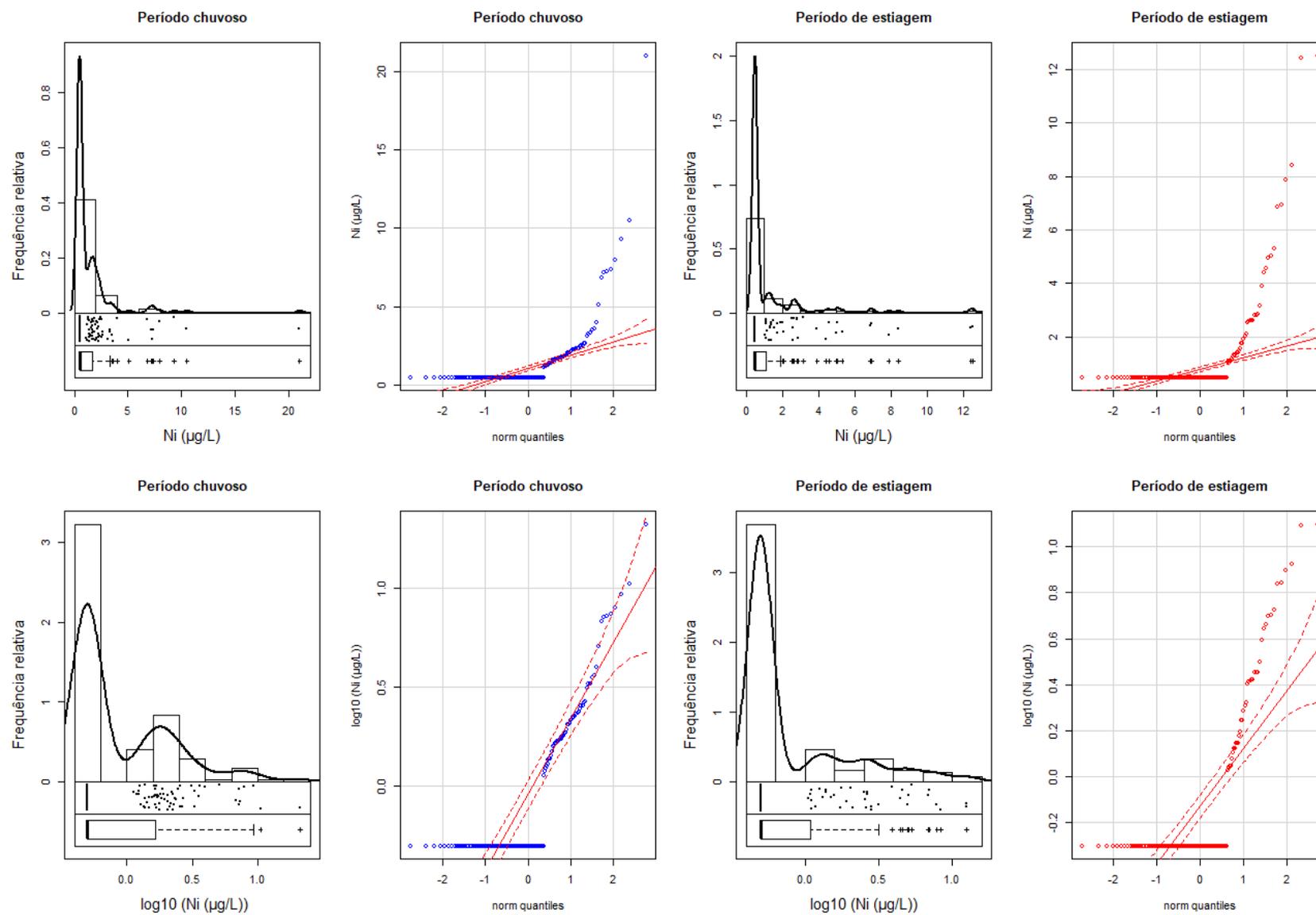
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A24 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o cobre nos períodos chuvoso e de estiagem.



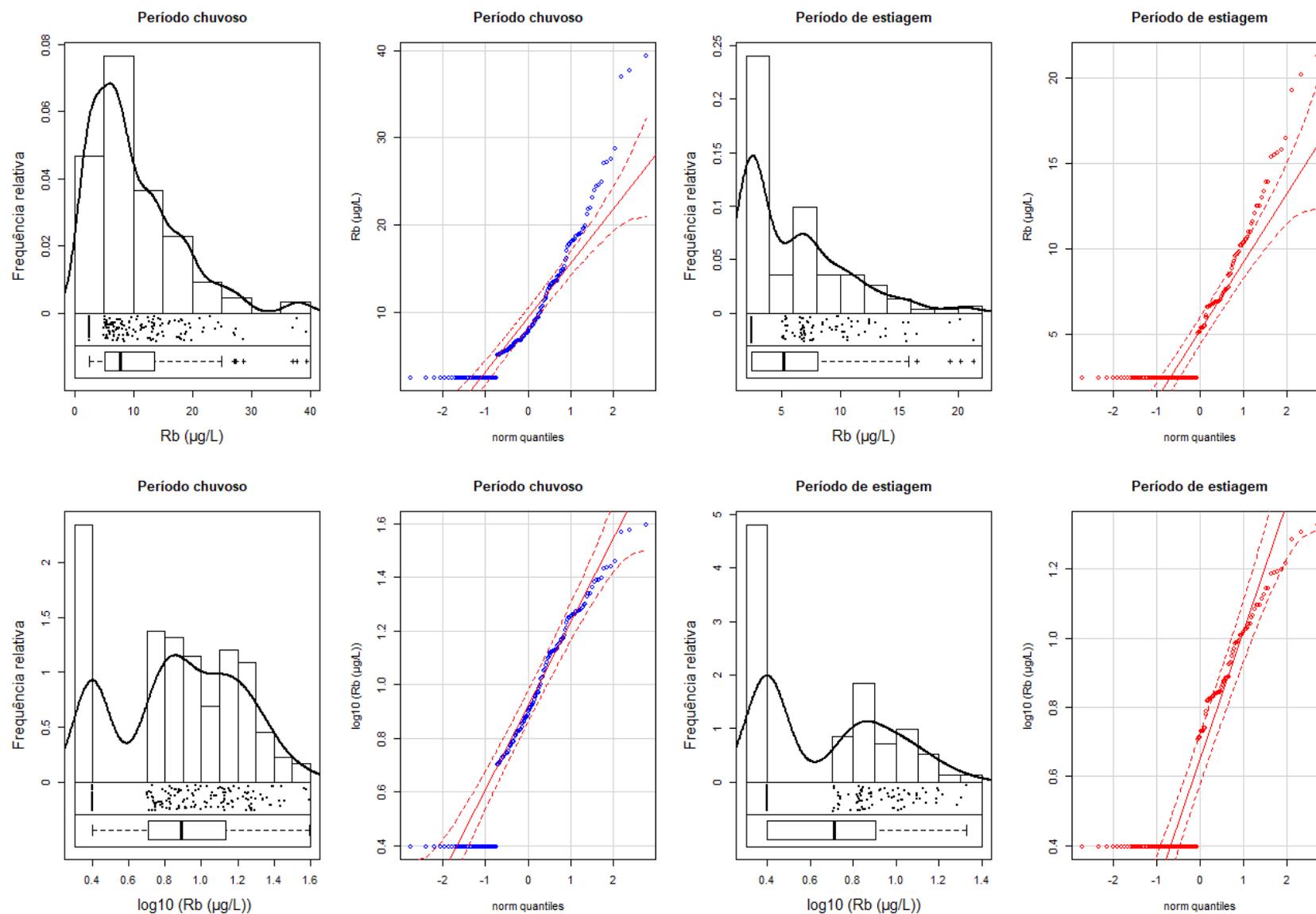
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A25 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o níquel nos períodos chuvoso e de estiagem.



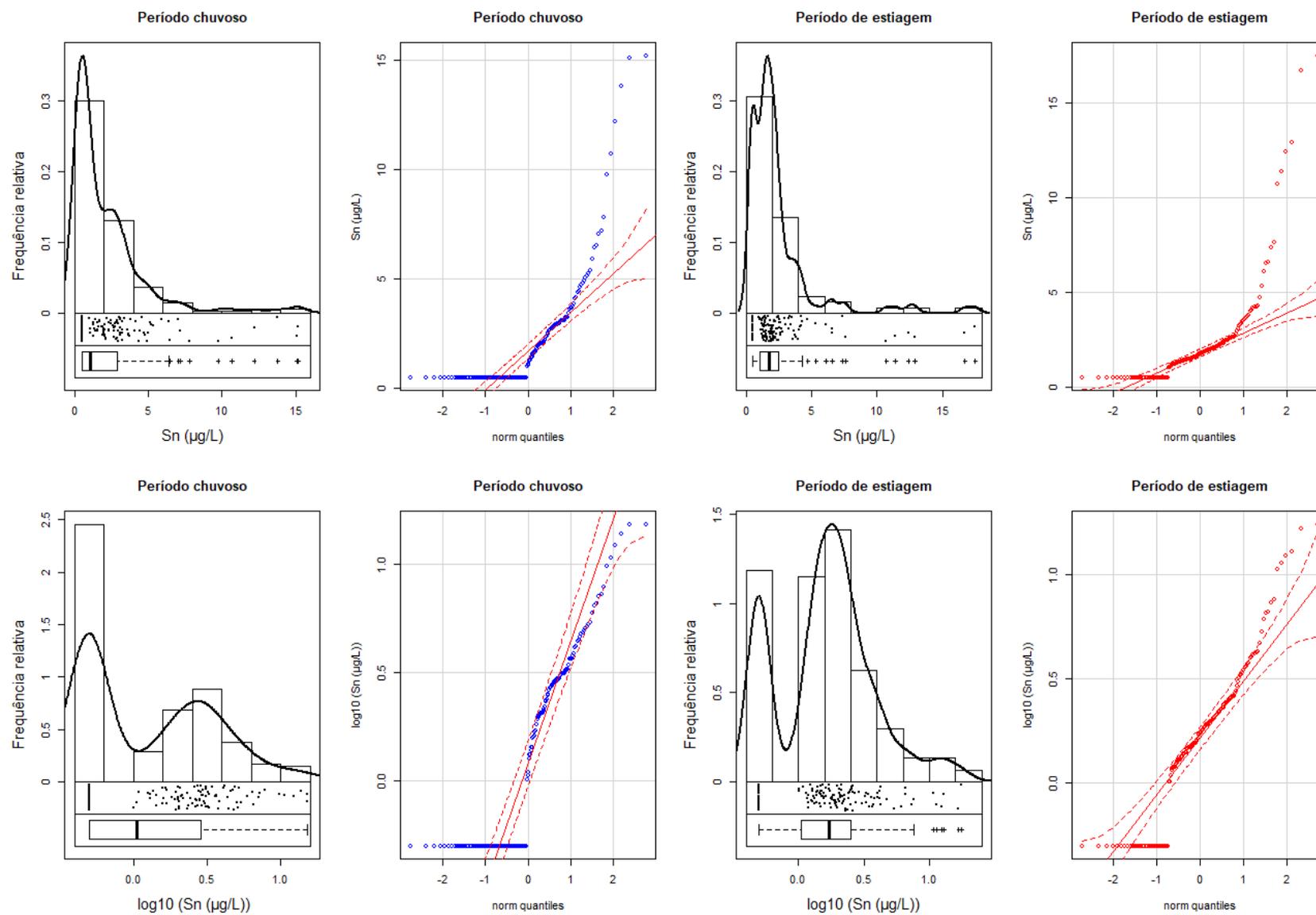
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A26 - *Boxplots*, histogramas e *q-q plots* para o rubídio nos períodos chuvoso e de estiagem.



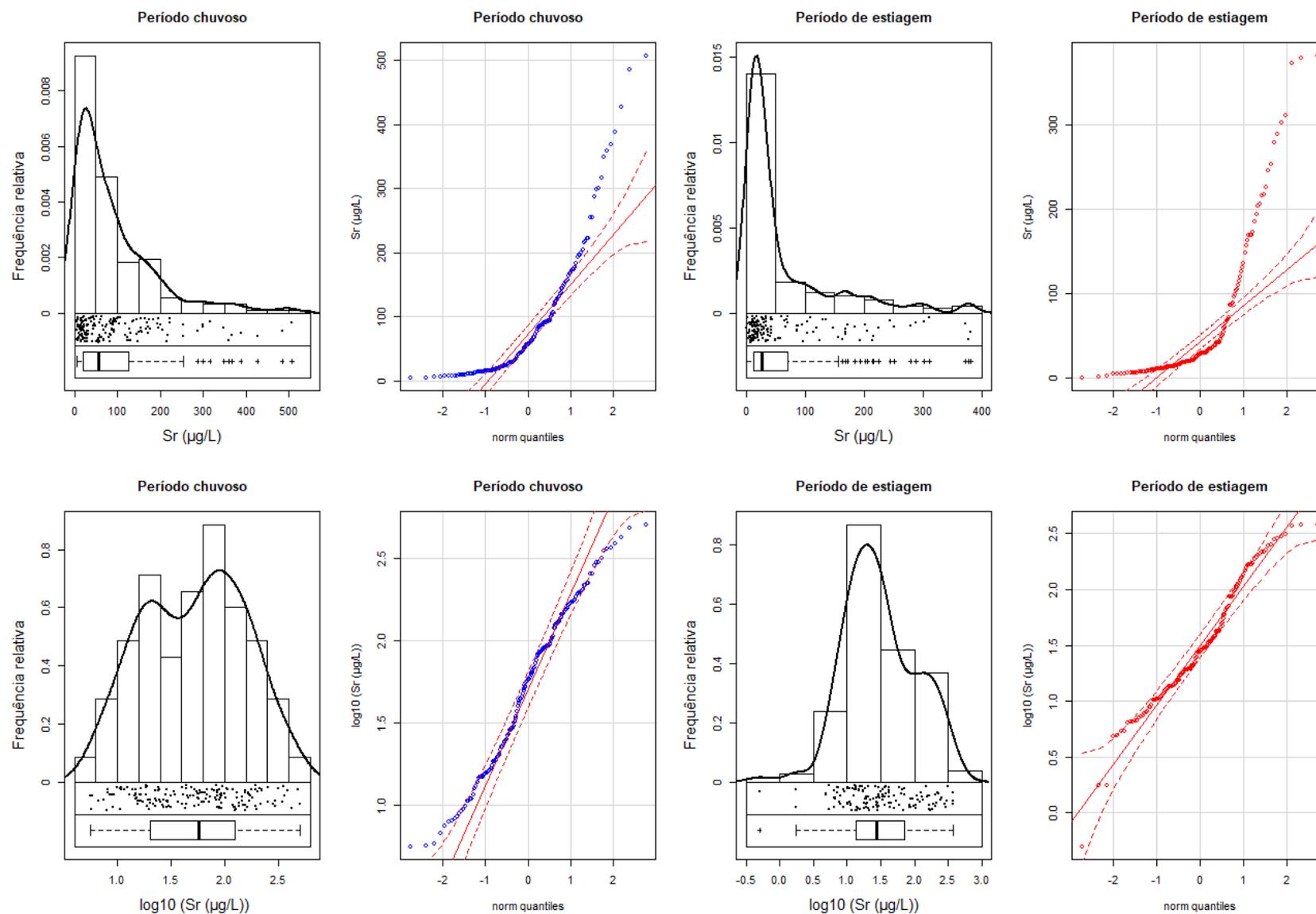
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A27 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o estanho nos períodos chuvoso e de estiagem.



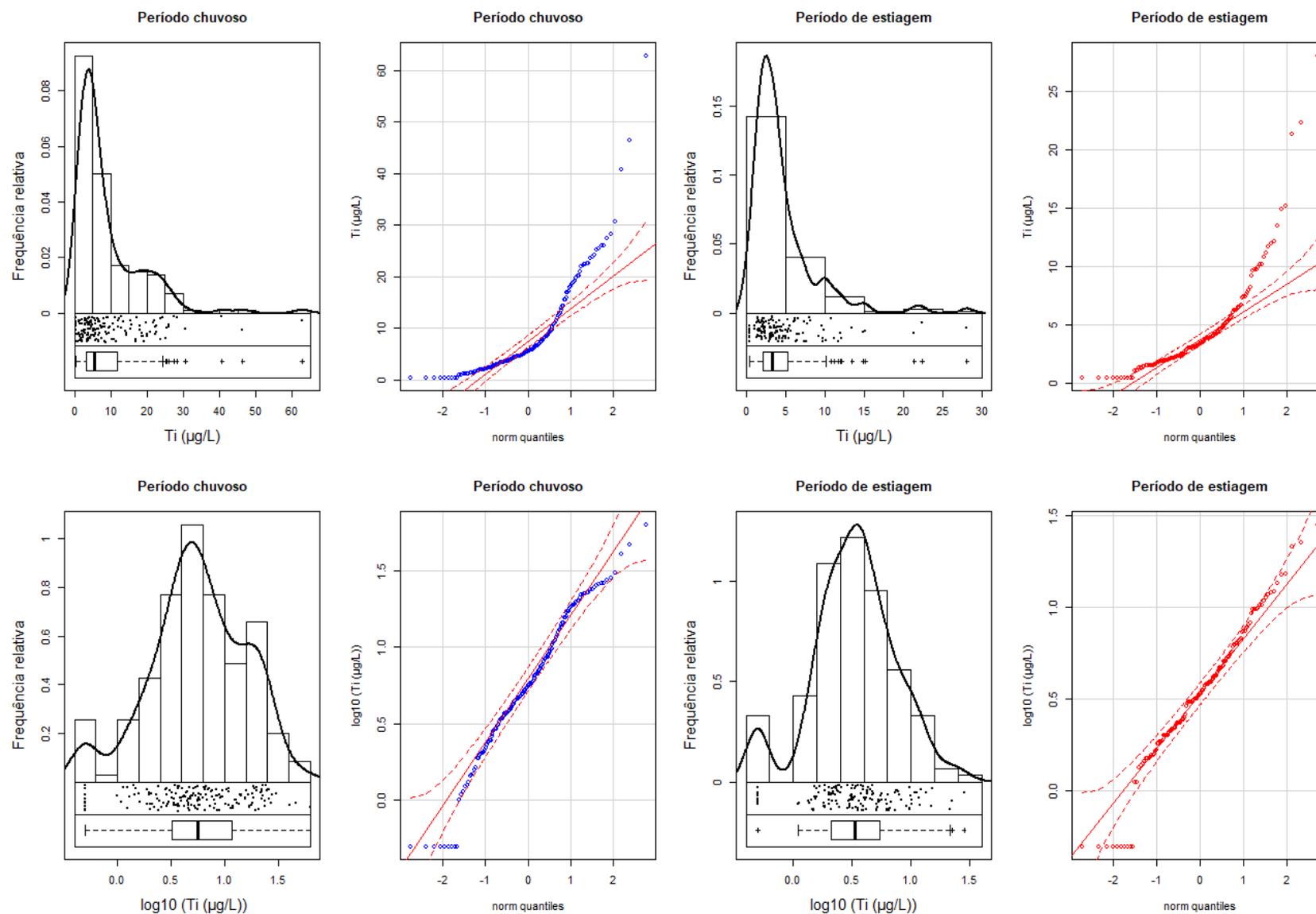
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A28 - *Boxplots*, histogramas e *q-q plots* para o estrôncio nos períodos chuvoso e de estiagem.



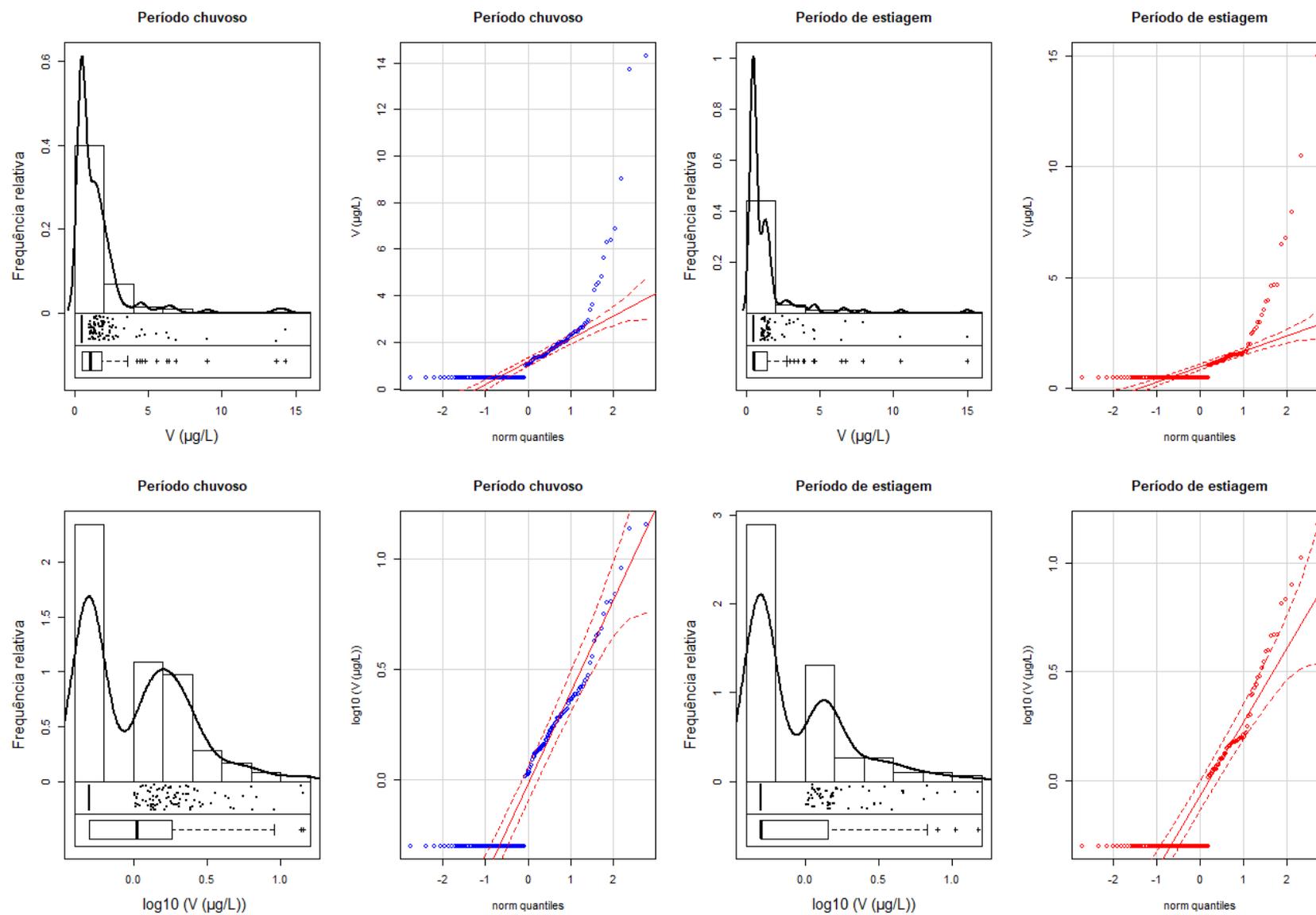
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A29 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o titânio nos períodos chuvoso e de estiagem.



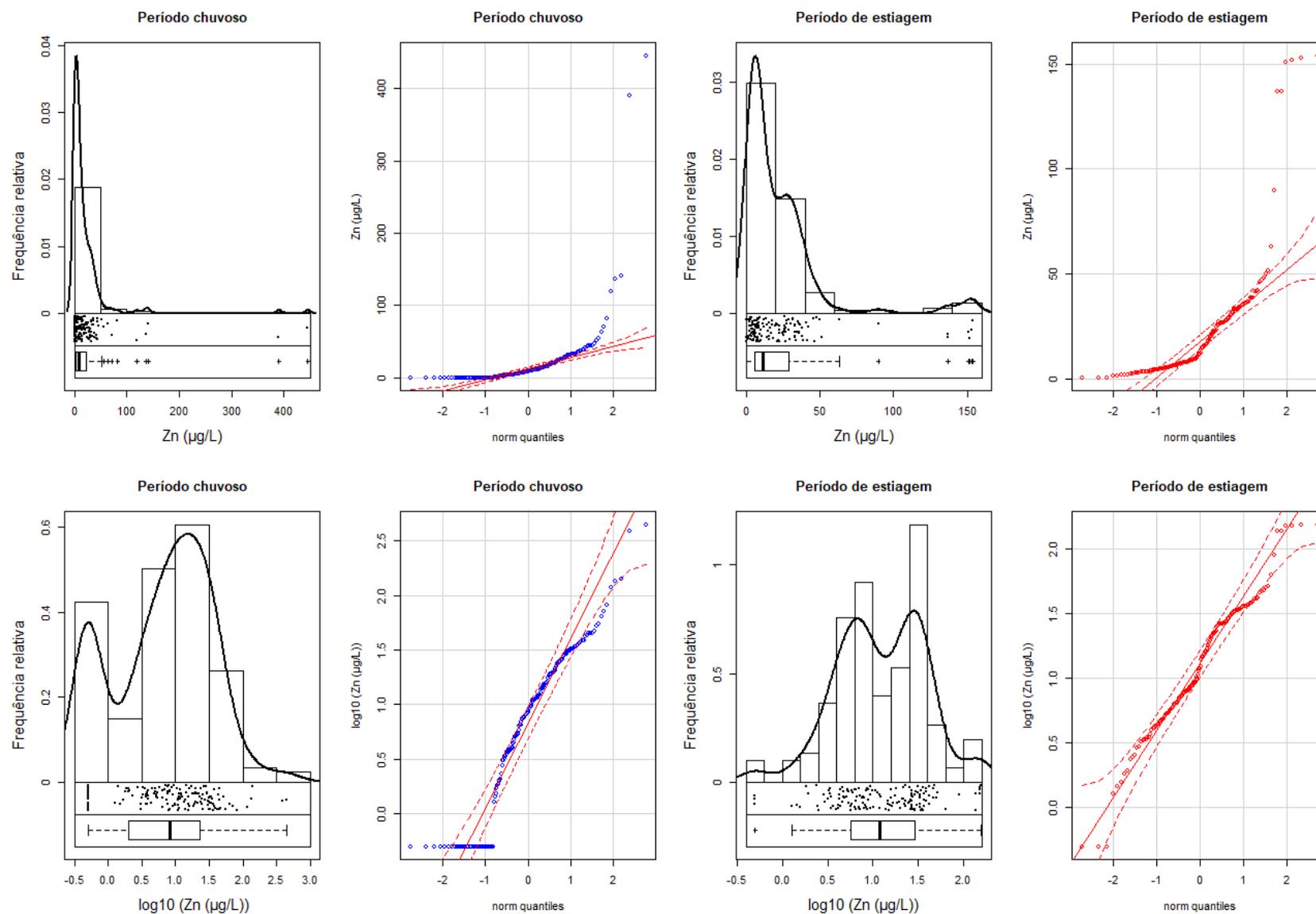
Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A30 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o vanádio nos períodos chuvoso e de estiagem.



Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Figura A31 - Boxplots, histogramas e q-q plots para o zinco nos períodos chuvoso e de estiagem.



Nota: Os dados estão expressos em suas concentrações reais, parte superior e na inferior logaritimizados na base 10.

Apêndice B

Valores do Índice da Qualidade Química da Água - IQQA

Tabela B1 – Valores do IQQA da bacia do rio Parauapebas, por estação de amostragem.

MB	Período	Latitude	Longitude	IQQA	MB	Período	Latitude	Longitude	IQQA
159	Chuvoso	-5,602510	-49,726108	32,43	388	Chuvoso	-5,923148	-49,899182	27,74
159	Estiagem	-5,602676	-49,725937	25,79	388	Estiagem	-5,923176	-49,899180	19,56
201	Chuvoso	-5,658316	-49,704914	28,84	389	Chuvoso	-5,921997	-49,894670	27,36
201	Estiagem	-5,658466	-49,704889	29,48	389	Estiagem	-5,923848	-49,895003	21,33
202	Chuvoso	-5,665467	-49,670321	28,52	393	Chuvoso	-5,939789	-50,128655	29,01
202	Estiagem	-5,665425	-49,670357	28,61	393	Estiagem	-5,939772	-50,128597	21,62
225	Chuvoso	-5,738975	-49,797771	25,23	398	Chuvoso	-5,935476	-49,821491	27,98
225	Estiagem	-5,736452	-49,798059	25,17	398	Estiagem	-5,935463	-49,821494	22,76
226	Chuvoso	-5,727230	-49,736356	31,61	399	Chuvoso	-5,984429	-49,824083	26,40
226	Estiagem	-5,727190	-49,736199	29,58	399	Estiagem	-5,984436	-49,824068	21,69
227	Chuvoso	-5,700640	-49,732717	31,61	406	Chuvoso	-5,954189	-50,107622	31,86
227	Estiagem	-5,700748	-49,732686	31,18	406	Estiagem	-5,954297	-50,107563	26,01
236	Chuvoso	-5,717956	-49,872233	24,94	409	Chuvoso	-5,943301	-50,115365	26,70
236	Estiagem	-5,718024	-49,874089	25,69	409	Estiagem	-5,943306	-50,115350	20,58
238	Chuvoso	-5,751007	-49,890275	24,54	412	Chuvoso	-5,944501	-50,182729	28,03
238	Estiagem	-5,751071	-49,890351	23,18	412	Estiagem	-5,944406	-50,182879	24,22
265	Chuvoso	-5,765669	-49,775906	29,49	420	Chuvoso	-5,957114	-50,083716	28,13
265	Estiagem	-5,765735	-49,776098	27,33	420	Estiagem	-5,957128	-50,083761	19,20
266	Chuvoso	-5,777837	-49,736124	39,48	421	Chuvoso	-5,972047	-50,141292	23,56
266	Estiagem	-5,777850	-49,736126	44,97	421	Estiagem	-5,972048	-50,141291	22,86
275	Chuvoso	-5,850631	-49,970386	37,34	424	Chuvoso	-5,976249	-50,066951	25,78
275	Estiagem	-5,850656	-49,970417	23,56	424	Estiagem	-5,976211	-50,066908	23,55
278	Chuvoso	-5,791809	-49,825488	26,32	426	Chuvoso	-6,011520	-50,134743	34,48
278	Estiagem	-5,791824	-49,825481	22,58	426	Estiagem	-6,011594	-50,134529	24,24
279	Chuvoso	-5,785136	-50,006455	27,99	437	Chuvoso	-5,984980	-49,784562	31,56
279	Estiagem	-5,785140	-50,006448	26,63	437	Estiagem	-5,984953	-49,784560	20,40
280	Chuvoso	-5,783742	-49,645964	33,27	443	Chuvoso	-5,976428	-50,011743	29,43
280	Estiagem	-5,783684	-49,645780	36,39	443	Estiagem	-5,976453	-50,011703	23,20
283	Chuvoso	-5,799611	-50,001495	44,04	444	Chuvoso	-5,965771	-50,216123	33,12
283	Estiagem	-5,799623	-50,001484	26,30	444	Estiagem	-5,965725	-50,216137	30,59
284	Chuvoso	-5,800476	-49,806276	28,50	445	Chuvoso	-6,000099	-49,910936	30,66
284	Estiagem	-5,800721	-49,806220	28,02	445	Estiagem	-6,000147	-49,910930	28,94
285	Chuvoso	-5,785011	-49,791592	28,62	446	Chuvoso	-5,987234	-49,892447	39,08
285	Estiagem	-5,785369	-49,791586	27,25	446	Estiagem	-5,987201	-49,892433	21,52
290	Chuvoso	-5,803625	-49,641630	44,66	447*	Estiagem	-5,999016	-50,211188	30,50
290	Estiagem	-5,803609	-49,641646	31,49	451	Chuvoso	-6,014408	-50,186810	33,42
291	Chuvoso	-5,791756	-49,595477	35,26	451	Estiagem	-6,014292	-50,186882	38,73
291	Estiagem	-5,791762	-49,595481	28,53	461	Chuvoso	-6,013507	-49,781605	42,90
296	Chuvoso	-5,799830	-49,625556	32,73	461	Estiagem	-6,013473	-49,781559	33,16
296	Estiagem	-5,799944	-49,625621	36,76	464	Chuvoso	-5,992106	-50,032469	26,51
323	Chuvoso	-5,826030	-49,848757	28,60	464	Estiagem	-5,992103	-50,032452	23,55
323	Estiagem	-5,825999	-49,848719	24,97	466	Chuvoso	-6,001199	-49,960536	26,30

MB	Período	Latitude	Longitude	IQQA	MB	Período	Latitude	Longitude	IQQA
340	Chuvoso	-5,854124	-49,825579	59,10	466	Estiagem	-6,001145	-49,960524	23,79
340	Estiagem	-5,854181	-49,825400	30,15	470	Chuvoso	-6,004773	-49,972444	29,72
343	Chuvoso	-5,870292	-49,736939	28,90	470	Estiagem	-6,004749	-49,972463	19,57
343	Estiagem	-5,870274	-49,736961	30,10	473	Chuvoso	-6,021214	-49,949418	28,90
344	Chuvoso	-5,863626	-49,762194	28,78	473	Estiagem	-6,021171	-49,949542	21,62
344	Estiagem	-5,863636	-49,762209	23,89	488	Chuvoso	-6,028742	-49,902673	41,86
346	Chuvoso	-5,894220	-49,824227	29,93	488	Estiagem	-6,028658	-49,902870	35,62
346	Estiagem	-5,894164	-49,824231	22,45	498	Chuvoso	-6,054185	-49,693362	59,91
377	Chuvoso	-5,914742	-49,912014	27,74	498	Estiagem	-6,054085	-49,693529	28,26
377	Estiagem	-5,914791	-49,912017	17,65	500	Chuvoso	-6,037513	-49,908199	30,37
380	Chuvoso	-5,941553	-49,791743	30,12	500	Estiagem	-6,037512	-49,908058	26,16
380	Estiagem	-5,941524	-49,791743	19,81					
501	Chuvoso	-6,040377	-49,905986	29,39	642	Chuvoso	-6,233866	-49,825917	32,31
501	Estiagem	-6,040341	-49,905979	33,39	642	Estiagem	-6,233829	-49,825955	28,93
505	Chuvoso	-6,063219	-49,680569	36,71	645	Chuvoso	-6,247375	-49,782185	31,90
505	Estiagem	-6,063248	-49,680610	29,45	645	Estiagem	-6,241200	-49,780899	31,83
509	Chuvoso	-6,052931	-49,755704	52,94	649*	Estiagem	-6,321532	-50,111830	21,09
509	Estiagem	-6,052944	-49,755693	28,58	650*	Estiagem	-6,221562	-50,298604	24,56
510	Chuvoso	-6,075426	-49,778350	29,71	661	Chuvoso	-6,245642	-50,314503	22,74
510	Estiagem	-6,075411	-49,778323	24,92	661	Estiagem	-6,245673	-50,314423	21,94
515	Chuvoso	-6,089138	-49,739567	31,22	673	Chuvoso	-6,313357	-49,790930	37,09
515	Estiagem	-6,089114	-49,739572	24,55	673	Estiagem	-6,313334	-49,790952	29,76
525	Chuvoso	-6,075102	-49,909482	40,37	675*	Estiagem	-6,294779	-50,319822	43,88
525	Estiagem	-6,075032	-49,909414	36,97	676	Chuvoso	-6,272183	-49,806999	27,78
530	Chuvoso	-6,116848	-49,671934	32,44	676	Estiagem	-6,272194	-49,806994	20,63
530	Estiagem	-6,116854	-49,671950	27,06	694*	Estiagem	-6,278908	-49,985107	30,37
532	Chuvoso	-6,098614	-49,701414	30,44	695	Chuvoso	-6,283432	-49,980756	24,99
532	Estiagem	-6,098727	-49,701453	26,58	695	Estiagem	-6,283428	-49,980729	20,89
537	Chuvoso	-6,087216	-50,087928	22,15	710	Chuvoso	-6,306785	-50,006763	28,54
537	Estiagem	-6,087147	-50,088147	21,88	710	Estiagem	-6,306806	-50,006784	22,52
541	Chuvoso	-6,123228	-49,861839	34,27	716	Chuvoso	-6,310484	-50,028978	24,25
541	Estiagem	-6,123226	-49,861826	23,28	716	Estiagem	-6,310509	-50,028973	25,14
542	Chuvoso	-6,090583	-49,865394	33,20	720	Chuvoso	-6,316660	-50,027913	33,53
542	Estiagem	-6,090538	-49,865357	33,96	720	Estiagem	-6,316486	-50,027665	27,49
547	Chuvoso	-6,095778	-49,913206	26,16	722	Chuvoso	-6,321299	-49,764902	26,13
547	Estiagem	-6,095922	-49,913191	24,95	722	Estiagem	-6,321300	-49,764907	25,23
548	Chuvoso	-6,132981	-49,902350	35,10	725	Chuvoso	-6,329409	-49,793836	35,77
548	Estiagem	-6,133036	-49,902431	25,73	725	Estiagem	-6,329406	-49,793850	24,59
552	Chuvoso	-6,166772	-50,192023	21,12	745	Chuvoso	-6,381471	-49,732238	30,83
552	Estiagem	-6,166873	-50,192141	24,14	745	Estiagem	-6,381507	-49,732316	28,42
557*	Estiagem	-6,105928	-50,081869	25,97	749	Chuvoso	-6,375837	-49,821066	37,17
558*	Estiagem	-6,179838	-50,021448	21,13	749	Estiagem	-6,375843	-49,821061	28,82
563	Chuvoso	-6,121891	-50,177231	36,26	754	Chuvoso	-6,365096	-50,116933	20,16
563	Estiagem	-6,121935	-50,177264	22,20	754	Estiagem	-6,365119	-50,116926	27,14

MB	Período	Latitude	Longitude	IQQA	MB	Período	Latitude	Longitude	IQQA
574	Chuvoso	-6,142931	-50,229984	25,05	758	Chuvoso	-6,426390	-50,246521	22,26
574	Estiagem	-6,142979	-50,229814	25,60	758	Estiagem	-6,426281	-50,246518	23,41
583	Chuvoso	-6,167178	-49,936437	31,06	765	Chuvoso	-6,377149	-50,034644	36,64
583	Estiagem	-6,166366	-49,936925	25,98	765	Estiagem	-6,376998	-50,034983	29,00
599	Chuvoso	-6,163713	-49,890291	29,59	766	Chuvoso	-6,379339	-50,029645	24,56
599	Estiagem	-6,163831	-49,890163	24,71	766	Estiagem	-6,379632	-50,029489	23,53
607	Chuvoso	-6,171791	-49,914663	30,51	768	Chuvoso	-6,426507	-50,175568	28,35
607	Estiagem	-6,171992	-49,914637	25,74	768	Estiagem	-6,426590	-50,175572	23,22
608	Chuvoso	-6,227730	-49,889709	29,11	772	Chuvoso	-6,408255	-49,827103	46,19
608	Estiagem	-6,227725	-49,889671	21,75	772	Estiagem	-6,408032	-49,827122	38,00
620	Estiagem	-6,188421	-50,187819	27,07	778	Chuvoso	-6,410478	-49,813165	56,24
622	Estiagem	-6,183435	-50,164321	18,12	778	Estiagem	-6,410465	-49,813172	43,09
630	Chuvoso	-6,202059	-49,971080	23,46	780	Chuvoso	-6,413846	-50,246310	20,52
630	Estiagem	-6,202122	-49,971261	24,34	780	Estiagem	-6,413456	-50,245965	21,96
631	Chuvoso	-6,209073	-49,967520	36,42	781	Chuvoso	-6,397542	-50,103148	26,61
631	Estiagem	-6,209467	-49,966815	26,14	781	Estiagem	-6,397602	-50,103193	25,36
637	Chuvoso	-6,196188	-49,804237	37,50	782	Chuvoso	-6,405357	-50,049391	37,53
637	Estiagem	-6,196214	-49,804199	26,22	782	Estiagem	-6,405251	-50,049135	30,89
638	Chuvoso	-6,217427	-49,769264	25,80	783	Chuvoso	-6,418262	-50,010726	48,17
638	Estiagem	-6,217420	-49,769252	24,03	783	Estiagem	-6,418261	-50,010741	39,86
640*	Estiagem	-6,189107	-50,132813	30,55	792	Chuvoso	-6,434435	-50,197732	29,46
					792	Estiagem	-6,434336	-50,197715	25,69
798	Chuvoso	-6,452483	-49,797705	55,46	898	Chuvoso	-6,627705	-49,901171	39,91
798	Estiagem	-6,452474	-49,797691	54,61	898	Estiagem	-6,628100	-49,901298	41,82
799	Chuvoso	-6,435400	-49,791498	43,77	900	Chuvoso	-6,648911	-49,856131	38,96
799	Estiagem	-6,435358	-49,791480	40,12	900	Estiagem	-6,649140	-49,856131	40,53
802	Chuvoso	-6,430348	-50,186332	29,68	904	Chuvoso	-6,643138	-50,036590	37,02
802	Estiagem	-6,430477	-50,186056	22,23	904	Estiagem	-6,646609	-50,037872	32,23
806	Chuvoso	-6,454634	-50,223836	31,28	908	Chuvoso	-6,646643	-49,911691	39,00
806	Estiagem	-6,454841	-50,223897	38,10	908	Estiagem	-6,646534	-49,911676	38,65
814*	Chuvoso	-6,456682	-49,833546	61,06	921*	Chuvoso	-6,655030	-49,804771	58,70
815	Chuvoso	-6,455352	-49,830833	41,54	922*	Chuvoso	-6,655613	-49,780790	59,90
815	Estiagem	-6,455630	-49,830454	43,36	923	Chuvoso	-6,653958	-50,024856	38,69
816	Chuvoso	-6,483235	-50,319376	41,64	923	Estiagem	-6,653982	-50,024851	33,80
816	Estiagem	-6,483433	-50,319285	44,34	931*	Chuvoso	-6,667922	-50,247594	38,72
818*	Chuvoso	-6,483487	-49,922836	56,01	936	Chuvoso	-6,685822	-50,184290	49,59
819	Chuvoso	-6,513646	-49,971540	66,47	936	Estiagem	-6,682796	-50,180026	47,87
819	Estiagem	-6,513651	-49,971572	44,46	939	Chuvoso	-6,690986	-50,196666	36,85
831	Chuvoso	-6,493098	-50,301806	49,92	939	Estiagem	-6,691263	-50,196716	45,32
831	Estiagem	-6,493168	-50,301775	31,35	940	Chuvoso	-6,697707	-49,833040	31,83
832	Chuvoso	-6,512847	-50,143942	37,09	940	Estiagem	-6,698370	-49,834080	40,08
832	Estiagem	-6,512863	-50,143998	151,69	941*	Chuvoso	-6,696127	-49,814092	36,20
833	Chuvoso	-6,501328	-49,876205	30,81	950	Chuvoso	-6,720732	-50,022576	41,55
833	Estiagem	-6,501301	-49,876200	27,37	950	Estiagem	-6,720675	-50,022466	40,37

MB	Período	Latitude	Longitude	IQQA	MB	Período	Latitude	Longitude	IQQA
836	Chuvoso	-6,519574	-50,124424	32,32	951*	Chuvoso	-6,715133	-50,233386	49,22
836	Estiagem	-6,519557	-50,124433	61,96	952*	Chuvoso	-6,723334	-50,053686	46,78
841	Chuvoso	-6,514419	-50,052299	40,59	959*	Chuvoso	-6,750058	-50,057836	33,14
841	Estiagem	-6,514797	-50,052092	40,75	964	Chuvoso	-6,731163	-50,242386	37,50
844	Chuvoso	-6,525510	-49,910585	42,27	964	Estiagem	-6,731363	-50,242224	51,67
844	Estiagem	-6,525479	-49,910563	35,71	968*	Chuvoso	-6,770695	-49,897652	41,20
845*	Chuvoso	-6,516848	-50,217484	40,09	969*	Chuvoso	-6,769842	-49,831297	41,23
846	Chuvoso	-6,563940	-50,244370	42,65	971	Chuvoso	-6,738606	-50,035062	30,00
846	Estiagem	-6,559005	-50,239466	41,07	971	Estiagem	-6,738560	-50,035332	37,04
852	Chuvoso	-6,575325	-49,746648	38,69	976	Chuvoso	-6,795435	-49,960074	42,85
852	Estiagem	-6,575292	-49,746926	29,23	976	Estiagem	-6,795550	-49,960040	35,23
853	Chuvoso	-6,544508	-50,039476	45,69	977*	Chuvoso	-6,807303	-50,055258	35,08
853	Estiagem	-6,544598	-50,039290	33,93	981*	Chuvoso	-6,847174	-50,042322	57,35
857*	Chuvoso	-6,559956	-49,777837	52,18	983*	Chuvoso	-6,814705	-49,983594	37,40
865	Chuvoso	-6,556061	-49,949556	56,96	984*	Chuvoso	-6,800156	-49,909874	40,68
865	Estiagem	-6,556068	-49,949565	42,14	985*	Chuvoso	-6,806726	-49,966542	37,32
867	Chuvoso	-6,561712	-50,070733	56,10	992*	Chuvoso	-6,831452	-49,932331	34,35
867	Estiagem	-6,561642	-50,070762	78,49	994	Chuvoso	-6,813552	-50,170585	37,82
872	Chuvoso	-6,577896	-50,055114	39,57	994	Estiagem	-6,813263	-50,170461	27,78
872	Estiagem	-6,577786	-50,055139	35,09	997*	Chuvoso	-6,836559	-50,067782	33,33
873	Chuvoso	-6,602959	-49,935159	38,55	998*	Chuvoso	-6,858333	-50,054698	37,09
873	Estiagem	-6,602975	-49,935225	36,03	1000	Chuvoso	-6,853125	-50,180665	42,57
875	Chuvoso	-6,588770	-49,791240	41,93	1000	Estiagem	-6,853073	-50,180646	29,70
875	Estiagem	-6,588756	-49,791259	35,83	1010	Chuvoso	-6,922185	-50,037408	56,33
879	Chuvoso	-6,579998	-49,834389	69,93	1010	Estiagem	-6,922252	-50,037451	34,61
879	Estiagem	-6,580000	-49,834404	53,44	1011	Chuvoso	-6,910114	-50,019284	43,60
890*	Chuvoso	-6,603847	-50,138493	46,63	1011	Estiagem	-6,909733	-50,019385	43,70
894*	Chuvoso	-6,613481	-50,109132	41,84	1027*	Chuvoso	-6,980851	-49,988633	43,26
895	Chuvoso	-6,624626	-50,080854	43,94	1033*	Chuvoso	-6,998188	-49,997226	33,88
895	Estiagem	-6,625007	-50,080586	41,81	1035*	Chuvoso	-7,002965	-50,219404	27,75
896*	Chuvoso	-6,616058	-49,773261	74,95	1038*	Estiagem	-7,051526	-50,057799	117,09
1039*	Chuvoso	-7,017498	-50,176050	33,22	1049*	Chuvoso	-7,109894	-50,229788	30,31
1044*	Chuvoso	-7,039840	-50,270741	31,47	1050*	Chuvoso	-7,071239	-50,240825	32,02
1045*	Chuvoso	-7,068107	-50,238294	31,85	1055*	Chuvoso	-7,165414	-50,067612	40,94
1047*	Chuvoso	-7,078807	-50,306609	33,81					

Nota: MB – Microbacia; IQQA – Índice de Qualidade Química da Água; **Negrito**: IQQA ruim; **Negrito**: IQQA muito ruim; **Negrito**: IQQA péssimo. *Microbacia com amostra em um único período.

Apêndice C

Resultados analíticos para os parâmetros físico-químicos, ânions, P_{total} e metais totais em águas superficiais da bacia do rio Parauapebas nos períodos chuvoso e de estiagem

Tabela C1 – Resultados analíticos dos parâmetros físico-químicos, ânions e P_{total} em águas superficiais da bacia do rio Parauapebas, para o período chuvoso.

MB	Latitude	Longitude	LD	0,1	-	-	1	-	5	0,1	0,5	0,01	0,05	2,2	0,5
			OD	pH	Temperatura	CE	Eh	STD	Turbidez	Cl ⁻	P _{total}	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	
			mg/L	-	°C	µS/cm	mV	mg/L	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
159	-5,6025	-49,7261	6,8	7,83	26,9	65	512,1	95	28,9	4,13	0,06	0,05	<2,2	1,51	
201	-5,6583	-49,7049	6,7	7,58	26,4	67	517,8	44	31,4	4,21	0,04	0,05	<2,2	1,32	
202	-5,6655	-49,6703	4,7	7,24	24,1	76	218,7	85	12	4,17	0,04	0,05	<2,2	0,5	
225	-5,7390	-49,7978	5,3	7,19	24,6	47	513,5	70	6,55	3,1	0,02	0,05	<2,2	0,5	
226	-5,7272	-49,7364	6,9	7,68	26,8	70	495,6	80	40,7	4,3	0,05	0,05	<2,2	1,55	
227	-5,7006	-49,7327	6,3	7,57	25	53	508,6	101	45,4	3,45	0,05	0,05	<2,2	0,5	
236	-5,7180	-49,8722	5,6	6,96	24,9	59	594,54	68	7,2	3,8	0,03	0,05	<2,2	0,5	
238	-5,7510	-49,8903	6,7	6,86	24,7	78	596,32	45	21,2	4,65	0,02	0,07	<2,2	0,5	
265	-5,7657	-49,7759	6,8	6,97	27,8	83	551,2	84	40,6	4,4	0,07	0,05	<2,2	2,29	
266	-5,7778	-49,7361	5,3	8,2	25,5	75	314,2	143	37,5	2,27	0,04	0,05	3,68	0,5	
275	-5,8506	-49,9704	6,4	6,92	26,4	43	455,07	53	35,3	2,6	0,02	0,05	12,6	0,5	
278	-5,7918	-49,8255	5,2	6,86	24,2	52	547,3	45	7,46	3,54	0,04	0,05	<2,2	0,5	
279	-5,7851	-50,0065	5,3	6,82	26,4	45	458,04	39	34,8	3,47	0,04	0,05	<2,2	0,5	
280	-5,7837	-49,6460	5,6	7,67	26,7	76	377	49	29,2	3,97	0,04	0,05	2,55	0,56	
283	-5,7996	-50,0015	6,1	6,75	26,6	43	482,43	59	238	2,38	0,11	0,05	<2,2	0,94	
284	-5,8005	-49,8063	7,4	7,09	28	87	532,6	78	44,6	4,56	0,06	0,05	<2,2	1,73	
285	-5,7850	-49,7916	6,9	7,18	27,7	85	522,2	79	39,6	4,35	0,05	0,05	<2,2	1,69	
290	-5,8036	-49,6416	5	9,34	25,7	55	368,3	96	27,3	2,59	0,05	0,05	2,38	0,5	
291	-5,7918	-49,5955	6,5	8,34	25,9	90	336,2	93	30,8	6,32	0,04	0,05	<2,2	0,57	
296	-5,7998	-49,6256	3,6	6,79	29,9	77	340	71	24,5	4,18	0,05	0,05	<2,2	0,5	
323	-5,8260	-49,8488	6,7	6,95	28,2	48	510,7	76	71,6	4,03	0,04	0,05	<2,2	0,5	
340	-5,8541	-49,8256	5,8	6,72	24,2	48	491,9	94	363	2,68	0,21	0,05	<2,2	0,83	
343	-5,8703	-49,7369	6,6	6,33	25,1	91	192,11	67	7,6	1,24	0,04	0,05	<2,2	0,5	
344	-5,8636	-49,7622	5,7	6,88	31,1	57	252,76	38	22,1	1,73	0,02	0,05	3,71	0,5	
346	-5,8942	-49,8242	5,5	6,36	26,7	63	219,5	14	23,6	1,3	0,02	0,07	2,37	0,5	
377	-5,9147	-49,9120	7,5	6,9	24,8	35	385,4	45	82,8	1,77	0,05	0,07	<2,2	0,65	
380	-5,9416	-49,7917	5,8	6,5	25,3	32	268,9	17	38,1	2,51	0,04	0,05	2,66	0,54	
388	-5,9231	-49,8992	6,4	6,77	25,1	29	333,8	20	67,2	1,93	0,04	0,05	<2,2	0,59	
389	-5,9220	-49,8947	7,1	7,23	28,3	95	516,6	88	15,1	5,17	0,04	0,06	<2,2	2,31	
393	-5,9398	-50,1287	5,8	6,37	26,4	37	388,43	31	36,2	1,11	0,03	0,05	<2,2	0,5	
398	-5,9355	-49,8215	5,2	6,6	26,1	46	285,6	37	13,1	1,64	0,03	0,12	<2,2	0,5	
399	-5,9844	-49,8241	5,3	6,8	26,5	42	236,6	40	22,7	2,18	0,02	0,11	<2,2	0,5	
406	-5,9542	-50,1076	5,7	6,13	27,1	31	345,24	16	64,9	1,02	0,03	0,05	<2,2	0,5	
409	-5,9433	-50,1154	6	6,32	26,5	38	277,4	31	9,44	1,17	0,02	0,05	<2,2	3,17	
412	-5,9445	-50,1827	5,1	7,15	24	32	371,2	97	31,7	1,57	0,04	0,05	<2,2	0,5	
420	-5,9571	-50,0837	5,2	6,59	27,1	38	380,23	37	15	1,2	0,02	0,05	2,22	2,44	
421	-5,9720	-50,1413	7	6,53	26,8	49	406,23	31	6,93	1,44	<0,01	0,05	<2,2	5,43	
424	-5,9762	-50,0670	5,3	6,7	26,2	98	368	37	11,4	2,13	0,01	0,05	<2,2	0,5	
426	-6,0115	-50,1347	7	6,52	26,2	22	509,2	77	130	1,82	0,06	0,05	<2,2	7,05	
437	-5,9850	-49,7846	6,6	6,27	25,2	63	326,3	52	33,3	3,5	0,03	0,05	3,31	0,68	
443	-5,9764	-50,0117	4,6	6,12	24,6	23	426,32	51	20,9	1,49	0,01	0,05	<2,2	0,5	
444	-5,9658	-50,2161	4,5	5,92	26,4	17	353,2	35	24,3	1,27	0,04	0,05	<2,2	0,5	

MB	Latitude	Longitude	LD		Temperatura	CE	Eh	STD	Turbidez	Cl ⁻	P _{total}	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
			0,1	-										
			OD	pH										
			mg/L	-	°C	µS/cm	mV	mg/L	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
445	-6,0001	-49,9109	6,3	7,25	26,5	76	422,2	88	25,7	4,89	0,07	0,05	<2,2	1,93
446	-5,9872	-49,8924	5,2	5,06	26,6	43	347,7	46	28	2,3	0,04	0,1	<2,2	1,26
451	-6,0144	-50,1868	8,8	7,91	23,6	72	361,3	151	8,81	1,5	0,03	0,05	5,12	32,3
461	-6,0135	-49,7816	6,5	6	24	110	387,1	89	106	4,3	0,11	0,08	<2,2	1,79
464	-5,9921	-50,0325	5,1	6,63	23,7	37	549,2	61	17,8	2,78	0,02	0,05	<2,2	0,5
466	-6,0012	-49,9605	5,2	6,61	28,1	45	360,76	40	10,8	1,45	0,01	0,05	<2,2	0,5
470	-6,0048	-49,9724	5,9	7,85	24,9	53	308,53	34	11,5	2,57	0,02	0,05	2,45	0,5
473	-6,0212	-49,9494	5	6,45	27,8	49	502,3	57	18,3	1,72	0,02	0,05	<2,2	1,77
488	-6,0287	-49,9027	3,5	6,9	27,2	121	311,4	126	68,4	8,14	0,12	0,06	<2,2	6,44
498	-6,0542	-49,6934	4,1	7,73	23,9	187	274,3	112	248	6,63	0,18	0,05	<2,2	3,38
500	-6,0375	-49,9082	6,5	7,21	27,7	113	536,32	101	15,9	6,51	0,06	0,06	<2,2	2,44
501	-6,0404	-49,9060	6,5	7,26	27,7	112	529,5	81	17,1	5,97	0,05	0,06	<2,2	2,22
505	-6,0632	-49,6806	7,7	7,78	24,2	186	271,5	125	58,9	6,68	0,07	0,05	<2,2	2,18
509	-6,0529	-49,7557	6,6	4,4	24,6	108	389,4	84	90,8	3,76	0,13	0,05	<2,2	0,92
510	-6,0754	-49,7784	6,6	6,41	25,3	94	343,2	73	20,8	4,28	0,04	0,05	<2,2	0,5
515	-6,0891	-49,7396	6,5	6,13	25,6	69	331,1	63	17	3,36	0,05	0,05	<2,2	0,5
525	-6,0751	-49,9095	3,3	6,74	27	94	334,4	60	24,7	6,65	0,11	0,07	3,14	3,97
530	-6,1168	-49,6719	4,6	6,07	27,1	58	262,68	53	11,7	1,66	0,03	0,05	<2,2	0,5
532	-6,0986	-49,7014	6,2	6,17	25,4	71	267,25	70	17,1	2,07	0,03	0,1	<2,2	0,5
537	-6,0872	-50,0879	7,1	7,44	22,6	47	250,8	27	12,5	4,08	<0,01	0,05	<2,2	0,65
541	-6,1232	-49,8618	4,3	5,95	26,8	57	391,56	86	13	2,98	0,03	0,05	<2,2	0,5
542	-6,0906	-49,8654	5,2	6,42	26,1	74	354,43	79	23	2,85	0,04	0,08	2,44	1,17
547	-6,0958	-49,9132	7,1	7,67	24,6	73	470,4	65	18,6	7,54	0,01	0,05	<2,2	1
548	-6,1330	-49,9024	5,2	7,16	26,9	98	322,6	106	13,2	5,5	0,09	0,05	2,79	1,56
552	-6,1668	-50,1920	7,2	7,32	22,6	24	222,3	20	4,58	2,27	0,02	0,05	<2,2	0,5
563	-6,1219	-50,1772	2	5,06	21,6	14	535,15	6	-	1,62	<0,01	0,05	<2,2	0,5
574	-6,1429	-50,2300	5,1	6,52	23,4	28,1	340,2	58	9,07	4,68	<0,01	0,05	<2,2	0,79
583	-6,1672	-49,9364	6,6	7,37	28,4	114	515,6	104	14,9	5,43	0,06	0,05	<2,2	2,16
599	-6,1637	-49,8903	7,1	7,31	28,2	111	507,1	85	15,5	5,48	0,06	0,05	<2,2	2,15
607	-6,1718	-49,9147	6,8	7,35	28,3	112	502,8	91	19,1	5,71	0,06	0,05	<2,2	2,26
608	-6,2277	-49,8897	4,8	6,23	26,2	39	311,88	24	13,6	2,92	0,02	0,05	<2,2	0,5
630	-6,2021	-49,9711	7,1	7,33	23,3	35	435,4	91	12,6	4,61	0,02	0,05	<2,2	0,61
631	-6,2091	-49,9675	7,2	7,95	26,1	78	458,7	126	25,6	6,28	0,1	0,05	<2,2	2,96
637	-6,1962	-49,8042	5,1	8,77	25,5	23	159,5	66	8,26	2	0,02	0,54	<2,2	0,76
638	-6,2174	-49,7693	6,8	6,55	25,9	44	290,45	96	13,1	2,41	0,02	0,05	<2,2	0,58
642	-6,2339	-49,8259	6,3	7,3	24,7	121	330,5	153	31,1	9,93	0,06	0,08	<2,2	0,5
645	-6,2474	-49,7822	4	7,1	24,8	136	402,8	95	40	1,18	0,04	0,05	<2,2	0,5
661	-6,2456	-50,3145	6,9	6,57	21,8	29,6	408,3	51	5,87	2,95	0,02	0,05	<2,2	0,5
673	-6,3134	-49,7909	0,6	7,3	25,4	82	156,4	102	19,2	6,2	0,05	0,05	<2,2	0,57
676	-6,2722	-49,8070	5,3	6,23	23,7	27	272,3	20	19,3	2	0,02	0,05	<2,2	0,5
695	-6,2834	-49,9808	5,6	7,06	24,2	96	366	116	8,68	2,35	0,01	0,13	<2,2	0,5
710	-6,3068	-50,0068	4,6	6,68	24,6	123	275,9	62	8,31	5,24	0,02	0,08	<2,2	0,5
716	-6,3105	-50,0290	7,7	7,54	21,7	68	377,6	65	14,4	7,04	0,02	0,05	<2,2	0,73
720	-6,3167	-50,0279	6,8	7,29	25,7	85	489,8	77	22,2	5,59	0,1	0,05	2,48	2,57
722	-6,3213	-49,7649	5,7	7,05	24,9	29	251,6	72	25,4	4,67	0,02	0,05	2,26	0,5

MB	Latitude	Longitude	LD	0,1	-	-	1	-	5	0,1	0,5	0,01	0,05	2,2	0,5
			OD	pH	Temperatura	CE	Eh	STD	Turbidez	Cl ⁻	P _{total}	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	
			mg/L	-	°C	µS/cm	mV	mg/L	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
725	-6,3294	-49,7938	5,5	7,24	25,2	73,1	337	98	80	5,91	0,09	0,05	<2,2	0,5	
745	-6,3815	-49,7322	6,1	7,5	23,7	103	356,4	101	19,2	5,87	0,04	0,09	<2,2	0,71	
749	-6,3758	-49,8211	5,4	6,49	26,5	166	392,43	140	22,3	14,5	0,08	0,05	<2,2	2,21	
754	-6,3651	-50,1169	6,8	7,16	22,7	30	387,1	12	3,51	3,28	0,01	0,05	<2,2	0,53	
758	-6,4264	-50,2465	6,7	7,2	23,5	21	269,01	64	8,03	1,71	0,02	0,05	<2,2	0,63	
765	-6,3771	-50,0346	7	7,87	25,9	86	445,2	66	21,2	5,53	0,1	0,05	2,44	2,91	
766	-6,3793	-50,0296	6,2	6,83	22,4	85	273,7	59	10,6	8,53	0,02	0,05	<2,2	1,58	
768	-6,4265	-50,1756	6,6	7,41	25,1	67	349,1	58	23,3	2,96	0,05	0,05	<2,2	0,83	
772	-6,4083	-49,8271	2,8	7,22	24,6	426	357,5	253	11,8	28,1	0,05	0,18	<2,2	0,5	
778	-6,4105	-49,8132	1,5	7,53	26	534	389,5	364	18	35,5	0,06	0,24	<2,2	0,5	
780	-6,4138	-50,2463	6,9	7,17	23	20	219,2	57	2,44	2,24	0,01	0,05	<2,2	0,5	
781	-6,3975	-50,1031	5,1	7,29	23,7	23,7	334,6	52	15,7	3,39	0,03	0,05	<2,2	1,01	
782	-6,4054	-50,0494	5,3	7,2	26,2	223	497,2	116	11,7	4,05	0,06	0,05	3,99	12,2	
783	-6,4183	-50,0107	0,6	6,83	26,6	151	173,8	198	50,6	28,9	0,12	0,09	<2,2	0,7	
792	-6,4344	-50,1977	6,8	7,59	25,8	61	160,5	85	21,7	2,42	0,05	0,05	<2,2	0,5	
798	-6,4525	-49,7977	0,4	7,18	25,1	426	79,9	293	13,7	14	0,12	0,27	<2,2	0,5	
799	-6,4354	-49,7915	5,5	8,11	23,3	286	383,1	220	19,5	14,2	0,05	0,19	<2,2	1,14	
802	-6,4303	-50,1863	6,5	7,66	25,6	62	166,5	82	25,3	2,45	0,04	0,05	<2,2	0,5	
806	-6,4546	-50,2238	6,2	7,27	25,6	96	233,8	79	32,4	<0,5	0,07	0,05	<2,2	0,5	
814	-6,4567	-49,8335	2	7,7	25,5	201	307,3	182	23,2	31,2	0,26	0,11	3,18	0,5	
815	-6,4554	-49,8308	4,3	7,39	25,9	152	363,4	133	35,6	11	0,12	0,1	<2,2	2,92	
816	-6,4832	-50,3194	-	6,31	27	120	176,3	107	10,1	0,71	0,07	0,05	<2,2	0,5	
818	-6,4835	-49,9228	2,5	6,81	28,3	279	119,1	207	28,5	23,5	0,21	0,05	3,93	0,5	
819	-6,5136	-49,9715	2,2	7,8	27,8	396	97,7	287	42,3	58,9	0,23	0,05	2,53	0,5	
831	-6,4931	-50,3018	4,1	9,41	27,5	115	351,6	139	31,8	2,29	0,07	0,2	<2,2	0,5	
832	-6,5128	-50,1439	4,3	6,65	28,2	156	337,3	120	13,4	6,37	0,08	0,08	<2,2	0,9	
833	-6,5013	-49,8762	4,7	6,67	28	189	173,5	100	3,51	11,2	<0,01	0,05	<2,2	0,5	
836	-6,5196	-50,1244	4,9	7,22	24,9	133	403,9	231	18,1	9,95	0,04	0,05	<2,2	0,7	
841	-6,5144	-50,0523	3,1	6,73	25,2	102	246	75	9,22	2,05	0,1	0,15	4,96	0,5	
844	-6,5255	-49,9106	2,5	6,76	29,6	275	248,03	200	22,1	37,3	0,05	0,05	<2,2	0,5	
845	-6,5168	-50,2175	4,5	7,18	28,2	117	327,01	106	34,3	6,36	0,14	0,06	<2,2	0,67	
846	-6,5639	-50,2444	5,8	6,96	24,5	149	273	145	20,6	7,17	0,16	0,18	3,63	2,05	
852	-6,5753	-49,7466	5,6	7,71	29,4	159	310,9	129	20,5	10,7	0,08	0,07	<2,2	1,62	
853	-6,5445	-50,0395	5,7	7,58	27,7	191	299,8	151	11,7	9,83	0,13	0,05	4,73	0,73	
857	-6,5600	-49,7778	3,8	7,05	31,4	273	271,6	209	19,6	9,27	0,22	0,05	<2,2	0,5	
865	-6,5561	-49,9496	2,7	6,7	26	435	181,4	354	20,9	37,3	0,1	0,14	5,6	0,5	
867	-6,5617	-50,0707	4,2	6,67	24,4	132	250,6	244	32,5	10,6	0,27	0,05	3,63	0,5	
872	-6,5779	-50,0551	5,7	8,27	27,7	115	315,7	106	4,05	2,9	0,09	0,05	<2,2	0,5	
873	-6,6030	-49,9352	5,7	6,64	28,6	162	342,8	148	8,47	13	0,12	0,05	<2,2	0,5	
875	-6,5888	-49,7912	5,2	7,92	28,2	187	299,8	157	17,1	9,67	0,09	0,05	<2,2	2,05	
879	-6,5800	-49,8344	4	7,95	30	383	303,2	296	48,8	34,2	0,27	0,23	3,82	6,77	
890	-6,6038	-50,1385	4,6	7,83	27,6	242	328,3	176	12,8	6,27	0,13	0,05	<2,2	0,81	
894	-6,6135	-50,1091	6,2	7,73	25,9	116	409	65	35,6	8,45	0,15	0,07	<2,2	1,26	
895	-6,6246	-50,0809	6,3	7,43	24,1	113	420	172	35,1	7,76	0,13	0,08	5,23	1,97	
896	-6,6161	-49,7733	1,4	8,25	27,8	352	239,2	243	59,1	6,69	0,24	0,05	6,83	0,5	

MB	Latitude	Longitude	LD	0,1	-	-	1	-	5	0,1	0,5	0,01	0,05	2,2	0,5
			OD	pH	Temperatura	CE	Eh	STD	Turbidez	Cl ⁻	P _{total}	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	
			mg/L	-	°C	µS/cm	mV	mg/L	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
898	-6,6277	-49,9012	5,6	6,61	28,8	173	291,2	125	10,8	1,49	0,14	0,05	<2,2	0,5	
900	-6,6489	-49,8561	5,4	7,03	28	167	325,2	113	17,3	9,48	0,15	0,05	<2,2	0,5	
904	-6,6431	-50,0366	5,7	7,43	26,8	115	346,8	107	5,71	2,75	0,08	0,05	4,26	2,63	
908	-6,6466	-49,9117	4,4	7,62	27,4	141	356,5	135	12,7	6,57	0,09	0,08	<2,2	0,71	
921	-6,6550	-49,8048	4,2	7,64	28,2	233	390	206	18,3	8,4	0,27	0,05	2,28	0,62	
922	-6,6556	-49,7808	4,5	8,35	27,7	238	303,7	207	23,4	11,5	0,25	0,05	<2,2	1,1	
923	-6,6540	-50,0249	4,9	7,15	26,9	154	269,4	142	45,3	4,03	0,11	0,05	<2,2	0,53	
931	-6,6679	-50,2476	3,3	6,38	25,5	245	286,7	232	6,99	4,92	0,03	0,05	<2,2	0,6	
936	-6,6858	-50,1843	4,8	8,86	27,5	140	332,3	102	23,7	4,43	0,08	0,06	4,96	0,5	
939	-6,6910	-50,1967	6,4	7,58	22,8	122	443,8	130	23,5	6,45	0,1	0,07	<2,2	1,86	
940	-6,6977	-49,8330	4,9	6,85	25,8	102	384,7	94	12	6,08	0,07	0,05	<2,2	0,5	
941	-6,6961	-49,8141	4,7	7,7	26,6	112	373,3	100	7,3	5,64	0,08	0,05	<2,2	0,5	
950	-6,7207	-50,0226	5	6,74	26,1	165	341,9	146	21,4	6,45	0,14	0,05	2,55	1,12	
951	-6,7151	-50,2334	2,1	5,96	25,2	273	260,9	192	10,8	6,66	0,06	0,08	3,99	1,26	
952	-6,7233	-50,0537	5,1	6,51	30,8	176	259,5	157	11,1	1,23	0,18	0,05	2,62	0,5	
959	-6,7501	-50,0578	5,7	6,84	29,5	139	268,5	94	18,4	5,05	0,06	0,05	2,44	0,5	
964	-6,7312	-50,2424	6,5	7,8	22,7	128	406,8	176	17,7	5,68	0,09	0,05	<2,2	0,79	
968	-6,7707	-49,8977	3,2	7,36	26,3	170	307,5	141	19,2	4,93	0,1	0,19	<2,2	0,5	
969	-6,7698	-49,8313	4,2	8,52	25,5	117	398	95	22,9	5,31	0,06	0,05	<2,2	0,5	
971	-6,7386	-50,0351	5,8	7,1	26,8	122	353,6	109	6,37	2,81	0,04	0,05	2,5	0,5	
976	-6,7954	-49,9601	4,2	7,64	27,3	181	333,6	174	17,7	9,22	0,11	0,09	<2,2	1,69	
977	-6,8073	-50,0553	4,7	7,26	24,4	87	406,2	126	36,3	4,6	0,08	0,05	<2,2	0,69	
981	-6,8472	-50,0423	1,2	7,95	28,7	350	94,5	202	38,9	3,83	0,15	0,05	<2,2	0,5	
983	-6,8147	-49,9836	5,6	7,72	26,7	160	341	132	15,9	4,32	0,08	0,05	<2,2	0,5	
984	-6,8002	-49,9099	3,8	7,56	25,3	166	284,5	126	13,9	5,44	0,11	0,05	<2,2	0,58	
985	-6,8067	-49,9665	5,1	7,66	26,4	174	333,4	142	10,5	5,04	0,07	0,05	<2,2	0,5	
992	-6,8315	-49,9323	3,9	6,91	25,7	114	354,4	109	22,1	5,58	0,08	0,05	<2,2	0,5	
994	-6,8136	-50,1706	5,7	7,9	26,7	95	396,8	120	12,2	2,93	0,06	0,09	3,63	0,5	
997	-6,8366	-50,0678	5,2	6,69	28,7	49	352,7	66	52,6	2,75	0,07	0,05	<2,2	0,5	
998	-6,8583	-50,0547	5	7,7	26,3	119	355,9	112	10,6		0,09		<2,2	0,5	
1000	-6,8531	-50,1807	5,5	7,94	27,6	222	435,6	202	13,4	5,19	0,08	0,07	<2,2	0,5	
1010	-6,9222	-50,0374	4	8,21	25,9	344	310,4	247	31,1	6,19	0,11	0,12	3,37	32,9	
1011	-6,9101	-50,0193	5,3	8,45	26,3	280	325,1	206	9,3	6,79	0,04	0,06	<2,2	6,18	
1027	-6,9809	-49,9886	3,7	6,58	25,9	112	336,5	96	24,9	3,03	0,17	0,05	<2,2	0,55	
1033	-6,9982	-49,9972	3,9	6,46	25,4	78	355,6	67	9,5	3,27	0,07	0,05	<2,2	0,5	
1035	-7,0030	-50,2194	6	6,59	25	75	322,6	75	20,8	1,91	0,03	0,05	<2,2	0,5	
1039	-7,0175	-50,1760	3,2	6,58	26,5	95	329,01	101	12,3	2,32	0,04	0,05	<2,2	0,5	
1044	-7,0398	-50,2707	4,8	6,7	26,1	100	317,07	88	24,2	1,82	0,05	0,05	<2,2	0,5	
1045	-7,0681	-50,2383	5,9	6,68	24,7	66	351,5	109	57,7	1,45	0,06	0,05	<2,2	0,5	
1047	-7,0788	-50,3066	5,9	6,78	24,9	49	346,07	152	75,8	1,47	0,08	0,05	<2,2	0,5	
1049	-7,1099	-50,2298	4,9	6,9	25,4	86	350,04	106	17,8	2,42	0,06	0,05	<2,2	0,5	
1050	-7,0712	-50,2408	5,7	7,86	26,2	71	377,4	43	28,9	1,45	0,04	0,05	<2,2	0,5	
1055	-7,1654	-50,0676	3,2	6,62	26,7	81	333,1	116	27,3	<0,5	0,14	0,05	<2,2	0,5	

Nota: MB – Microbacia; LD – Limite de detecção; OD – Oxigênio dissolvido; CE – Condutividade elétrica; Eh – Potencial redox; STD – Sólidos totais dissolvidos; Cl⁻ - Cloreto; P_{total} – Fósforo total; F⁻ - Fluoreto; NO₃⁻ - Nitrato; SO₄²⁻ - Sulfato.

Tabela C2 – Resultados analíticos dos metais totais em águas superficiais da bacia do rio Parauapebas, para o período chuvoso.

MB	Latitude	LD Longitude	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Na mg/L	Ba µg/L	B µg/L	Cu µg/L	Cr µg/L	Ni µg/L	V µg/L	Zn µg/L	Sn µg/L	Co µg/L	Sr µg/L	Rb µg/L	Ti µg/L
159	-5,6025	-49,7261	1,72	0,0678	0,157	4,17	2,32	1,37	4,36	58,8	<1	3,8	<1	<1	1,04	8,84	3,12	<1	44,6	6,71	3,73
201	-5,6583	-49,7049	1,76	0,0778	0,18	4,19	2,32	1,31	4,32	59,9	<1	3,67	<1	<1	1,04	6,45	<1	<1	44,6	8,19	5,93
202	-5,6655	-49,6703	1,38	0,0576	0,0471	3,08	2,48	1,14	2,79	36,6	<1	<1	<1	<1	<1	7,64	1,69	<1	45,7	5,91	1,3
225	-5,7390	-49,7978	1,62	0,0611	0,0676	5,1	2,86	2,1	4,36	67,6	2,43	1,26	<1	<1	<1	6,4	1,26	<1	51,2	8,51	3,41
226	-5,7272	-49,7364	2,78	0,144	0,319	7,15	3,89	2,5	7,47	71,5	14,1	6,43	1,4	2,56	2,95	33,5	2,66	<1	68,9	5,04	8,05
227	-5,7006	-49,7327	4,83	0,496	0,26	7,19	4,78	2,45	8,06	95,6	12,5	2,87	1,44	3,28	4,56	18,8	<1	1,98	63,6	6,93	5,29
236	-5,7180	-49,8722	1,69	0,056	0,0619	5,13	3,01	1,87	5,5	70,2	3,74	1,03	<1	<1	<1	9,98	<1	<1	55,6	6,11	2,44
238	-5,7510	-49,8903	2,77	0,252	0,157	7,99	2,9	2,31	4,74	82,7	1,32	<1	<1	<1	<1	27,6	7,21	<1	58,1	9,88	3,42
265	-5,7657	-49,7759	2,4	0,13	0,504	5,48	2,39	2,19	5,33	56,5	<1	29,4	<1	<1	4,25	31,2	<1	<1	47,8	<1	10,6
266	-5,7778	-49,7361	1,43	0,0206	0,235	7,35	2,96	2,09	10,7	45,8	<1	1,36	2,09	<1	1,79	28,5	2,46	<1	49,8	5,35	4,96
275	-5,8506	-49,9704	2,31	0,119	0,256	3,4	2,51	1,83	2,92	57,6	6,73	<1	1,97	1,42	1,57	11,2	<1	<1	25,1	5,15	4,69
278	-5,7918	-49,8255	1,55	0,0987	0,0722	5,92	2,97	2,27	5,63	79,1	3,49	<1	<1	<1	<1	13,9	<1	<1	58,9	5,68	3,06
279	-5,7851	-50,0065	2,37	0,122	0,187	4,18	2,27	1,79	3,1	46,1	7,8	<1	<1	<1	2,62	15,6	<1	<1	28,5	8,97	4,15
280	-5,7837	-49,6460	2,98	0,28	0,161	7,99	3,83	3,13	7,7	53,9	<1	<1	2,39	<1	2,06	11,5	<1	1,22	40,1	5,56	4,46
283	-5,7996	-50,0015	4,72	0,175	1,46	3,18	1,2	2,31	2,17	45,6	9,89	13,2	4,27	1,36	5,6	33,3	<1	1,81	18,4	7,15	22,7
284	-5,8005	-49,8063	2,2	0,108	0,42	4,52	2,59	2	5,96	57,9	<1	5,57	<1	<1	2,86	<1	<1	<1	52,2	6,01	9,63
285	-5,7850	-49,7916	1,89	0,0857	0,352	5,07	2,31	2,04	5,14	50,4	<1	4,59	<1	<1	3,37	<1	<1	<1	45,5	<1	8,38
290	-5,8036	-49,6416	2,23	0,18	0,135	5,68	2,65	3,15	6	45,4	<1	<1	<1	<1	1,31	11,1	1,37	<1	30,4	6,38	4,34
291	-5,7918	-49,5955	2,06	0,258	0,192	6,68	3,71	2,33	6,3	61,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,77	37,2	<1	2,92
296	-5,7998	-49,6256	2,58	0,189	0,134	4,63	3,54	2,38	5,59	54,7	<1	<1	<1	<1	1,79	<1	<1	1,58	41,8	7,96	2,2
323	-5,8260	-49,8488	2,54	0,235	0,356	7,65	2,28	2,13	4,97	69,2	2,06	<1	1,39	<1	2,81	42,8	3,23	<1	53,2	5,46	6,62
340	-5,8541	-49,8256	5,67	0,232	1,52	3,96	2,19	1,79	2,5	53,6	1,14	34,1	10,2	7,96	13,7	15,5	<1	5,52	11	<1	28,2
343	-5,8703	-49,7369	3,2	0,205	0,17	7,62	4,52	1,12	4,73	56,9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,86	34,5	7,2	3,95
344	-5,8636	-49,7622	1,97	0,116	0,185	2,56	1,67	1,31	2,48	26,5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	14,7	5,39	2,38
346	-5,8942	-49,8242	2,34	0,0413	0,107	1,95	0,555	2,5	1,75	86,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	18,6	13,1	1,24
377	-5,9147	-49,9120	2,36	0,0625	0,898	1,84	0,451	3,94	1,89	104	<1	1,66	<1	<1	<1	3,1	1,57	<1	22,6	37,7	15,6
380	-5,9416	-49,7917	1,41	0,179	0,281	1,37	1,05	1,72	1,8	41,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	8	5,47	3,56
388	-5,9231	-49,8992	2,4	0,0815	0,544	1,37	0,528	3,3	10,8	67,9	<1	3,72	1,38	<1	1,33	1,7	2,1	<1	14,9	27,5	10,3
389	-5,9220	-49,8947	1,98	0,0982	0,377	6,11	2,74	2,26	6,54	57,6	<1	3,71	<1	<1	<1	<1	<1	<1	62,1	8,05	9,2
393	-5,9398	-50,1287	3,57	0,0721	0,249	2,24	0,927	2,6	2	42,6	<1	1,16	<1	<1	<1	<1	<1	<1	13,1	7,52	2,41
398	-5,9355	-49,8215	2,4	0,106	0,0901	3,13	0,649	3,45	2,87	145	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	31,5	11,4	<1

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti	
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
399	-5,9844	-49,8241	2,21	0,0667	0,308	2,5	0,509	3,54	3,08	136	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	24,3	11,3	5,76
406	-5,9542	-50,1076	2,77	0,0457	0,489	1,6	0,829	1,74	1,45	15,3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,31	<1	7,48	<1	19,7	
409	-5,9433	-50,1154	0,996	0,099	0,0391	2,14	1,71	0,816	1,09	33,3	2,96	<1	<1	<1	<1	1,27	<1	<1	15,2	6,6	<1	
412	-5,9445	-50,1827	4,64	0,0964	0,347	4,13	1,35	2,82	4,26	60,6	8,27	1,89	1,12	<1	1,03	37,1	<1	1,11	22,7	6,64	2,88	
420	-5,9571	-50,0837	1,3	0,0782	0,108	3,43	2,06	1,88	1,67	38,4	<1	1,43	<1	<1	<1	<1	<1	<1	16,1	<1	1,64	
421	-5,9720	-50,1413	0,382	0,105	0,0195	5,46	3,34	1,72	1,55	17,3	<1	18,5	1,03	<1	<1	<1	3,08	<1	20,4	<1	1,09	
424	-5,9762	-50,0670	1,51	0,0631	0,0249	1,9	1,42	1,11	1,91	28,1	5,64	<1	<1	<1	<1	7,34	<1	<1	10,6	5,84	<1	
426	-6,0115	-50,1347	0,802	0,29	0,124	5,21	2,49	1,26	2,01	62,3	2,54	2,03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	19,1	<1	3,84	
437	-5,9850	-49,7846	1,52	0,0711	0,219	3,84	3,62	1,52	1,91	22,4	<1	2,95	<1	<1	<1	<1	<1	1,19	5,67	<1	3,26	
443	-5,9764	-50,0117	2,61	0,0409	0,162	3,27	0,834	1,88	2,62	33,8	7,03	3,8	1,36	<1	1,08	44,5	7,81	<1	14,9	39,4	2,12	
444	-5,9658	-50,2161	3,8	0,0424	0,132	2,09	0,481	1,64	1,14	33	4,77	<1	<1	<1	<1	38,4	<1	<1	8,25	5,04	1,49	
445	-6,0001	-49,9109	2,88	0,152	0,196	8,1	3,89	2,49	8,59	67,8	9,07	3,71	<1	1,84	1,95	11,1	<1	<1	83,4	5,1	4,03	
446	-5,9872	-49,8924	1,53	0,0394	0,398	2,61	0,619	2,95	3,05	128	1,35	2,13	<1	<1	<1	<1	<1	1,68	25	10,7	6,56	
451	-6,0144	-50,1868	0,106	0,153	0,0232	15,3	12,5	1,08	1,49	72,5	<1	1,8	<1	1,8	<1	2,31	<1	<1	21,8	6,14	<1	
461	-6,0135	-49,7816	6,11	0,279	1,11	7,07	5,68	2,76	5,72	53,1	5,69	36,4	8,89	6,81	9,01	23,2	<1	5,24	17,4	6,73	25,2	
464	-5,9921	-50,0325	1,81	0,0862	0,163	2,43	2,28	2,03	3,42	49,4	6,55	6,28	1,33	1,13	1,5	19,1	<1	<1	13,8	<1	2,71	
466	-6,0012	-49,9605	4,29	0,196	0,0354	3,81	1,87	2,77	3,07	95,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	23,4	8,34	1,13	
470	-6,0048	-49,9724	1,87	0,0537	0,075	3,36	2,63	1,69	3,45	49,7	<1	4,94	<1	<1	<1	<1	1,01	<1	14,9	<1	1,89	
473	-6,0212	-49,9494	2,18	0,116	0,142	3,57	1,96	2,09	2,55	40,6	6,65	3,02	1,05	<1	1,16	25,1	<1	<1	16,7	<1	1,88	
488	-6,0287	-49,9027	3,14	0,249	0,718	11,5	4,91	2,95	11,1	51	4,89	10,9	2,5	2,63	4,47	<1	<1	2,72	56,3	8,48	18	
498	-6,0542	-49,6934	6,73	0,662	1,37	12	11,5	2,71	6,34	60,9	4,73	133	15,3	21	14,3	13,8	<1	12,6	15,7	10,7	30,6	
500	-6,0375	-49,9082	2,04	0,0718	0,276	9,86	3,53	2,9	8,84	69	<1	3,43	<1	<1	1,98	55,1	<1	<1	85,9	<1	5,64	
501	-6,0404	-49,9060	1,69	0,0775	0,211	7,46	2,81	2,29	7,01	55,1	<1	2,15	<1	<1	1,74	<1	<1	<1	68,6	<1	4,58	
505	-6,0632	-49,6806	2,68	0,204	0,583	12	12,2	1,85	7,06	38,2	<1	7,33	8,23	10,5	6,39	<1	<1	3,8	16,3	5,39	20,1	
509	-6,0529	-49,7557	6,82	0,264	0,627	7,14	5,42	2,68	5,57	44,2	2,58	27,6	<1	7,15	6,87	<1	<1	5,32	15,7	15,2	14,4	
510	-6,0754	-49,7784	3,84	0,237	0,115	5,91	2,92	4,15	7,53	72,5	<1	1,55	1,44	<1	<1	<1	2,9	1,03	32	17,8	3,36	
515	-6,0891	-49,7396	2,8	0,0961	0,196	4,67	1,5	3,19	7,39	52,6	<1	2,35	<1	<1	<1	<1	3,25	<1	24	14,2	4,5	
525	-6,0751	-49,9095	3,28	0,315	0,699	8,44	2,65	3,32	9,55	78,6	4	6,52	1,24	<1	2,38	5,34	<1	2,26	44,3	5,57	22,3	
530	-6,1168	-49,6719	3,39	0,14	0,0879	4,41	2,05	4,09	3,62	54,3	<1	2,19	<1	<1	1,05	<1	2,85	<1	16,5	18,9	3,96	
532	-6,0986	-49,7014	2,79	0,109	0,18	4,91	2,17	3,44	5,86	49,8	<1	4	<1	<1	1,42	<1	3,25	<1	18,9	13,5	6,79	
537	-6,0872	-50,0879	0,563	0,0646	0,125	2,1	2,4	0,986	2,8	47,1	16,4	1,86	2,32	1,69	<1	11	3,42	<1	8,09	<1	3,7	
541	-6,1232	-49,8618	6,6	0,0483	0,111	3,17	1,52	5,67	6,33	105	<1	1,7	2,45	<1	<1	21,3	<1	<1	26,5	6,71	<1	
542	-6,0906	-49,8654	2,88	0,124	0,198	5,5	2,46	3,82	5,78	74,2	1,83	3,71	3,33	1,29	1,33	36,1	<1	1,2	33,5	18,2	<1	

MB	Latitude	LD Longitude	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L											
547	-6,0958	-49,9132	0,958	0,0157	0,182	4,14	3,62	1,48	4,06	31,4	<1	<1	<1	<1	1,45	<1	6,43	<1	10,7	<1	4,27
548	-6,1330	-49,9024	2,67	0,217	0,438	8,68	4,05	2,67	8,78	70,2	3,62	1,82	1,22	<1	1,89	<1	<1	1,54	89,2	9,33	17,2
552	-6,1668	-50,1920	0,739	0,0311	0,0302	1,43	1,28	0,306	1,4	13,3	4,29	<1	<1	<1	<1	8,09	1,31	<1	5,64	<1	1,47
563	-6,1219	-50,1772	0,0638	0,00615	0,0378	1,21	1,71	0,865	2,2	25,5	7,48	<1	<1	<1	<1	23,9	4,6	<1	5,86	<1	1,25
574	-6,1429	-50,2300	1,46	0,0198	0,0387	1,09	0,517	1,16	2,6	62	1,66	2,17	<1	<1	<1	1,85	<1	<1	9,43	<1	<1
583	-6,1672	-49,9364	2,34	0,141	0,418	8,32	3,33	2,82	8,88	79,3	<1	<1	<1	<1	2,35	<1	<1	<1	96,6	5,98	9,68
599	-6,1637	-49,8903	2,09	0,111	0,277	7,88	3,03	2,65	8,2	70,2	<1	3,05	<1	<1	1,36	11,9	<1	<1	87,9	<1	4,93
607	-6,1718	-49,9147	2,08	0,16	0,305	6,66	2,47	2,11	6,66	62,9	<1	2,09	<1	<1	1,46	<1	<1	<1	72,3	6,49	5,7
608	-6,2277	-49,8897	7,16	0,129	0,112	1,78	1,95	1,79	3,93	38,1	4,51	5,98	<1	<1	<1	19,7	<1	1,08	28,9	8,28	<1
630	-6,2021	-49,9711	1,83	0,0493	0,109	2,39	1,47	1,17	2,71	46,9	10,5	2,06	<1	<1	1,22	7,7	<1	<1	12,6	8,38	3,8
631	-6,2091	-49,9675	2,1	0,13	0,25	5,94	2,25	3,14	7,45	63,7	15,3	3,14	1,4	1,38	2,02	7,65	<1	<1	81	6,11	4,65
637	-6,1962	-49,8042	1,49	0,0348	0,0698	2,81	0,779	2,05	7,21	39,2	10,7	<1	<1	<1	<1	9,24	4,8	<1	14,8	<1	7,53
638	-6,2174	-49,7693	9,53	0,153	0,0995	3,11	1,67	3,29	7,41	52,8	3,6	3,58	<1	<1	<1	13,9	<1	1,57	19,5	13,2	<1
642	-6,2339	-49,8259	2,61	0,276	0,104	7,09	6,44	1,37	10,4	62,7	2,7	3,72	<1	<1	1,51	1,98	<1	1,4	65,7	6,75	3,71
645	-6,2474	-49,7822	5,54	2,54	0,0249	8,52	5,79	0,466	3,13	50,1	<1	<1	<1	<1	<1	2,07	1,09	17,4	19,9	9,03	2,04
661	-6,2456	-50,3145	0,921	0,0178	0,115	0,872	0,413	1,25	2,5	80,5	2,34	4,27	<1	<1	1,37	1,81	<1	<1	8,95	<1	2,31
673	-6,3134	-49,7909	8,57	0,524	0,0718	4,77	2,33	5,52	8,75	81,6	3,93	2,68	<1	1,24	1,13	4,79	2,01	5,82	56,6	9,68	2,96
676	-6,2722	-49,8070	2,7	0,164	0,123	2,34	1,78	1,02	2,61	36,2	<1	1,51	<1	<1	1,05	26,2	1,05	1,3	11,6	<1	2,61
695	-6,2834	-49,9808	1,4	0,275	0,0479	2,91	2,33	0,338	2,05	30,4	15,4	3,08	<1	1,27	<1	19	5,12	<1	8,59	5,92	1,98
710	-6,3068	-50,0068	1,31	0,283	0,0194	3,84	4,13	0,777	3,99	52,8	14,1	<1	<1	<1	<1	8,13	2,15	1,08	6,77	5,19	1,43
716	-6,3105	-50,0290	0,636	0,0637	0,137	5,45	4,21	0,462	4,12	31,2	2,53	2,28	<1	<1	1,27	3,04	<1	<1	16,6	<1	5,81
720	-6,3167	-50,0279	2,21	0,121	0,501	5,87	2,58	3,06	8,54	87,3	6,13	7,18	<1	<1	1,45	3,81	<1	<1	92,1	<1	8,9
722	-6,3213	-49,7649	2,23	0,216	0,245	4,95	4,8	2,26	4	66,2	1,06	5,34	<1	<1	1,23	3,8	2,61	2,34	18,4	<1	6,96
725	-6,3294	-49,7938	6,42	0,259	0,744	4,83	4,25	2,27	4,39	49,5	1,35	6,85	2,25	1,49	4,8	32,4	1,82	4,05	15,6	5,27	25,5
745	-6,3815	-49,7322	2,75	0,0995	0,438	8,31	9,59	3,02	9,78	56,2	1,29	13,2	2,07	2,33	3,61	3,35	2,32	2,53	29,1	<1	23,7
749	-6,3758	-49,8211	2,79	0,188	0,225	9,15	6,55	3,18	14,9	67,6	<1	11	2,18	1,23	2	20,5	2,51	1,38	64	9,07	12
754	-6,3651	-50,1169	0,441	0,00831	0,113	2,27	2,95	0,701	2,87	24,4	2,11	2,83	<1	<1	<1	11,3	5,03	<1	9,88	<1	3,51
758	-6,4264	-50,2465	0,316	0,0199	0,0402	3,07	2,69	0,55	2,02	16,3	<1	1,04	<1	<1	<1	3,65	3,85	<1	10,9	<1	2,07
765	-6,3771	-50,0346	2,42	0,161	0,548	6,06	2,65	2,92	8,65	91,3	5,62	1,91	<1	<1	1,54	2,04	<1	<1	93,6	<1	11,6
766	-6,3793	-50,0296	1,58	0,0853	0,109	5,14	5,14	2,07	7,85	45,4	<1	4,91	<1	<1	<1	19,8	3,63	<1	29,8	<1	5,18
768	-6,4265	-50,1756	2,6	0,129	0,306	6,03	4,55	1,3	4,83	39,5	10,2	6,01	5	2,68	1,43	9,62	1,92	<1	29,7	<1	6,7
772	-6,4083	-49,8271	4,55	0,642	0,0834	31,7	20,9	5,04	57,4	128	7,62	5,57	<1	2,15	1,26	3,85	1,67	2,2	359	9,33	5,37
778	-6,4105	-49,8132	5,42	5,45	0,0592	36,2	31,3	3,56	61,9	337	6,47	9,18	1,33	1,38	<1	5,85	2,84	3,17	485	12,5	5,76

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
780	-6,4138	-50,2463	0,49	0,0281	0,051	2,3	2,39	0,825	2,43	14,5	1,26	<1	<1	<1	<1	3,68	4,11	<1	9,19	<1	1,58
781	-6,3975	-50,1031	1,06	0,0751	0,0768	6,56	4,93	1,39	4,65	29,8	3,34	3,09	<1	<1	1,32	12	2,75	<1	24,9	<1	2,84
782	-6,4054	-50,0494	4,02	0,0891	0,137	16,3	7,64	3,61	9,98	79,2	<1	6,81	<1	1,66	1,98	1,51	<1	1,47	92,8	11,8	4,58
783	-6,4183	-50,0107	5,99	1,6	0,0689	10,4	8,1	6,29	24	177	9,67	2,76	<1	1,19	<1	3,95	3,66	2,47	147	12,5	5
792	-6,4344	-50,1977	2,16	0,0985	0,147	5,03	4,38	1,36	4,64	36,6	<1	2,17	<1	<1	1,68	7,83	3,66	<1	27,2	7,59	5,19
798	-6,4525	-49,7977	11,7	4,27	0,113	24,9	34,5	3,29	38	364	3,39	<1	1,71	2,05	1,32	3,96	2,03	2,8	316	8,8	8,58
799	-6,4354	-49,7915	3,47	0,2	0,388	13,4	21,8	5,68	31,1	153	3,86	4,49	2,02	1,64	2,31	2,76	5,23	1,09	136	7,74	22,7
802	-6,4303	-50,1863	2,18	0,125	0,175	4,83	4,32	1,38	4,59	36,4	1,02	2,56	1,22	<1	1,81	5,26	7,06	<1	27,2	<1	6,65
806	-6,4546	-50,2238	4,39	0,285	0,18	7,21	5,05	3,14	7,67	60,3	6,58	4,44	1,48	2,07	2,43	9,7	2,36	1,88	40,3	11,3	6,64
814	-6,4567	-49,8335	6,4	0,803	0,445	8,89	7,29	5,71	20,1	71	11,4	4,07	5,16	7,37	1,7	<1	<1	3,83	85,5	37	12
815	-6,4554	-49,8308	2,35	0,0924	0,736	7,13	5,52	5,15	13,2	74,1	3,38	2,99	<1	<1	<1	<1	<1	1,23	67,5	<1	21
816	-6,4832	-50,3194	9,58	0,231	0,0365	6,27	3,25	0,362	6,52	46,2	1,44	<1	<1	<1	<1	3,36	4,73	1,73	22,7	5,58	3,23
818	-6,4835	-49,9228	16,2	1,59	0,0368	6,89	10,9	2,42	12,3	93,8	2,59	<1	9,21	5,09	1,74	6,89	2,04	2,19	72,9	8,2	17
819	-6,5136	-49,9715	16,1	1,51	0,0708	15	7	9,18	29,3	301	<1	<1	<1	1,87	<1	52	<1	6,74	172	18,2	21,9
831	-6,4931	-50,3018	6,27	0,282	0,273	5,78	6,63	2,59	8,78	69,6	1,46	2,01	1,55	1,64	2,44	3,23	4,15	2,7	43	<1	12,8
832	-6,5128	-50,1439	1,66	0,0991	0,142	9,85	4,75	4,04	10,8	89,6	<1	3,63	<1	1,71	1,39	5,48	10,7	<1	100	18,3	14,4
833	-6,5013	-49,8762	1,62	0,181	0,0217	3,67	17,4	2,89	3,52	60,7	<1	1,39	<1	3,3	<1	14,8	<1	1,8	20,2	6,71	4,8
836	-6,5196	-50,1244	6,88	1,15	0,0289	5,1	4,49	0,948	8,61	73,2	34,8	1,26	<1	<1	<1	1,41	<1	<1	28,8	11,5	2,04
841	-6,5144	-50,0523	3,16	0,778	0,137	4,52	1,33	0,781	6,48	90,6	4,54	3,31	1,24	1,78	<1	14,8	2,95	2,74	60,4	<1	2,46
844	-6,5255	-49,9106	5,94	0,896	0,0682	13,2	11,1	4,75	22,8	165	1,85	<1	1,13	3,55	<1	35,6	2,94	7,63	155	13,4	15,5
845	-6,5168	-50,2175	2,55	0,0875	0,393	7,46	3,1	4,22	7,96	85,8	<1	5,77	<1	1,61	2,04	8,3	9,75	<1	90,8	10,6	22,4
846	-6,5639	-50,2444	5,16	0,737	0,126	12,6	5,66	4,87	14,1	165	7,39	4,52	<1	2,17	1,84	4,5	1,43	4,55	119	9,22	7,21
852	-6,5753	-49,7466	5,48	0,462	0,236	7,55	4,94	5,66	15,1	127	<1	4,47	<1	<1	<1	<1	3,12	<1	90,4	13,6	6,26
853	-6,5445	-50,0395	6,69	0,448	0,122	14,5	4,55	6,35	16,2	192	10,6	2,71	1,39	2,36	2,43	136	3,04	1,68	216	24,5	3,67
857	-6,5600	-49,7778	15,1	2,21	0,0488	15,2	8,74	9,91	22,5	229	<1	2,3	1,3	1,58	1,66	15,4	1,59	6,88	105	12,7	26
865	-6,5561	-49,9496	22,4	1,55	0,0376	25,3	12,2	5,2	39,3	232	<1	<1	1,09	<1	1,16	141	15,1	<1	255	27,2	4,63
867	-6,5617	-50,0707	11,9	1,99	0,0471	19	9,39	2,77	20,5	166	13	<1	<1	3,12	2,53	15,4	<1	7,46	138	14,1	4,21
872	-6,5779	-50,0551	2,68	0,094	0,111	9,24	3,39	4,73	8,78	118	10	1,73	1,41	2,23	1,62	41,8	2,89	<1	145	<1	3,11
873	-6,6030	-49,9352	2,27	0,135	0,0883	8,85	3,29	5,73	10,3	102	<1	1,31	<1	<1	<1	5,08	<1	<1	120	14,9	11
875	-6,5888	-49,7912	8,45	0,801	0,224	10,9	6,02	6,79	18,2	159	<1	4,39	<1	<1	<1	12,3	2,07	<1	125	14	7,42
879	-6,5800	-49,8344	5,43	0,507	0,132	13,4	5,02	6,44	26,5	122	2,5	1,62	<1	<1	<1	5,24	<1	1,96	93,8	12,1	26,1
890	-6,6038	-50,1385	6,18	1,71	0,198	22,7	8,4	5,47	17,9	212	9,61	1,77	1,44	3,98	1,9	119	2,95	3,74	255	18,8	5,93
894	-6,6135	-50,1091	2,91	0,574	0,461	11,3	8,63	4,96	21,7	149	12,6	3,2	2,3	2,26	2,31	3,98	4,91	2,06	197	7,33	12,5

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
895	-6,6246	-50,0809	2,15	0,313	0,503	10,5	7,89	4,59	19,4	126	10,3	2,06	2,26	3,6	2,2	3,7	5,91	1,49	184	7,49	10,9
896	-6,6161	-49,7733	13,2	18	0,341	29,9	10,8	11	17	412	<1	<1	<1	<1	1,11	10,5	2,34	6,59	507	24,4	5,63
898	-6,6277	-49,9012	2,5	0,212	0,073	8,11	3,11	5,14	10,2	93,6	1,95	1,35	<1	<1	<1	5,1	<1	<1	107	14,9	8,53
900	-6,6489	-49,8561	3,11	0,36	0,123	9,38	2,89	4,83	9,84	116	<1	<1	<1	<1	<1	7,89	<1	1,16	177	13,2	18,9
904	-6,6431	-50,0366	1,76	0,0944	0,0813	8,81	3,01	4,51	8,02	94,5	<1	1,24	<1	<1	<1	38,9	2,01	<1	145	19,7	2,92
908	-6,6466	-49,9117	2,31	0,0664	0,0914	7,82	2,72	5,18	9,27	126	<1	1,27	<1	<1	<1	32,4	<1	<1	94,5	21,9	15,9
921	-6,6550	-49,8048	7,68	1,66	0,161	21,1	7,41	8,84	18,3	252	<1	1,39	<1	<1	1,92	<1	2,72	3,08	368	24	4,82
922	-6,6556	-49,7808	10,1	1,99	0,217	20,1	7,11	6,78	21,4	287	<1	<1	<1	<1	1,61	3,49	3,77	4,41	388	18,7	5,98
923	-6,6540	-50,0249	3,07	0,278	0,632	10,6	5,39	3,51	12,7	113	<1	1,91	1,3	1,93	2,72	9,25	3,11	1,17	174	13,4	8,27
931	-6,6679	-50,2476	1,31	0,145	0,21	14,6	5,43	3,75	17,7	118	5,68	1,86	<1	<1	<1	71	1,43	<1	218	14,6	5,37
936	-6,6858	-50,1843	2,46	0,187	0,192	11,7	2,68	3,72	11,5	243	<1	<1	<1	<1	<1	44,6	5,37	<1	349	13,2	4,7
939	-6,6910	-50,1967	1,52	0,0983	0,318	12,8	10,2	5,15	23,9	106	5,93	1,58	2,55	2,55	2,07	7,24	2,71	1,05	223	6,8	8,44
940	-6,6977	-49,8330	1,42	0,0283	0,177	6,4	1,73	4,91	6,5	71,7	<1	1,26	1,18	<1	<1	37,3	<1	<1	90,1	21,2	16,9
941	-6,6961	-49,8141	1,41	0,0306	0,129	7,14	1,85	4,12	6,55	92,1	<1	<1	<1	<1	<1	31,2	<1	<1	130	17	13
950	-6,7207	-50,0226	0,509	0,589	0,272	13,5	2,04	1,99	10,8	149	33,8	4,44	<1	1,94	<1	46,7	<1	2,21	156	19,9	<1
951	-6,7151	-50,2334	1,91	1,75	0,313	15,8	5,59	5,87	20,5	209	6,11	1,4	<1	1,37	1,07	11,6	1,6	1,57	427	24,9	8,03
952	-6,7233	-50,0537	4,35	0,426	0,0627	9,1	3,72	3,85	15,1	76,2	<1	1,28	<1	1,69	1,41	22,3	12,2	2,94	91,1	27,1	13,6
959	-6,7501	-50,0578	1,58	0,093	0,21	7,26	3,07	3	10,3	110	<1	<1	<1	<1	<1	6,43	2,04	<1	168	16,2	14
964	-6,7312	-50,2424	1,59	0,141	0,24	14,9	10,7	4,43	21,6	99,9	3,11	1,33	2,12	2,3	1,37	8,38	2,67	<1	196	6,82	7,73
968	-6,7707	-49,8977	7,54	0,659	0,0492	8,25	2,75	6,26	8,31	106	<1	<1	<1	<1	<1	29,1	<1	2,49	57,5	17,7	18,7
969	-6,7698	-49,8313	1,5	0,0898	0,298	9,82	1,87	4,06	8,23	81	<1	<1	<1	<1	<1	23,7	<1	<1	126	18,9	18,5
971	-6,7386	-50,0351	1,78	0,141	0,0678	8,62	3,11	4,04	7,84	91,6	<1	7,89	<1	9,29	<1	390	<1	33,8	151	19,5	2
976	-6,7954	-49,9601	4,38	0,608	0,134	10,2	3,43	5,42	13	140	<1	<1	<1	<1	<1	32,2	13,8	1,98	128	18,1	19,1
977	-6,8073	-50,0553	2,28	0,125	0,429	9,49	6,48	3,58	14	158	2,2	1,04	1,38	1,72	1,92	10,9	3,23	<1	205	13,4	7,05
981	-6,8472	-50,0423	12,2	8,99	0,449	25,5	10,8	3,91	14,6	315	<1	<1	9,12	2,45	1,39	82,1	1,95	14,2	299	23,1	5,44
983	-6,8147	-49,9836	3,43	0,463	0,181	11,9	5,39	3,64	11,1	119	<1	<1	1,17	1,77	1,31	4,33	2,89	1,34	169	18	3,73
984	-6,8002	-49,9099	2,69	0,0876	0,242	11,1	2,74	4,97	12	76,7	1,82	<1	<1	<1	<1	30,1	<1	<1	200	21,8	20,1
985	-6,8067	-49,9665	5,89	0,368	0,175	15,6	4,04	4,7	16,9	193	6,76	2,18	2,31	1,62	2,6	29	6,51	1,48	287	12,9	9,41
992	-6,8315	-49,9323	2,04	0,0512	0,331	7,87	2,14	3,84	9,47	79,7	3,16	1,32	<1	<1	<1	63,5	<1	<1	103	10	27,4
994	-6,8136	-50,1706	3,05	0,203	0,14	7,39	2,48	2,22	17	259	1,97	<1	<1	<1	<1	16,1	1,96	1,08	301	5,5	3,79
997	-6,8366	-50,0678	2,18	0,0252	1,77	4,08	1,08	3,79	4,48	136	9,75	3,07	2,59	<1	2,61	25,9	2,78	<1	124	10,5	6,5
998	-6,8583	-50,0547	2,73	0,216	0,101	9,72	3,54	4,27	8,54	100	<1	<1	<1	<1	<1	445	3,09	<1	156	19	3,43
1000	-6,8531	-50,1807	3,73	0,459	0,0957	22,1	15	2,7	21,5	102	1,2	1,33	1,22	1,74	1,71	18,1	1,7	1,32	222	6,46	4,88

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
1010	-6,9222	-50,0374	3,36	0,248	0,613	31	13,8	5,52	20	82,1	8,52	5,34	4,06	7,26	6,3	44,5	4,44	2	194	14,7	40,7
1011	-6,9101	-50,0193	1,74	0,1	0,115	18,7	11,4	4,72	16,5	94,4	<1	1,58	1,05	1,49	<1	<1	4,4	<1	173	17,5	4,54
1027	-6,9809	-49,9886	4,01	0,21	0,264	6,92	3,28	3,9	8,06	94,5	<1	1,66	1,99	2,24	2,08	31,1	<1	1,66	131	28,7	23,8
1033	-6,9982	-49,9972	2,74	0,0148	0,0804	3,85	2,13	2,86	6,01	64,7	<1	<1	1,49	<1	<1	17,6	<1	<1	58,3	16	7,66
1035	-7,0030	-50,2194	1,73	0,0837	0,347	5,33	1,54	2,07	6,15	119	<1	<1	<1	<1	<1	16,2	2,04	<1	85,8	7,53	22,1
1039	-7,0175	-50,1760	1,9	0,0516	0,145	7,39	2,61	2,6	5,93	83,2	<1	<1	1,21	<1	<1	12,8	<1	<1	83,9	13,5	9,04
1044	-7,0398	-50,2707	2,09	0,0585	0,364	7,23	1,91	2,52	8,5	108	<1	<1	<1	<1	1,03	19,4	<1	<1	158	7,58	46,4
1045	-7,0681	-50,2383	1,94	0,0655	0,992	4,86	1,44	2,24	5,9	84,8	<1	<1	<1	<1	<1	24,6	<1	<1	86,9	9,35	24,3
1047	-7,0788	-50,3066	0,92	0,0221	2,49	3,69	1,04	1,06	5,43	71,5	<1	<1	<1	<1	<1	33,5	<1	<1	81,9	<1	62,8
1049	-7,1099	-50,2298	2,87	0,0923	0,28	5,54	1,76	2,91	7,61	61,4	<1	1,05	1,47	<1	<1	11,9	<1	<1	76,2	14,3	18,1
1050	-7,0712	-50,2408	2,36	0,152	0,586	6,38	2,06	2,42	11,9	124	2,03	<1	<1	<1	1,36	19,7	2,2	<1	164	<1	5,6
1055	-7,1654	-50,0676	6,61	1,58	0,289	7	2,45	1,36	6,43	57,3	<1	<1	2,23	2,04	2,28	25,2	15,2	5,12	93	7,28	11,1

Nota: MB – Microbacia; LD – Limite de detecção; Al – Alumínio; Ba – Bário; Cu – Cobre; Cr – Cromo; Ni – Níquel; V – Vanádio; Zn – Zinco; Sn – Estanho; Co – Cobalto; Sr – Estrôncio; Rb – Rubídio; Ti – Titânio; Mn – Manganês; Fe – Ferro; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; K – Potássio; Na – Sódio.

Tabela C3 – Resultados analíticos dos parâmetros físico-químicos, ânions e P_{total} em águas superficiais da bacia do rio Parauapebas, para o período de estiagem.

MB	Latitude	LD Longitude	0,1	-	-	1	-	5	0,1	0,5	0,01	0,05	2,2	0,5
			OD mg/L	pH -	Temperatura °C	CE µS/cm	Eh mV	STD mg/L	Turbidez UNT	Cl ⁻ mg/L	P _{total} mg/L	F ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
159	-5,6027	-49,7259	6,4	7,21	29,4	70	224,4	52	18,5	4,94	0,02	0,05	<2,2	1,59
201	-5,6585	-49,7049	6,06	7,67	28,2	46	349,3	53	14,5	4,24	0,02	0,05	<2,2	1,1
202	-5,6654	-49,6704	4,4	6,77	24,9	32	390,2	67	7,42	7,79	0,04	<0,05	<2,2	<0,5
225	-5,7365	-49,7981	7,3	7,1	24,7	42	394,6	63	43,9	4,06	0,04	<0,05	<2,2	<0,5
226	-5,7272	-49,7362	6,7	7,9	28,3	49	361,7	51	11,9	4,03	0,03	0,08	<2,2	1,15
227	-5,7007	-49,7327	4,9	7,43	26,4	69	384,7	67	24	5,91	0,04	0,07	<2,2	<0,5
236	-5,7180	-49,8741	6,1	7,04	24,9	53	208,55	51	43,4	3,96	0,03	<0,05	<2,2	<0,5
238	-5,7511	-49,8904	7,5	7	24,5	47	405,6	89	23,1	7,16	0,03	0,05	<2,2	<0,5
265	-5,7657	-49,7761	6,1	7,48	27,8	46	354,6	54	13,1	4,28	0,02	0,13	<2,2	1,3
266	-5,7779	-49,7361	3,1	6,74	24,7	84	219,3	114	73,8	11	0,14	0,13	<2,2	<0,5
275	-5,8507	-49,9704	8,3	7,56	25,8	46	403,7	92	11,7	3,14	0,01	0,1	<2,2	<0,5
278	-5,7918	-49,8255	7,6	7,12	23,3	41	400,8	53	24,2	4,59	0,03	<0,05	<2,2	<0,5
279	-5,7851	-50,0064	7,2	7,62	25,9	49	404,8	79	16,1	4,33	0,03	<0,05	<2,2	<0,5
280	-5,7837	-49,6458	4,8	6,54	25,2	36	285,9	117	24,5	9,62	0,1	<0,05	<2,2	<0,5
283	-5,7996	-50,0015	6	7,71	25,1	30	375	44	18,8	2,44	0,01	<0,05	<2,2	<0,5
284	-5,8007	-49,8062	6,1	7,72	28,6	49	362,9	50	6,39	4,15	0,02	<0,05	<2,2	1,39
285	-5,7854	-49,7916	6	7,21	25,3	28	313,8	31	7,11	2,46	0,02	<0,05	4,61	<0,5
290	-5,8036	-49,6416	4,3	7,26	26,1	25	221,1	65	37,6	3,5	0,05	<0,05	<2,2	0,52
291	-5,7918	-49,5955	5,5	7,49	26,1	41	225,3	83	4,89	8,65	0,03	<0,05	<2,2	0,58
296	-5,7999	-49,6256	4,4	7,54	27,4	55	212,8	76	67,8	8,49	0,06	<0,05	<2,2	<0,5
323	-5,8260	-49,8487	6,6	6,74	26,1	48	401,3	62	24,2	5,24	0,02	<0,05	<2,2	<0,5
340	-5,8542	-49,8254	7,2	7,58	27,6	87	417	95	46,3	3,76	0,03	0,08	<2,2	<0,5
343	-5,8703	-49,7370	4	6,6	24,1	40	227,8	126	5,53	2,09	0,03	0,1	<2,2	<0,5
344	-5,8636	-49,7622	5,6	6,88	27,2	21	236,7	16	11,4	2,71	0,02	0,1	<2,2	<0,5
346	-5,8942	-49,8242	6,3	6,94	28,4	15	311,9	34	5,27	1,21	0,02	0,06	<2,2	<0,5
377	-5,9148	-49,9120	10,1	7,23	24,6	24	332,3	55	5,71	1,9	0,01	0,13	<2,2	<0,5
380	-5,9415	-49,7917	7,7	6,79	24,3	35	382,4	53	3,26	2,86	<0,01	<0,05	<2,2	<0,5
388	-5,9232	-49,8992	9,2	7,55	24,4	19	354,6	34	7,26	2,33	<0,01	0,05	<2,2	<0,5
389	-5,9238	-49,8950	9,4	7,36	28,3	59	405	62	3,15	5,2	0,02	<0,05	<2,2	1,84
393	-5,9398	-50,1286	7,2	6,83	26,5	31	257,12	7	14,5	1,21	0,02	<0,05	<2,2	<0,5
398	-5,9355	-49,8215	6,8	6,93	25,2	40	434,7	68	6,01	1,82	0,02	0,14	<2,2	<0,5
399	-5,9844	-49,8241	7,3	6,84	26,7	40	336	50	5,62	2,38	<0,01	0,15	<2,2	<0,5
406	-5,9543	-50,1076	6,6	6,17	27,3	18	426,5	13	19,9	1,41	0,01	<0,05	<2,2	<0,5
409	-5,9433	-50,1153	7,6	7,13	25,4	33	385	25	7,2	1,08	0,02	<0,05	<2,2	1,33
412	-5,9444	-50,1829	6	6,8	24,4	42	371,5	28	15,4	1,03	0,03	<0,05	<2,2	<0,5
420	-5,9571	-50,0838	7,2	7,01	25	22	377	39	8,66	1,35	<0,01	<0,05	<2,2	1,51
421	-5,9720	-50,1413	5,8	6,9	27,6	47	389,4	37	2,24	1,19	0,01	<0,05	<2,2	3,05
424	-5,9762	-50,0669	5,7	6,72	25,9	24	297,2	45	7,15	2,61	0,01	<0,05	<2,2	<0,5
426	-6,0116	-50,1345	5	7,08	32,5	18	223,5	40	1,26	2,79	<0,01	<0,05	<2,2	1,21
437	-5,9850	-49,7846	8,1	7,22	23,7	67	416,2	73	4,72	3,15	<0,01	<0,05	<2,2	<0,5
443	-5,9765	-50,0117	6,4	6,43	23	20	339,6	27	6,57	1,23	0,01	<0,05	<2,2	<0,5
444	-5,9657	-50,2161	4,6	5,91	27,9	21	387	25	5,28	1,31	0,02	<0,05	<2,2	<0,5
445	-6,0001	-49,9109	7,4	7,32	27,9	68	429,4	71	6,88	5,33	0,03	0,06	4,22	1,93
446	-5,9872	-49,8924	7,4	6,96	25,8	33	349,7	59	6,42	2,14	0,02	0,11	<2,2	<0,5
447	-5,9990	-50,2112	5,4	5,52	24,3	17	347	34	4,1	1,36	<0,01	<0,05	<2,2	<0,5
451	-6,0143	-50,1869	8,1	7,48	24,1	179	223,5	119	2,6	1,34	<0,01	<0,05	12	15,4
461	-6,0135	-49,7816	5,6	7,32	24,3	117	260,6	100	58,1	4,95	0,05	0,06	<2,2	0,63

MB	Latitude	Longitude	LD	0,1	-	-	1	-	5	0,1	0,5	0,01	0,05	2,2	0,5
			OD	pH	Temperatura	CE	Eh	STD	Turbidez	Cl ⁻	P _{total}	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	
			mg/L	-	°C	µS/cm	mV	mg/L	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
464	-5,9921	-50,0325	8,5	7,24	23,1	26	392,7	36	5,3	2,94	<0,01	<0,05	5,68	<0,5	
466	-6,0011	-49,9605	6,8	6,77	25,7	34	411,6	41	7,24	2,23	0,01	0,07	2,4	<0,5	
470	-6,0047	-49,9725	8,6	7,09	23,1	19	361,5	47	5,92	3,12	0,01	<0,05	2,59	<0,5	
473	-6,0212	-49,9495	8,5	7,09	24,9	28	447,5	32	9,71	1,93	0,01	<0,05	3,91	1,06	
488	-6,0287	-49,9029	6,8	7,31	28,9	132	324	105	15,7	12,2	0,12	0,08	<2,2	5,9	
498	-6,0541	-49,6935	6,9	7,84	21,9	43	410,1	122	14,3	6,59	0,02	<0,05	<2,2	0,52	
500	-6,0375	-49,9081	6,3	7,2	25,6	108	309,1	77	7,76	6,59	0,02	0,07	<2,2	2,13	
501	-6,0403	-49,9060	6,2	7,47	26	108	230,6	88	7,45	6,67	0,03	0,06	5,14	2,18	
505	-6,0632	-49,6806	7,3	7,97	22,6	51	414,7	124	18,7	9,45	0,02	<0,05	<2,2	0,98	
509	-6,0529	-49,7557	6,2	7,41	23,8	119	357,4	102	19,7	4,82	0,02	0,07	<2,2	0,56	
510	-6,0754	-49,7783	6,8	7,14	22,3	104	310,5	87	17,2	7,21	0,02	0,06	<2,2	<0,5	
515	-6,0891	-49,7396	6,5	6,87	24,5	70	282,3	72	15,8	3,6	0,02	0,08	<2,2	<0,5	
525	-6,0750	-49,9094	5,1	6,96	24	169	236,7	51	12,6	11,8	0,08	0,12	4,74	3,99	
530	-6,1169	-49,6720	6,2	6,58	26,1	56	353,2	75	23,4	1,91	0,02	0,06	<2,2	<0,5	
532	-6,0987	-49,7015	5	6,73	24,4	79	260,9	62	11	2,53	0,01	0,11	<2,2	0,52	
537	-6,0871	-50,0881	5,8	6,79	23	17	245,7	23	6,96	4,51	<0,01	0,06	<2,2	<0,5	
541	-6,1232	-49,8618	6,7	7,03	29,8	39	441,5	55	12,2	2,96	0,02	<0,05	<2,2	<0,5	
542	-6,0905	-49,8654	5,1	7,6	24,8	118	229,6	119	19,6	5,12	0,05	0,09	<2,2	0,73	
547	-6,0959	-49,9132	5,6	7,52	23,5	46	344,4	61	2,45	5,59	<0,01	<0,05	<2,2	0,72	
548	-6,1330	-49,9024	6,3	7,46	24,5	90	231,3	67	8,37	5,04	<0,01	0,06	<2,2	1,54	
552	-6,1669	-50,1921	7,4	5,9	20,1	29	252,7	27	3,08	1,86	<0,01	<0,05	<2,2	<0,5	
557	-6,1059	-50,0819	7,5	6,21	22,6	40	238,7	34	7,57	1,87	0,04	<0,05	<2,2	2,12	
558	-6,1798	-50,0214	6	7,02	22,5	61	486	22	6,22	2,61	<0,01	0,1	<2,2	0,8	
563	-6,1219	-50,1773	6	6,53	21,3	17	260,1	21	3,59	0,63	<0,01	0,09	<2,2	<0,5	
574	-6,1430	-50,2298	7,8	5,88	29,2	24	238,7	12	2,39	3,32	<0,01	<0,05	<2,2	<0,5	
583	-6,1664	-49,9369	6,6	7,83	25,8	32	421,8	55	5,05	4,97	<0,01	<0,05	<2,2	2,27	
599	-6,1638	-49,8902	5,7	7,42	27,3	47	369,1	31	5,44	4,08	<0,01	<0,05	<2,2	2,05	
607	-6,1720	-49,9146	6	7,61	27,8	50	389,2	36	5,14	4,2	<0,01	<0,05	<2,2	2,29	
608	-6,2277	-49,8897	7	7,11	27,6	19	400,8	29	12,6	2,53	0,02	<0,05	<2,2	<0,5	
620	-6,1884	-50,1878	6,2	6,57	25,1	35	403,2	26	3,68	4,83	0,06	<0,05	<2,2	<0,5	
622	-6,1834	-50,1643	7,5	7,12	22,5	21	227,5	18	1,77	1,46	<0,01	<0,05	<2,2	<0,5	
630	-6,2021	-49,9713	5,4	7,44	24,9	31	385,7	48	3,05	3,32	<0,01	<0,05	<2,2	<0,5	
631	-6,2095	-49,9668	7,9	7,77	27,9	41	432,6	69	5,1	5,4	0,02	<0,05	<2,2	3,74	
637	-6,1962	-49,8042	6,3	6,33	29	24	358,2	66	6,83	1,95	<0,01	0,05	<2,2	<0,5	
638	-6,2174	-49,7693	6,6	7,3	26,9	42	320,2	60	6,74	2,42	0,01	0,12	<2,2	<0,5	
640	-6,1891	-50,1328	6,1	5,23	22,9	17	238,5	29	2,96	<0,5	0,01	<0,05	<2,2	<0,5	
642	-6,2338	-49,8260	7	7,64	26,8	84	581,3	85	19	7,34	0,03	0,07	<2,2	1,13	
645	-6,2412	-49,7809	5,6	6,65	25,6	143	442,6	110	21,3	1,09	0,05	0,05	<2,2	0,51	
649	-6,3215	-50,1118	5,9	6,75	22,6	13	248,5	0	0,41	0,67	0,01	0,08	<2,2	<0,5	
650	-6,2216	-50,2986	7,5	6,19	23,9	23	224,6	38	1,65	3,83	<0,01	<0,05	2,35	<0,5	
661	-6,2457	-50,3144	6	6,93	20,4	21	228,4	54	4,48	5,11	0,02	0,08	<2,2	<0,5	
673	-6,3133	-49,7910	5,3	6,03	28,4	32	605,78	30	11,8	2,44	0,02	<0,05	<2,2	<0,5	
675	-6,2948	-50,3198	3,5	5,18	22,4	66	297,4	50	6,2	3,43	0,09	0,21	<2,2	<0,5	
676	-6,2722	-49,8070	6,7	7,03	26,9	22	589,4	25	11,3	1,91	0,01	<0,05	<2,2	<0,5	
694	-6,2789	-49,9851	7,6	8,22	27,1	90	399,6	84	3,52	7,47	0,01	0,05	<2,2	5,76	
695	-6,2834	-49,9807	7,2	7,5	21,9	21	294,9	14	3,04	2,09	<0,01	<0,05	<2,2	<0,5	
710	-6,3068	-50,0068	5,3	6,82	21,7	32	347,8	44	7,41	4,3	<0,01	<0,05	<2,2	<0,5	
716	-6,3105	-50,0290	6,9	7,67	21,2	47	345,7	55	4,51	5,15	0,01	<0,05	<2,2	37,3	
720	-6,3165	-50,0277	6,9	7,87	27,3	75	348,6	52	5,95	5,88	0,01	<0,05	<2,2	6	
722	-6,3213	-49,7649	6,8	7,11	28,8	62	490,4	53	8,25	4,81	0,02	<0,05	2,48	<0,5	

MB	Latitude	Longitude	LD	0,1	-	-	1	-	5	0,1	0,5	0,01	0,05	2,2	0,5
			OD	pH	Temperatura	CE	Eh	STD	Turbidez	Cl ⁻	P _{total}	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	
			mg/L	-	°C	µS/cm	mV	mg/L	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
725	-6,3294	-49,7939	7,1	7,46	28,3	46	375,3	44	5,82	4,97	0,02	<0,05	<2,2	<0,5	
745	-6,3815	-49,7323	8,5	7,71	21,7	63	392,9	79	19,1	5,54	0,03	0,08	3,41	0,61	
749	-6,3758	-49,8211	7,8	7,68	27,1	73	372,8	78	25,2	9,38	0,04	<0,05	<2,2	1,01	
754	-6,3651	-50,1169	6,6	5,85	23,2	44	503,1	43	3,35	2,98	0,01	<0,05	<2,2	<0,5	
758	-6,4263	-50,2465	6,1	6,92	24,5	48	506	46	6,4	2,06	0,01	<0,05	2,35	0,61	
765	-6,3770	-50,0350	7	7,97	26,6	59	345,6	52	9,6	4,2	0,03	<0,05	<2,2	4,03	
766	-6,3796	-50,0295	7,6	7,55	25	41	369,1	38	3,7	5,7	0,02	<0,05	<2,2	1,3	
768	-6,4266	-50,1756	7,3	7,41	24,6	30	395,7	36	14	2,12	0,02	<0,05	<2,2	<0,5	
772	-6,4080	-49,8271	6,9	7,19	23,6	294	297,87	221	35,6	60,8	0,06	0,13	<2,2	<0,5	
778	-6,4105	-49,8132	8,5	7,64	25,7	322	391,6	291	12,1	48	0,04	0,26	4,25	<0,5	
780	-6,4135	-50,2460	6,4	7,02	24,1	62	468,3	45	1,77	3,18	0,02	<0,05	<2,2	<0,5	
781	-6,3976	-50,1032	7,8	7,63	26,1	45	393,5	46	11,3	3,08	0,03	<0,05	<2,2	0,59	
782	-6,4053	-50,0491	6,9	7,63	26,2	43	358,9	78	7,21	2,85	0,03	<0,05	4,87	0,76	
783	-6,4183	-50,0107	5,1	7,19	27,3	220	252,5	200	34,4	34,2	0,07	0,09	<2,2	<0,5	
792	-6,4343	-50,1977	6,5	7,58	24,3	28	436,7	67	15,3	2,01	0,02	<0,05	<2,2	<0,5	
798	-6,4525	-49,7977	4,7	7,03	27,6	335	311,2	291	24,7	25,2	0,16	0,35	3,53	<0,5	
799	-6,4354	-49,7915	6,5	7,57	25	169	433,3	172	55,9	17,3	0,08	0,12	<2,2	1,25	
802	-6,4305	-50,1861	7,7	7,21	24	27	460,6	45	16,1	2,12	0,03	<0,05	<2,2	<0,5	
806	-6,4548	-50,2239	3,3	6,89	24,8	217	466,1	131	21,6	5,07	0,07	0,16	<2,2	<0,5	
815	-6,4556	-49,8305	4,5	7,43	27,2	204	358,7	176	31,4	19,2	0,06	0,28	3,64	<0,5	
816	-6,4834	-50,3193	2	6,93	22,5	91	238,1	71	46,1	1,3	0,19	0,09	<2,2	0,63	
819	-6,5137	-49,9716	6,3	7,32	28,9	274	428,1	241	15	55,3	0,12	0,43	<2,2	<0,5	
831	-6,4932	-50,3018	4,8	7,23	23,2	116	344,4	111	11,5	4,03	0,04	0,15	<2,2	<0,5	
832	-6,5129	-50,1440	4,9	7,59	23,8	260	248,89	271	198	11,1	1,41	0,19	<2,2	<0,5	
833	-6,5013	-49,8762	5,5	7,08	24,6	163	394,4	112	11,4	10,2	<0,01	0,06	<2,2	<0,5	
836	-6,5196	-50,1244	4,3	7,43	30,1	294	362,1	193	67,8	14,2	0,26	0,14	<2,2	<0,5	
841	-6,5148	-50,0521	5,5	7,8	27,2	225	382,3	224	11	9,52	0,06	0,18	<2,2	0,59	
844	-6,5255	-49,9106	5,3	7,03	30,4	202	350,98	202	31,6	28,2	0,05	0,09	<2,2	<0,5	
846	-6,5590	-50,2395	6,9	7,69	25,2	209	412,3	188	15,2	7,72	0,1	0,23	<2,2	<0,5	
852	-6,5753	-49,7469	7,4	7,71	24,6	97	419,3	89	16,8	9,62	0,03	0,09	<2,2	0,73	
853	-6,5446	-50,0393	6,1	7,7	27,4	140	409,4	121	8,26	18,9	0,04	0,16	<2,2	2,13	
865	-6,5561	-49,9496	5,6	7,21	24,4	239	394,6	205	76	31,6	0,09	0,27	<2,2	<0,5	
867	-6,5616	-50,0708	4,6	6,6	25,1	357	272,8	193	99,4	9,25	0,45	0,18	4,38	0,55	
872	-6,5778	-50,0551	5,4	7,55	26,1	110	369,8	119	22,2	6,17	0,07	0,1	<2,2	0,74	
873	-6,6030	-49,9352	5,3	7,52	24,9	152	413,2	151	18	27,4	0,06	0,18	<2,2	3,31	
875	-6,5888	-49,7913	3,9	7,28	20,5	157	388,7	114	12,1	9,48	0,08	0,09	<2,2	0,74	
879	-6,5800	-49,8344	5,6	7,47	24,9	335	399,5	266	2,97	57,7	0,08	0,32	10,1	<0,5	
895	-6,6250	-50,0806	4,9	7,63	24,1	239	273,8	235	11,7	14,4	0,07	0,11	<2,2	<0,5	
898	-6,6281	-49,9013	6,9	8,32	28,9	203	386,7	202	19,8	34	0,05	0,23	<2,2	6,82	
900	-6,6491	-49,8561	7,3	8,16	28	117	404,9	112	23,9	10,7	0,12	0,11	<2,2	<0,5	
904	-6,6466	-50,0379	6	7,67	27,6	117	420,2	101	13,1	6,03	0,03	0,07	<2,2	0,71	
908	-6,6465	-49,9117	6,7	7,85	28	172	421,8	166	17	15,6	0,08	0,14	<2,2	<0,5	
923	-6,6540	-50,0249	5,3	7,51	25,4	125	415,7	118	16,6	6,01	0,05	0,08	<2,2	0,9	
936	-6,6828	-50,1800	5,1	7,7	24	260	330,8	245	26,1	8,8	0,13	<0,05	<2,2	1,27	
939	-6,6913	-50,1967	5,9	7,89	25,6	245	367,8	228	32,6	8,52	0,09	0,12	<2,2	0,7	
940	-6,6984	-49,8341	5,3	7,33	24,8	153	313,8	162	20,9	10,3	0,09	0,08	3,59	<0,5	
950	-6,7207	-50,0225	5,7	7,26	26,7	100	297,2	104	33	5,39	0,16	0,06	<2,2	0,73	
964	-6,7314	-50,2422	4,8	7,8	24,3	285	447,3	235	17,1	6,84	0,16	0,1	<2,2	<0,5	
971	-6,7386	-50,0353	6,1	7,59	26,2	120	384,9	166	27,9	6,08	0,08	0,1	<2,2	1,04	
976	-6,7956	-49,9600	4,9	7,5	22,4	142	420,2	116	13,5	8,8	0,07	0,1	<2,2	0,57	

MB	Latitude	Longitude	LD	0,1	-	-	1	-	5	0,1	0,5	0,01	0,05	2,2	0,5
			OD	pH	Temperatura	CE	Eh	STD	Turbidez	Cl ⁻	P _{total}	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	
			mg/L	-	°C	μS/cm	mV	mg/L	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
994	-6,8133	-50,1705	3,9	6,93	20,3	50	367,5	78	25,1	4,61	0,03	<0,05	<2,2	<0,5	
1000	-6,8531	-50,1806	7,2	7,83	23,4	104	392,4	104	6,32	4,16	0,02	0,05	<2,2	<0,5	
1010	-6,9223	-50,0375	5,9	7,65	20,6	146	425,9	222	8,43	5,48	0,04	<0,05	<2,2	1,3	
1011	-6,9097	-50,0194	4,8	7,45	21,1	113	240,6	166	21,8	11,8	0,13	0,08	3,68	1,37	
1038	-7,0515	-50,0578	3	6,76	25,7	214	261	211	361	5,25	0,79	0,24	4,38	1,18	

Nota: MB – Microbacia; LD – Limite de detecção; OD – Oxigênio dissolvido; CE – Condutividade elétrica; Eh – Potencial redox; STD – Sólidos totais dissolvidos; Cl⁻ - Cloreto; P_{total} – Fósforo total; F⁻ - Fluoreto; NO₃⁻ - Nitrato; SO₄²⁻ - Sulfato.

Tabela C4 – Resultados analíticos dos metais totais em águas superficiais da bacia do rio Parauapebas, para o período de estiagem.

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
159	-5,6027	-49,7259	0,573	0,0469	0,12	2,99	2,36	1,84	4,12	45,7	<1	2,44	<1	<1	1,43	3,34	12,9	1,25	25	11,6	14,9
201	-5,6585	-49,7049	0,683	0,0637	0,132	3,57	2,97	2,02	5,3	48,1	<1	2,74	<1	<1	1,56	16,8	<1	<1	29,7	11	4,75
202	-5,6654	-49,6704	1,35	0,0919	0,0704	6,52	5,27	3,46	9,29	48	<1	2,07	<1	<1	1,49	<1	<1	<1	88,6	<1	3,61
225	-5,7365	-49,7981	1,67	0,0979	0,231	3,05	2,45	1,56	4,86	56,8	1,47	1,38	<1	<1	2,64	22,7	2,41	<1	33,9	5,16	5,08
226	-5,7272	-49,7362	0,649	0,0581	0,134	3,61	2,83	1,91	5,21	46,5	<1	3,46	1,35	2,1	1,55	5,3	10,7	<1	27,3	10,4	11,2
227	-5,7007	-49,7327	0,98	0,271	0,14	6,2	4,85	3,23	6,45	71,6	1,43	2,06	1,01	<1	2,45	21,2	1,15	<1	54,6	10,6	4,52
236	-5,7180	-49,8741	1,66	0,0983	0,222	2,99	2,26	1,45	4,69	49,8	<1	1,24	<1	<1	2,49	6,43	1,48	<1	29,6	<1	6,74
238	-5,7511	-49,8904	1,97	0,098	0,103	3,52	2,25	2,31	5,21	67,1	<1	<1	<1	<1	1,53	6,67	1,77	<1	38,3	<1	3,81
265	-5,7657	-49,7761	0,616	0,0597	0,128	3,98	2,97	2,04	5,38	52,3	<1	3,26	1,16	1,11	1,52	25,4	6,55	<1	29,9	<1	6,65
266	-5,7779	-49,7361	10,9	3,77	0,043	11,7	7,85	7,18	13,5	234	<1	1,71	2,47	12,4	1,23	89,8	2,04	8,1	217	<1	4,71
275	-5,8507	-49,9704	0,96	0,0594	0,0525	1,99	1,84	0,938	3,05	42	<1	<1	<1	<1	<1	27	<1	<1	17,2	<1	1,56
278	-5,7918	-49,8255	1,22	0,0874	0,145	3,16	2,17	1,52	5,08	60,4	1,57	<1	<1	<1	1,66	9,37	2,62	<1	38,4	<1	4,24
279	-5,7851	-50,0064	1,33	0,125	0,0605	2,7	1,58	0,654	2,74	40,7	<1	<1	<1	<1	1,47	8,5	<1	<1	20,9	<1	3,53
280	-5,7837	-49,6458	2,72	0,719	0,54	9,17	6,44	5,81	8,14	122	<1	3,38	1,77	1,19	6,47	12,3	1,98	3,22	36,7	12,1	8,01
283	-5,7996	-50,0015	1,21	0,0434	0,0603	1,43	0,87	0,948	2,04	26,2	<1	1,59	<1	<1	<1	26,3	<1	<1	13,2	<1	1,38
284	-5,8007	-49,8062	0,563	0,0427	0,11	3,71	2,88	2	5,28	50	<1	3,28	<1	<1	1,12	7,24	3,42	<1	27,6	6,85	4,68
285	-5,7854	-49,7916	0,599	0,068	0,0679	2,88	2,03	1,36	2,63	25,9	8,9	1,12	<1	<1	1,13	27,4	3,31	<1	19,2	10,7	3,2
290	-5,8036	-49,6416	2,67	0,994	0,361	5,63	5,16	4,93	7,37	73,2	11,8	2,36	2,43	6,87	3,51	38,4	2,3	3,69	19,5	5,42	7,39
291	-5,7918	-49,5955	0,382	0,07	0,0667	7,94	4,75	3,32	5,55	58,2	<1	1,97	2,49	12,5	1,16	7,94	2,12	<1	42,1	6,6	3,89
296	-5,7999	-49,6256	6,61	0,666	0,244	7,35	5,69	4,66	10,1	101	<1	3,77	2,93	8,4	4,59	9,91	1,91	2,59	60,3	<1	6,28
323	-5,8260	-49,8487	1,2	0,162	0,106	3,43	2,28	1,46	5,53	62,4	<1	<1	<1	<1	1,26	5,35	1,99	<1	42,3	<1	3,91
340	-5,8542	-49,8254	2,39	0,0724	0,472	4,61	4,05	1,89	4,87	69,6	5,44	9,8	3,53	1,93	4,65	11,4	1,37	1,16	20,9	<1	15,2
343	-5,8703	-49,7370	1,68	0,186	0,0244	7,07	4,67	1,57	6,99	42,6	<1	<1	1,78	7,87	1,32	5,99	1,81	1,23	36	7,33	5,64
344	-5,8636	-49,7622	0,419	0,0614	0,0746	1,74	1,55	1,01	2,35	19,1	<1	1,26	<1	2,83	1,03	3,98	3,66	<1	10,4	<1	5,51
346	-5,8942	-49,8242	1,36	0,049	0,0261	1,21	0,427	2,01	2	105	4,02	<1	<1	<1	<1	5,86	<1	<1	19	6,74	<1
377	-5,9148	-49,9120	0,441	0,0161	0,0476	0,964	0,223	2,05	1,75	62,8	<1	<1	<1	<1	<1	22,4	<1	<1	13,7	7,01	1,52

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
380	-5,9415	-49,7917	0,371	0,0489	0,0292	1,22	0,98	1,37	2,21	45,5	1,49	1,25	<1	<1	<1	17,7	<1	<1	8,8	<1	<1
388	-5,9232	-49,8992	0,54	0,0286	0,0387	0,825	0,416	1,14	1,28	34,8	<1	<1	<1	<1	<1	26,5	<1	<1	8,07	5,13	<1
389	-5,9238	-49,8950	0,477	0,0409	0,0334	3,06	2,15	1,47	4,29	41,1	<1	1,82	<1	<1	<1	7,95	<1	<1	27,6	<1	<1
393	-5,9398	-50,1286	1,72	0,039	0,0983	1,75	0,643	1,15	2,39	30,4	5,06	1,37	<1	<1	<1	47,9	4	<1	10,4	<1	3,15
398	-5,9355	-49,8215	1,17	0,0833	0,0568	1,85	0,462	2,93	3,25	145	2,45	<1	<1	<1	<1	36,3	1,5	<1	28,9	7,71	2,34
399	-5,9844	-49,8241	1,52	0,0614	0,0443	1,83	0,433	3,27	3,41	154	7,31	<1	<1	<1	<1	7,84	1,79	<1	26,3	6,78	3,03
406	-5,9543	-50,1076	0,57	0,0215	0,0902	0,964	0,914	0,725	1,75	16,9	5,24	1,11	<1	<1	<1	51,6	1,71	<1	6,68	<1	2,13
409	-5,9433	-50,1153	1,1	0,0526	0,0514	2,26	1,58	1,02	2,16	26,2	<1	1,01	3,84	<1	<1	33,4	<1	<1	14,5	<1	1,82
412	-5,9444	-50,1829	2,14	0,0472	0,096	1,66	0,715	0,798	3,28	49,3	9,46	1,05	<1	<1	<1	26,5	1,48	<1	15,4	<1	2,11
420	-5,9571	-50,0838	0,872	0,0519	0,0505	1,54	1,24	0,925	1,77	25,2	6,04	<1	<1	<1	<1	26,6	1,29	<1	10,8	<1	1,5
421	-5,9720	-50,1413	0,162	0,0478	0,00993	2,77	2,43	1,02	1,31	17,3	2,36	1,09	<1	<1	<1	29,1	1,25	<1	14,5	<1	1,51
424	-5,9762	-50,0669	1,09	0,0532	0,0381	1,53	1,44	1,04	2,22	24,9	<1	<1	<1	<1	<1	34,2	<1	<1	10,2	<1	1,58
426	-6,0116	-50,1345	0,132	2,55	0,0122	3,97	1,85	2,46	1,79	106	<1	<1	<1	<1	<1	46,9	1,59	1,09	15	6,01	<1
437	-5,9850	-49,7846	0,373	0,0201	0,0279	3,59	3,78	0,724	1,95	24,5	6,27	1,04	<1	<1	<1	5,4	2,09	<1	6,63	<1	1,65
443	-5,9765	-50,0117	1,22	0,032	0,0501	1,24	0,617	0,673	2,01	25,7	8,13	1,38	<1	<1	<1	46,1	<1	<1	8,9	<1	1,68
444	-5,9657	-50,2161	1,76	0,0384	0,0166	0,73	0,315	1,03	1,01	25,8	4,26	<1	<1	<1	<1	26,1	<1	<1	6,35	<1	<1
445	-6,0001	-49,9109	0,952	0,0707	0,122	4,58	3,6	2,32	7,07	43,6	1,92	2,67	<1	<1	<1	38,4	1,29	<1	33,5	<1	3,84
446	-5,9872	-49,8924	0,671	0,0443	0,0503	2,03	0,514	2,91	3,47	157	6,17	1,16	<1	<1	<1	6,5	1,23	<1	28,8	6,13	2,45
447	-5,9990	-50,2112	0,405	0,0269	0,134	2,48	2,73	2,18	6,81	45,7	<1	1,71	<1	<1	1,13	18,1	4,23	1,05	34,2	7,74	3,54
451	-6,0143	-50,1869	0,438	0,107	0,129	15,6	15,6	1,17	9,6	66,3	5,51	4,34	2,23	<1	<1	36	11,4	<1	21,1	7,65	13,5
461	-6,0135	-49,7816	3,11	0,114	0,746	8,17	7,54	2,02	8,4	43,8	<1	14,6	5,37	3,16	7,94	5,07	1,48	2,17	19,6	<1	22,4
464	-5,9921	-50,0325	0,678	0,0396	0,056	1,32	2,33	1,41	2,78	41,8	12	2,3	<1	<1	<1	36,7	2,06	<1	10,9	<1	2,02
466	-6,0011	-49,9605	2,29	0,152	0,0291	2,6	1,75	2,25	3,83	75,2	12,6	1,42	<1	<1	<1	31,5	4,05	<1	20,7	6,94	3,12
470	-6,0047	-49,9725	0,804	0,0387	0,064	1,88	2,39	1,6	3,55	38,1	<1	2,69	<1	<1	<1	30,5	1,52	<1	13,5	<1	2,89
473	-6,0212	-49,9495	1,07	0,0611	0,0695	2,02	1,6	1,4	2,82	35	1,25	1,53	<1	<1	<1	33,2	1,92	<1	13,6	<1	2,29
488	-6,0287	-49,9029	0,96	0,129	0,0802	5,49	3,56	1,56	8,32	34,3	<1	2,9	<1	<1	1,26	8,47	<1	<1	28,9	6,73	2,91
498	-6,0541	-49,6935	1,34	0,0621	0,0685	10,2	8,85	0,971	6,02	28,6	<1	7,72	<1	<1	1,4	4,63	1,2	<1	16,7	13,9	5,06
500	-6,0375	-49,9081	0,618	0,0904	0,0889	6,38	4,95	2,4	9,48	50,9	1,69	3,29	<1	<1	<1	7,07	1,34	<1	44,9	<1	2,16

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
501	-6,0403	-49,9060	0,658	0,0931	0,081	6,66	4,99	2,38	9,39	49,9	4,39	2,18	<1	<1	<1	1,57	2,38	<1	43,6	<1	2,35
505	-6,0632	-49,6806	0,898	0,0661	0,175	10,2	11,7	1,18	7,74	29,2	<1	2,18	2,37	2,63	3,93	63,1	3,6	<1	19,7	<1	12
509	-6,0529	-49,7557	1,99	0,0675	0,19	8,25	7,64	2,13	8,54	37,3	1,32	8,29	1,67	1,32	3,28	15,8	7,36	<1	19,1	<1	7,65
510	-6,0754	-49,7783	2,32	0,142	0,098	6,3	3,27	3,1	13,3	67,8	1,81	1,25	<1	<1	<1	21,8	7,61	<1	31,2	6,93	4,15
515	-6,0891	-49,7396	2,27	0,0985	0,208	4,04	1,71	2,99	10,4	54,3	1,55	1,4	<1	<1	<1	10,6	1,46	1,24	21	<1	6,55
525	-6,0750	-49,9094	2,22	0,395	0,117	10	4,65	4,38	21,7	97	4,72	2,46	<1	<1	<1	4,14	<1	1,27	49,6	5,49	4,54
530	-6,1169	-49,6720	3,02	0,0903	0,236	3,41	1,97	2,69	6,9	53,9	2,41	2,76	<1	<1	1,5	1,46	1,56	1,04	14	5,16	7,81
532	-6,0987	-49,7015	1,75	0,0594	0,0786	4,84	2,89	2,37	8,9	47,2	1,7	1,34	<1	<1	<1	11,9	6,11	<1	18,4	<1	5,69
537	-6,0871	-50,0881	0,425	0,0373	0,0584	1,88	2,6	1,21	2,7	44,3	<1	1,19	<1	1,11	<1	<1	3,72	<1	7,77	5,38	2,21
541	-6,1232	-49,8618	2,31	0,0969	0,0842	2,53	0,897	2,72	5,36	62,5	7,84	1,03	<1	<1	<1	26,5	<1	<1	19,2	5,38	3,3
542	-6,0905	-49,8654	3,04	0,33	0,0921	8,8	3,85	3,15	11,8	79	3,69	2,27	<1	<1	<1	6,26	1,74	1,08	41,8	5,09	3,83
547	-6,0959	-49,9132	0,176	0,00499	0,0254	2,12	3,59	1,03	3,7	26,3	1,34	<1	<1	<1	<1	5,8	1,84	<1	7,89	<1	2
548	-6,1330	-49,9024	0,682	0,0735	0,0784	6,2	4,67	1,97	6,7	47,4	1,8	1,84	<1	<1	<1	2,54	1,39	<1	42,1	<1	2,42
552	-6,1669	-50,1921	0,315	0,0163	0,0262	1,38	1,28	0,488	3,48	11	<1	1,08	<1	<1	<1	16,2	5,34	<1	5,4	<1	2,44
557	-6,1059	-50,0819	0,157	0,0192	0,0286	2,65	2,1	0,637	1,87	23,9	<1	<1	<1	<1	<1	14,9	2,62	<1	9,16	6,94	3,12
558	-6,1798	-50,0214	0,14	0,0116	0,0298	2,28	2,02	0,576	2,6	15,8	<1	1,26	<1	<1	<1	7,62	17,5	<1	4,93	6,96	11,7
563	-6,1219	-50,1773	0,0371	0,00598	0,0307	0,172	0,216	0,0617	0,421	2,17	<1	<1	<1	<1	<1	3,49	2,43	<1	<1	<1	<1
574	-6,1430	-50,2298	0,609	0,0108	0,0338	1,3	0,903	1,63	5,17	47,7	<1	2,03	<1	<1	<1	8,67	12,4	<1	10,3	6,82	2,02
583	-6,1664	-49,9369	0,338	0,0449	0,0915	4,18	3,33	1,36	4,63	47,9	<1	1,21	<1	<1	<1	8,73	3,23	<1	42	5,38	3,4
599	-6,1638	-49,8902	0,185	0,0421	0,0444	2,69	2,45	1,07	3,45	35,7	<1	1,13	<1	<1	<1	2,88	2,76	<1	29,8	<1	2
607	-6,1720	-49,9146	0,185	0,0406	0,043	2,91	2,58	1,09	3,64	37,8	<1	1,21	<1	<1	<1	5,73	2,01	<1	30,8	5,38	1,85
608	-6,2277	-49,8897	0,96	0,0714	0,0714	1,24	1,15	0,741	2,07	14,3	4,64	<1	<1	<1	<1	32,9	1,61	<1	10,3	<1	1,86
620	-6,1884	-50,1878	0,933	0,0477	0,00647	1,08	1,07	0,945	3,35	44,1	<1	<1	<1	<1	<1	4,66	2,52	<1	7,37	6,62	<1
622	-6,1834	-50,1643	0,139	0,0091	0,0287	1,29	1,79	0,293	2,05	14,2	10,7	3,8	<1	<1	<1	153	1,4	<1	6,5	<1	1,5
630	-6,2021	-49,9713	0,29	0,0188	0,0237	1,95	1,91	0,815	2,1	35,8	<1	<1	<1	<1	<1	3,66	1,87	<1	10,4	<1	2,02
631	-6,2095	-49,9668	0,444	0,081	0,128	6,35	4,67	1,78	7,1	56,4	<1	2,24	<1	<1	<1	4,88	1,91	<1	65	9,84	3,24
637	-6,1962	-49,8042	1,17	0,0642	0,0693	3,52	1	2,53	7,69	52,6	3,11	<1	1,2	1,33	<1	18,7	3,3	<1	17,9	<1	6,29
638	-6,2174	-49,7693	3,12	0,0551	0,0782	3,16	1,24	2,35	7,38	31,9	3,31	1,57	<1	<1	<1	2,97	1,62	<1	12,9	7	3,18

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
640	-6,1891	-50,1328	3,14	0,0397	0,0198	0,239	0,283	0,0336	0,513	4,51	<1	<1	<1	<1	<1	28,8	16,7	<1	1,77	<1	9,2
642	-6,2338	-49,8260	1,44	0,125	0,152	4,27	4,37	1,6	5,92	44,6	<1	4,46	1,12	<1	2	15,5	1,49	<1	34,9	<1	6,25
645	-6,2412	-49,7809	9,2	1,1	0,0186	8,82	7,52	0,638	4,17	34,5	<1	<1	<1	2,83	<1	22,7	<1	13,4	24,4	<1	1,87
649	-6,3215	-50,1118	0,129	0,0118	0,00488	0,272	0,435	0,0646	0,497	2,84	<1	<1	<1	<1	<1	5,21	2,19	<1	1,75	<1	<1
650	-6,2216	-50,2986	0,782	0,0158	0,0394	1,01	1,47	1,05	2,9	18,6	<1	3,06	<1	<1	<1	1,92	4,21	<1	7,07	6,68	1,12
661	-6,2457	-50,3144	1,57	0,0142	0,0915	2,32	0,629	2,75	5,85	104	<1	3,07	<1	<1	1,49	7,79	2,55	<1	19,4	7,65	3,37
673	-6,3133	-49,7910	1,78	0,147	0,0433	1,6	0,664	0,836	4,42	44,5	2,25	1,37	<1	<1	<1	20,3	<1	1,72	18,6	<1	1,34
675	-6,2948	-50,3198	2,03	0,045	0,0546	2,6	0,669	6,66	6,77	218	2,87	<1	<1	<1	<1	8,24	4,15	1,69	30	<1	9,91
676	-6,2722	-49,8070	1,39	0,091	0,0571	1,14	0,97	0,588	1,77	22,9	<1	1,27	<1	<1	<1	41,3	<1	<1	7,24	<1	2,99
694	-6,2789	-49,9851	0,246	0,106	0,0603	11,3	7,55	3	11,2	57,2	2,13	3,07	<1	<1	<1	14,6	2,7	<1	70,8	<1	3,03
695	-6,2834	-49,9807	0,483	0,114	0,0465	2,39	2,39	0,457	2,57	20,6	<1	3,64	<1	<1	<1	16	2,6	<1	6,48	<1	2,19
710	-6,3068	-50,0068	1,6	0,228	0,0313	3,28	3,65	0,162	6,29	36,9	<1	1,23	<1	<1	<1	11,8	2,07	1,44	4,85	<1	2,34
716	-6,3105	-50,0290	0,339	0,0318	0,0677	6,71	4,89	0,925	4,6	25,6	<1	2,82	<1	<1	1,23	8,06	2,93	<1	15,3	<1	3,05
720	-6,3165	-50,0277	0,167	0,0738	0,0519	3,87	3,65	1,64	5,23	40,5	<1	2,23	<1	<1	<1	3,47	2,46	<1	50	9,3	2,08
722	-6,3213	-49,7649	1,2	0,148	0,0738	3,97	3,46	1,45	3,1	60	<1	3,84	<1	<1	<1	14,6	<1	1,47	13,5	<1	2,37
725	-6,3294	-49,7939	0,655	0,0495	0,0486	3,16	3,07	0,68	3,38	26,3	4,4	1,05	<1	<1	<1	27,5	<1	<1	11,6	<1	1,81
745	-6,3815	-49,7323	1,07	0,046	0,2	4,53	5,29	1,97	5,53	32,1	<1	11	<1	1,76	1,98	31,5	1,46	<1	15,5	<1	10,2
749	-6,3758	-49,8211	1,65	0,0776	0,269	4,52	4,87	1,52	7,6	44,3	6,56	6,02	<1	<1	1,51	26,7	<1	<1	33,4	<1	10,8
754	-6,3651	-50,1169	0,102	0,00195	0,0252	1,16	1,7	0,387	1,34	13,4	<1	1,32	<1	<1	<1	4,15	4,71	2,56	5,4	7,2	5,25
758	-6,4263	-50,2465	0,234	0,0125	0,0369	3,56	2,27	1	1,34	15,3	<1	3,13	<1	<1	<1	137	2,29	<1	11,2	7,49	1,85
765	-6,3770	-50,0350	0,212	0,0562	0,0539	3,63	3,17	1,3	3,64	30	<1	2,64	<1	<1	<1	4,27	2,44	<1	36,9	<1	2,12
766	-6,3796	-50,0295	0,419	0,0403	0,0638	2,55	2,64	1,37	4,03	21,7	5,73	2,85	<1	<1	<1	25,6	2,27	<1	13,9	<1	4,37
768	-6,4266	-50,1756	0,574	0,0604	0,0919	3,58	3,24	0,991	2,25	23,1	1,18	3,38	<1	<1	1,44	22,9	3,49	<1	13,7	<1	4,22
772	-6,4080	-49,8271	3,63	1,02	0,0223	19	9,6	2,04	39,5	106	3,4	<1	<1	2,63	<1	36,7	1,81	2,68	215	<1	4,83
778	-6,4105	-49,8132	2,6	2,21	0,027	22,8	19,6	4,79	47,5	161	3,96	<1	<1	1,75	1,05	35,8	1,31	1,4	302	13	3,53
780	-6,4135	-50,2460	0,319	0,0156	0,0162	3,93	2,99	0,795	2,34	14,5	<1	2,07	<1	<1	<1	152	2,5	<1	12,4	<1	1,57
781	-6,3976	-50,1032	0,629	0,0494	0,115	4,09	3,54	1,1	2,91	25,3	2,3	2,88	<1	<1	1,25	34,8	1,2	<1	18	<1	3,99
782	-6,4053	-50,0491	0,496	0,0422	0,107	3,11	3,15	0,98	2,59	23,8	<1	2,69	<1	<1	1,1	28,7	2,19	<1	17,1	<1	3,05

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
783	-6,4183	-50,0107	6,6	1,21	0,0472	14,5	10,3	7,59	31,1	156	6,14	1,94	<1	<1	<1	33,2	1,56	1,86	157	15,5	5,1
792	-6,4343	-50,1977	0,512	0,0514	0,0995	3,25	2,87	0,8	1,99	19,5	<1	2,79	<1	<1	1,48	5,69	<1	1,02	11,3	<1	4,27
798	-6,4525	-49,7977	13,1	2,68	0,0378	22,8	36,6	3,67	27,1	332	2,11	<1	1,18	2,85	1,57	32,9	1,29	2,93	279	6,78	6,37
799	-6,4354	-49,7915	2,72	0,214	0,754	10,1	16,8	6,88	21,5	135	4,77	6,97	3,53	4,97	3,91	34,1	1,53	2,12	95,7	7,52	28,1
802	-6,4305	-50,1861	0,531	0,0495	0,139	3,5	3,08	0,974	2,98	21	3,36	3,22	1,3	1,09	1,56	21,5	1,94	<1	12,8	<1	7,43
806	-6,4548	-50,2239	1,9	2,73	0,0347	14,1	8,33	4,57	6,63	147	<1	3,97	<1	2,04	<1	151	2,15	3,3	87	11	2,5
815	-6,4556	-49,8305	12,5	0,808	0,0104	13	13,7	2,79	28,6	191	10,7	1,62	<1	<1	<1	29,8	1,09	1,36	130	6,67	3,06
816	-6,4834	-50,3193	10,3	0,115	0,0357	5,22	2,65	1,75	5,34	45,8	<1	1,65	<1	<1	<1	154	2,26	1,19	22	<1	2,48
819	-6,5137	-49,9716	5,12	0,177	0,0299	5,43	2,5	4,41	22,9	146	<1	1,31	<1	<1	1,62	7,29	<1	1,16	67,4	15,4	1,42
831	-6,4932	-50,3018	3,12	0,371	0,09	7,95	10,8	4,75	8,87	91,4	1,33	1,93	<1	1,39	<1	3,37	1,72	2,18	34,1	5,5	8,23
832	-6,5129	-50,1440	14,7	7,24	1,67	18,1	8,95	7,14	18,1	967	1,68	9,59	3,71	<1	10,5	19,6	3,06	13,2	225	12,5	21,4
833	-6,5013	-49,8762	2,38	0,396	0,0181	4,4	14	1,93	4,32	78,2	<1	<1	<1	4,58	<1	50,1	3,79	3,07	27,8	7,47	2,35
836	-6,5196	-50,1244	11,3	3,62	0,253	28,2	17,6	12,9	32,5	368	4,4	2,12	<1	3,91	4,68	4,38	1,89	11,1	245	11,5	6,12
841	-6,5148	-50,0521	0,77	0,89	0,195	18,8	9,5	4,36	17,9	174	2,89	2,61	<1	<1	1,18	<1	<1	1,45	185	8,41	3,94
844	-6,5255	-49,9106	6,58	0,941	0,03	8,19	5,38	3,67	11,9	165	<1	<1	<1	1,57	<1	9,33	<1	7,88	120	20,2	1,11
846	-6,5590	-50,2395	2,96	1,35	0,0557	20,4	12,9	6,75	24,3	220	3,14	<1	<1	1,4	<1	10,2	4,29	5,28	172	6,9	4,67
852	-6,5753	-49,7469	0,836	0,0955	0,119	4,12	5,12	4,33	14,8	99	<1	7,35	<1	<1	<1	41,4	<1	<1	59,4	12,5	7,3
853	-6,5446	-50,0393	0,786	0,385	0,184	6,18	4,24	5	18,4	104	<1	2	<1	<1	1,07	3,23	1,56	<1	104	10,2	3,93
865	-6,5561	-49,9496	7,37	0,336	0,00871	9,67	5,56	1,6	20,8	118	<1	<1	<1	<1	<1	6,28	<1	<1	105	9,62	<1
867	-6,5616	-50,0708	13	1,47	0,65	14,6	8,1	5,94	29,1	184	3,4	3,34	1,34	2,6	6,77	7,76	1,95	6,47	109	8,86	10,2
872	-6,5778	-50,0551	0,914	0,268	0,151	4,79	5,3	3,54	13,5	84	<1	1,69	1,53	<1	1,64	4,78	1,02	<1	114	9,75	3,33
873	-6,6030	-49,9352	0,635	0,223	0,271	3,32	3,13	4,07	16,1	75	<1	2,23	<1	<1	1,28	7,04	<1	<1	68,7	13,4	2,59
875	-6,5888	-49,7913	0,502	0,876	0,125	5,8	6,15	6,58	15,8	171	<1	3,28	<1	<1	<1	42,2	<1	1,01	85,9	9,68	5,33
879	-6,5800	-49,8344	0,306	0,0139	0,0289	10,3	4,42	5,61	31,2	68,3	<1	1,29	<1	<1	<1	8,81	<1	<1	86,3	15,8	1,45
895	-6,6250	-50,0806	0,612	2,58	0,146	17,7	15,4	7,57	32,6	223	6,82	1,65	<1	2,58	1,05	2,37	1,19	2,05	378	12,5	3,76
898	-6,6281	-49,9013	0,378	0,245	0,263	4,66	4,2	6,02	24,7	71,9	<1	2,77	<1	<1	1,41	4,78	<1	<1	71,4	16,5	3,81
900	-6,6491	-49,8561	0,773	0,728	0,125	3,91	1,94	4,35	12,1	90,6	<1	1,24	<1	<1	1,28	24,7	<1	1,28	126	15,6	2,18
904	-6,6466	-50,0379	0,571	0,543	0,143	9,91	7,61	4,72	17,6	106	6,07	1,28	<1	1,06	<1	3,31	2,56	<1	169	9,13	3,15

MB	Latitude	Longitude	LD	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Fe	Mn	Al	Ca	Mg	K	Na	Ba	B	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Sn	Co	Sr	Rb	Ti
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/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
908	-6,6465	-49,9117	1,17	0,736	0,109	9,64	2,76	5,07	11,7	213	<1	<1	<1	<1	1,13	4,41	<1	<1	206	19,3	2,33
923	-6,6540	-50,0249	0,538	0,511	0,189	8,99	7,85	4,7	17,5	97,4	3,64	1,45	<1	1,1	<1	8,97	1,28	<1	169	8,48	3,1
936	-6,6828	-50,1800	1,02	1,73	0,368	18,5	17,7	11,3	27,3	265	15,4	2,56	3,93	4,41	2,74	13,9	1,4	3,39	311	21,3	9,71
939	-6,6913	-50,1967	1,96	1,23	0,396	18	21,2	7,23	31,8	250	7,02	1,99	3,68	5,04	2,96	7,1	1,18	3,46	372	13,9	9,76
940	-6,6984	-49,8341	0,613	0,516	0,173	12	3,37	7,67	17,4	182	<1	<1	<1	<1	<1	4,25	1,99	<1	288	6,93	3,42
950	-6,7207	-50,0225	5,77	4,12	0,24	9,97	2,15	8,02	14,2	442	9,3	<1	<1	<1	1,32	38,7	1,34	5,63	194	10,2	5,32
964	-6,7314	-50,2422	1,63	4,58	0,255	24,4	25,9	7,93	24,8	291	5,99	1,63	2,68	5,31	1,13	1,82	1,39	3,64	381	10,3	6,52
971	-6,7386	-50,0353	0,875	0,285	0,653	7,87	8,66	5,04	18,8	88	5,53	1,71	1,34	1,5	1,76	1,28	1,55	<1	169	9,73	5,42
976	-6,7956	-49,9600	0,907	1,32	0,128	9,85	6,21	4,52	12,6	204	2,34	<1	<1	<1	<1	6,42	2,23	1,93	163	<1	4,06
994	-6,8133	-50,1705	2,08	0,487	0,0838	8,03	2,94	2,91	13,9	395	<1	<1	1,22	<1	1,06	9,28	1,01	2,65	252	<1	4,2
1000	-6,8531	-50,1806	1,17	0,086	0,0584	16,3	16,4	2,14	13,1	81,7	<1	<1	1,37	1,27	1,44	2,46	<1	<1	98	10,6	3,05
1010	-6,9223	-50,0375	0,672	0,124	0,0836	27,9	18,5	2,45	18,8	92,3	3,13	1,03	1,55	2,53	2,98	7,96	6,61	<1	135	8,54	12,2
1011	-6,9097	-50,0194	3,36	0,719	0,066	16,6	11,3	5,4	24,2	192	1,43	1,07	1,21	1,4	1,17	35,1	1,75	1,08	148	<1	3,81
1038	-7,0515	-50,0578	32,3	4,38	2,34	10,5	8,21	6,08	20,4	466	<1	7,43	7,01	6,93	15	137	2,11	29,9	203	6,6	9,73

Nota: MB – Microbacia; LD – Limite de detecção; Al – Alumínio; Ba – Bário; Cu – Cobre; Cr – Cromo; Ni – Níquel; V – Vanádio; Zn – Zinco; Sn – Estanho; Co – Cobalto; Sr – Estrôncio; Rb – Rubídio; Ti – Titânio; Mn – Manganês; Fe – Ferro; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; K – Potássio; Na – Sódio.