



SANTA CATARINA

ATLAS

geoquímico



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM

ATLAS GEOQUÍMICO DA MESORREGIÃO SUL DE SANTA CATARINA

**PROJETO LEVANTAMENTO GEOQUÍMICO
DE BAIXA DENSIDADE DO ESTADO DE
SANTA CATARINA**

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Adolfo Sachsida

Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Lilia Mascarenhas Sant'agostino

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente Interino

Cassiano de Souza Alves

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

Chefe do Departamento de Gestão Territorial – DEGET

Diogo Rodrigues A. da Silva

Divisão de Gestão Territorial - DIGATE

Maria Adelaide Mansini Maia

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

Superintendente

Alexandre Trevisan Chagas

Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial

Franco Turco Buffon

Supervisão da Hidrogeologia e Gestão Territorial

Marcelo Goffermann

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

ATLAS GEOQUÍMICO DA MESORREGIÃO SUL DE SANTA CATARINA

**PROJETO LEVANTAMENTO GEOQUÍMICO
DE BAIXA DENSIDADE DO ESTADO
DE SANTA CATARINA**

MELISSA FRANZEN

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

**Porto Alegre
2022**



CRÉDITOS TÉCNICOS

Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues A. da Silva

Divisão de Gestão Territorial

Maria Adelaide Mansini Maia

Coordenação Técnica

Eduardo Paim Víglio, MSc.

Execução Técnica

Geol. Melissa Franzen, DSc.

Geol. Eduardo Paim Víglio, MSc.

Eng. Albert Teixeira Cardoso, MSc.

Geol. Guilherme Casarotto Troian, DSc.

Geol. Maria Emília Brenny, MSc.

Tec. Lindomar Santos

Tec. Marco Antônio Pimentel

Tec. Eduardo Chiodelli

Tec. Arnaldo Correa

Estagiários

Deborah Ribeiro Baptista

Julia Mançano Quintarelli

Tiago Gonçalves Cardoso

Revisão

Geol. José Luiz Marmos, MSc.

Geol. Eduardo Paim Víglio

Eng. Albert Teixeira Cardoso

Geol. Marlon Hoelzel, MSc.

Geol. André Luís Invernizzi, MSc.

Geol. Eduardo Duarte Marques, DSc.

Montagem Final

Melissa Franzen

Eduardo Paim Víglio

André Luís Invernizzi

Maria Cecília de Medeiros Silveira

Revisão Linguística

Irinéa Barbosa da Silva

Revisão Bibliográfica

DIDOTE

Projeto Gráfico e Diagramação

DIEDIG - Divisão de Editoração Geral

Lucas Victor de Alcantara Estevão

Projeto e Coordenação de Editoração

Juliana Colussi

Execução

Maria Tereza da Costa Dias

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DIDOTE – Processamento Técnico

F837 Franzen, Melissa.
Atlas geoquímico da mesorregião sul de Santa Catarina /
Melissa Franzen. – Porto Alegre : CPRM, 2022.
1 recurso eletrônico : PDF

Projeto levantamento geoquímico de baixa densidade do
estado de Santa Catarina.

ISBN 978-65-5664-288-8

1.Geoquímica – Atlas – Brasil – Santa Catarina. I. Título.
CDD 551.9098164

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB/7 5662

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

INTRODUÇÃO	15
LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	16
Localização	16
Clima	18
Hidrografia	18
Relevo	20
Vegetação	21
Solos	23
Uso e ocupação do solo	25
Aspectos socioeconômicos	27
Infraestrutura e saneamento básico	31
GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS	37
Compartimentação tectônica	37
Descrição das Unidades	38
Recursos Minerais	42
DRENAGEM ÁCIDA DE MINA	48
MATERIAIS E MÉTODOS	51
Amostragem	51
Sedimento de corrente	52
Água superficial	53
Solo	54
Análises químicas	54
Tratamento estatístico	57
Parâmetros legais	58
SUMÁRIOS ESTATÍSTICOS	64
MAPAS GEOQUÍMICOS	75
PARÂMETROS ANALISADOS	217
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	245
QUALIDADE DAS ÁGUAS	245
Drenagem ácida de mina (DAM)	245
Mineração de fluorita	246

Influência salobra.....	246
Tipologia por bacia.....	247
Pontos geradores.....	250
Comparação com rios não impactados pela DAM.....	255
Comparação dos exutórios afetados pela DAM.....	260
QUALIDADE DOS SEDIMENTOS.....	261
Medianas por região hidrográfica.....	266
Medianas por bacia hidrográfica.....	266
Medianas em áreas afetadas pela mineração de carvão.....	267
Elementos com altos teores de fundo.....	267
Análise de componentes principais (ACP).....	269
Incremento acima da referência ambiental.....	271
QUALIDADE DOS SOLOS.....	274
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	278
Sugestão de Estudo.....	280
REFERÊNCIAS.....	283
ANEXO I.....	289

SUMÁRIO DE FIGURAS E TABELAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Mesorregião Sul Catarinense e da área de influência da Bacia Carbonífera.....	16
Figura 2 - Divisão municipal da área de estudo.....	17
Figura 3 - Regiões e bacias hidrográficas da Mesorregião Sul Catarinense.....	18
Figura 4 - Relevo da Mesorregião Sul Catarinense.....	20
Figura 5 - Vegetação na Mesorregião Sul Catarinense.....	22
Figura 6 - Perfil esquemático da floresta ombrófila densa	23
Figura 7 - Perfil esquemático da floresta ombrófila mista (Mata-de-Araucária).....	23
Figura 8 - Solos da Mesorregião Sul Catarinense.	24
Figura 9 - Usos do solo da Mesorregião Sul Catarinense (em 2018).....	26
Figura 10 - Participação dos setores no PIB de Tubarão (2000/2008).....	29
Figura 11 - Participação dos setores no PIB de Criciúma (2000/2008).	29
Figura 12 - Participação dos setores no PIB de Araranguá (2000/2008).	29
Figura 13 - PIB da Mesorregião Sul Catarinense e do estado de Santa Catarina, a preços correntes (R\$), no período entre 1999 e 2010.	30
Figura 14 - PIB dos polos da Mesorregião Sul Catarinense, a preços correntes (R\$), no período entre 1999 e 2010.	30
Figura 15 - Participação no PIB dos polos da Mesorregião Sul Catarinense (%), em 1999 e 2010.	30
Figura 16 - Participação dos prestadores de abastecimento de água e saneamento ambiental.	31
Figura 17 - Abastecimento de água por faixa de atendimento (%).	31
Figura 18 - Coleta de esgoto municipal por faixa de atendimento (%).	32
Figura 19 - Tipos de sistemas de drenagem urbana municipal (%).	33

Figura 20 - Detalhe da compartimentação tectônica da Mesorregião Sul no Estado de Santa Catarina.....	37
Figura 21 - Esboço geológico da área de estudo.....	39
Figura 22 - Seção esquemática simplificada dos sistemas deposicionais da planície costeira.	42
Figura 23 - Registros de recursos minerais na área de estudo.	43
Figura 24 - Quantidade e tipos de registros dos recursos minerais na área de estudo.....	43
Figura 25 - Localização dos registros de recursos minerais sobre base geológica simplificada.....	47
Figura 26 - Produção total anual de carvão nos estados (em toneladas). ..	47
Figura 27 - Evolução da produção total anual de carvão (em toneladas). ..	47
Figura 28 - Coleta de amostras de sedimentos de corrente.	52
Figura 29 - Material plástico utilizado na coleta de amostras de sedimentos de corrente. Ponto MF-S-011, Rio Manoel Alves.....	52
Figura 30 - Dragagem de inox para coleta de sedimento. Ponto EV-S-011, Canal Urussanga.....	52
Figura 31 - Sedimento de fundo coletado com dragagem. Ponto EV-S-011, Canal Urussanga.	52
Figura 32 - Medição de qualidade da água <i>in situ</i>	53
Figura 33 - Medidor de vazão acoplado a haste do micromolinete.....	53
Figura 34 - Medição de vazão à vau.	53
Figura 35 - Medidores de qualidade da água e prancha de medição de vazão. Ponto EV-S-011, Canal Urussanga.	54
Figura 36 - Medição de vazão por ADCP. Ponto EV-S-011, Canal Urussanga.....	54
Figura 37 - Mapa de localização dos pontos de amostragem de sedimentos de corrente, águas de drenagem, e vazão	55
Figura 38 - Mapa dos pontos de amostragem de solo	55
Figura 39 - Coleta de amostra de solo com auxílio do martelo de aço inox e bandeja plástica.	56
Figura 40 - Detalhe dos horizontes de solo amostrados.	56

Figura 41 - Localização de pontos representativos de montante, geração de DAM e jusante na Bacia Urussanga.....	251
Figura 42 - Cargas dos parâmetros relacionados com a DAM em pontos representativos de montante, geração e jusante, na Bacia de Urussanga (em kg/h).....	251
Figura 43 - Localização de pontos representativos de montante, geração de DAM e jusante na Bacia de Araranguá.	252
Figura 44 - Cargas dos parâmetros relacionados com a DAM em pontos representativos de montante, geração e jusante, na Bacia de Araranguá (em kg/h).....	253
Figura 45 - Localização de pontos representativos de montante, geração de DAM e jusante na Bacia de Tubarão.....	254
Figura 46 - Cargas dos parâmetros relacionados com a DAM em pontos representativos de montante, geração e jusante, na Bacia de Tubarão (em kg/h).	255
Figura 47 - Localização de pontos de cargas selecionados nos rios Mãe Luzia, da Figueira e Manoel Alves, na Bacia Araranguá (em kg/h).	256
Figura 48 - Cargas selecionadas em rios da Bacia de Araranguá em kg/h).	257
Figura 49 - Localização de pontos de cargas selecionados nos rios Braço do Norte, Capivari e Tubarão das Conchas, na Bacia de Tubarão (em kg/h).....	258
Figura 50 - Cargas selecionadas em rios da Bacia de Tubarão (em kg/h), onde: BN - Braço do Norte, CA - Capivari e TU – Tubarão.....	259
Figura 51 - Detalhe da disposição dos pontos na foz dos rios Braço do Norte, Capivari e Tubarão, desde o trecho alto.	259
Figura 52 - Distribuição amostral do Fe em boxplots nas cinco bacias.	268
Figura 53 - Distribuição amostral do Mn em boxplots das cinco bacias.	268
Figura 54 - Distribuição amostral do Cu em boxplots das cinco bacias.	268
Figura 55 - Distribuição amostral do S em boxplots das cinco bacias.....	269
Figura 56 - Distribuição amostral do Pb em boxplots das cinco bacias.....	269
Figura 57 - Autovalores da análise de componentes principais.	269
Figura 58 - Variáveis representadas pelos escores das três componentes principais em 2D.	270

Figura 59 - Variáveis representadas pelos escores das três componentes principais em 3D.	270
Figura 60 - Espacialização das componentes principais PC1, PC2 e PC3.....	271
Figura 61 - Sugestão de pontos de amostragem de sedimentos em rios e lagoas próximas ao litoral.....	281

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características climáticas das regiões hidrográficas.	19
Tabela 2 - Características das bacias hidrográficas.	19
Tabela 3 - Características do relevo nas regiões hidrográficas	20
Tabela 4 - Área percentual dos tipos de vegetação na Mesorregião Sul Catarinense	21
Tabela 5 - Área percentual dos usos do solo na Mesorregião Sul Catarinense	25
Tabela 6 - Classes de cobertura e uso da terra na Mesorregião Sul Catarinense	26
Tabela 7 - Distribuição dos municípios por microrregião econômica e população estimada em julho de 2021.	28
Tabela 8 - Listagem de municípios por faixa de atendimento do abastecimento de água (%).	32
Tabela 9 - Listagem de municípios por faixa de atendimento de coleta de esgoto (%).	33
Tabela 10 - Serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, resíduos sólidos e drenagem urbana municipais.	34
Tabela 11 - Registros de recursos minerais cadastrados na Mesorregião Sul Catarinense..	44
Tabela 12 - Resumo das metodologias adotadas em águas..	56
Tabela 13 - Intervalos de classe em função da proporção de amostras detectadas.	58
Tabela 14 - Valores de referência para solos e sedimentos de fundo.	59
Tabela 15 - Valores de referência para águas de consumo humano.	60
Tabela 16 - Abundância química média na crosta terrestre (Clarke).	61

Tabela 17 - Teores médios mundiais dos elementos na crosta e nos diferentes tipos de rochas, solos e águas fluviais.	62
Tabela 18 - Parâmetros estatísticos para sedimentos de corrente.	65
Tabela 19 - Parâmetros estatísticos para águas de drenagem.	67
Tabela 20 - Parâmetros estatísticos para águas de drenagem.	69
Tabela 21 - Parâmetros estatísticos para solos superficiais (Top).	71
Tabela 22 - Parâmetros estatísticos para solos subsuperficiais (Sub).	73
Tabela 23 - Incrementos dos teores máximos acima da referência ambiental.	245
Tabela 24 - Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Tubarão.	247
Tabela 25 - Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Araranguá.	248
Tabela 26 - Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Urussanga.	248
Tabela 27 - Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Duna.	248
Tabela 28 - Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Mampituba.	248
Tabela 29 - Aspectos relacionados com a DAM nos rios mais impactados pela mineração de carvão em cada bacia hidrográfica.	249
Tabela 30 - Características e cargas de parâmetros relacionados com a DAM em pontos próximos à foz dos rios principais das bacias de Araranguá, Tubarão e Urussanga (em kg/h).	260
Tabela 31 - Medianas elementares de sedimentos do conjunto completo, das regiões hidrográficas extremo-sul e sul de Santa Catarina e da Bacia de Urussanga.	261
Tabela 32 - Medianas elementares de sedimentos do conjunto completo e das bacias hidrográficas de Urussanga, Araranguá, Mampituba, Tubarão e Duna.	263
Tabela 33 - Medianas elementares de sedimentos dos conjuntos completo, dentro e fora da área de influência da região carbonífera (RC), bem como dentro e fora da RC nas bacias Araranguá e Tubarão.	264

Tabela 34 - Incremento acima da mediana referente ao limite ambiental em sedimentos.	267
Tabela 35 - Autovalores da análise de componentes principais.	269
Tabela 36 - Proporção das variáveis explicadas pelas componentes e pontuações das componentes principais PC1, PC2 e PC3.	270
Tabela 37 - Incrementos acima da referência ambiental nos valores máximos do conjunto completo de sedimentos de corrente e de águas de drenagem.	272
Tabela 38 - Resumo das violações aos limites ambientais em sedimentos.	273
Tabela 39 - Elementos com teores máximos e medianos com acréscimos acima das referências ambientais em solos superficiais (Top) e subsuperficiais (Sub).	275
Tabela 40 - Locais e elementos identificados acima das referências ambientais em solos.	277
Tabela 41 - Síntese das conclusões nos diferentes meios para o conjunto completo.	279

APRESENTAÇÃO

O Atlas Geoquímico da Mesorregião Sul Catarinense inclui as regiões hidrográficas sul e extremo sul de Santa Catarina, composto por uma coleção de 141 mapas geoquímicos de 53 elementos químicos para os meios Solo e Sedimento de Fundo dos rios, além de 27 cátions, 2 ânions, 4 parâmetros físico-químicos e mapas de cargas elementares para o meio Água de Superfície. É um produto do Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade executado pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB (CPRM). A área de 10.827 km² cobre totalmente a Região Carbonífera de Santa Catarina (RCSC), abrangendo as bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão, incluindo os 2.750 km² afetados pela atividade de mineração do carvão, existente na região desde o século XIX. Esses mapas podem ser usados como instrumentos de planejamento territorial, desenvolvimento, projetos e ações sustentáveis do meio físico, favorecendo uma gestão ambiental, social e econômica mais equilibrada.

Para a execução do projeto, foram utilizadas ferramentas de pesquisa denominadas de “baixa densidade” ou “regionais”, que visam delinear os padrões de distribuição dos elementos químicos em grandes áreas. A metodologia de amostragem, armazenamento das amostras e análises químicas seguem os padrões geoquímicos estabelecidos pelo projeto IGCP-259, da UNESCO-IUGS, e pelo *Working Group on Global Geochemical Baseline*, do IUGS-IAGC.

Os trabalhos foram feitos como suporte ao Projeto de Recuperação Ambiental das Áreas Degradadas pela Mineração de Carvão, que vem sendo realizado pelo SGB-CPRM desde 2007. A metodologia original foi ligeiramente modificada para determinar as origens e os efeitos da Drenagem Ácida de mina (DAM), tal como a inserção da medição *in situ* da vazão para o cálculo da carga de cada elemento químico e a determinação dos valores medianos regionais e locais em sedimentos, separando as áreas isentas daquelas afetadas pela mineração de carvão. Para tanto, foram coletadas ao todo 74 amostras de sedimento de fundo, 74 amostras de água de superfície, 35 amostras de solo superficial e 35 amostras de solo subsuperficial.

O Projeto Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade tem como objetivo principal disponibilizar os dados e informações para pesquisa em diversas áreas da ciência: prospecção mineral, agricultura, meio ambiente e saúde pública. Os produtos finais são mapas geoquímicos em formato de atlas, bem como a disponibilização das informações no banco de dados institucional GeoSGB, situado na página do SGB-CPRM na internet.

Alice Silva de Castilho
Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

■ ■ ■ ATLAS GEOQUÍMICO DA
MESORREGIÃO SUL DO ESTADO
DE SANTA CATARINA

ATLAS GEOQUÍMICO DA MESORREGIÃO SUL DO ESTADO DE SANTA CATARINA

INTRODUÇÃO

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) executa, desde 2003, o Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade no Brasil, inicialmente denominado Programa de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica (PGAGEM), com o objetivo de avaliar, em todo o território nacional, as composições químicas dos sedimentos de corrente, solos, águas de superfície e de abastecimento público, considerando a natureza do substrato rochoso e as alterações decorrentes dos usos e da ocupação do solo. O projeto visa disponibilizar a multusuários dados sobre a composição dos diferentes materiais que compõem o substrato geoquímico e que afetam a fertilidade dos solos para a agricultura ou podem ser fontes de contaminação - natural ou antropogênica - de elementos químicos nocivos à saúde humana, animal e ambiental, fornecendo indícios à pesquisa de novos depósitos minerais, entre outras finalidades.

Os estudos de campo já foram concluídos em vários estados brasileiros, tais como: Roraima, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Fernando de Noronha, Alagoas, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e São Paulo, sendo que os sete primeiros já possuem atlas publicados. Estão em desenvolvimento os trabalhos nos estados do Pará, Maranhão, Rondônia, Santa Catarina, Goiás, Bahia e Sergipe. Diversas bacias hidrográficas, com diferentes problemáticas, tiveram seus atlas concluídos, tais como as bacias dos rios das Velhas (2010), Doce (2016) e São Francisco, em Minas Gerais (2018), Bacia do rio Subaé, na Bahia (2015), Bacia do rio Paranaíba, em Goiás (2018) ou, ainda, em fase de conclusão, como o da Bacia do rio Acará-Moju, no Pará.

De 2015 em diante, trabalhos específicos foram efetuados nos rompimentos das barragens de Fundão em Mariana e B-1 em Brumadinho, e como apoio aos levantamentos da Geodiversidade do Distrito Federal, da Região Metropolitana de Recife, da Ilha de São Luís, da Bacia do Rio Munin, no Maranhão, e do Baixio da Boa Vista, na Bahia.

Este estudo inicia o recobrimento geoquímico regional do estado de Santa Catarina pela mesorregião geográfica Sul Catarinense, de acordo com os preceitos utilizados

nos Levantamentos Geoquímicos de Baixa Densidade que vem sendo realizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em todo o território nacional, com o intuito de colaborar para o entendimento geoquímico da Região Carbonífera de Santa Catarina (RCSC).

A mineração de carvão na região remonta a 1885 e, desde então, tem sido responsável por sérios danos ao meio ambiente, em especial aos recursos hídricos (FERNANDES, 1999). Até a década de 1980, a atividade extrativa ocorria sem nenhum controle ou preocupação ambiental.

Na década de 1990, a região possuía 5.500 ha (55 km²) de áreas degradadas, sendo 2.770 ha minerados a céu aberto e 2.730 ha de depósitos de rejeitos (JICA, 1998). As áreas de maior impacto ambiental incluem antigas minas de carvão abandonadas, cavas expostas pela exploração mineral a céu aberto e lagoas ácidas de deposição de rejeitos. Existem cadastradas 768 bocas de minas abandonadas na região, sendo 359 classificadas como fechadas e outras 392 como abertas. Apenas 17 constam como recuperadas e poucas se encontram em processo de recuperação ambiental. Além da atividade mineira, há interface com distintas fontes de poluição: suinocultura, agricultura, saneamento básico, indústria etc.

Em áreas de mineração de carvão, o maior desafio é controlar a geração de drenagem ácida de mina (DAM), provocada pela oxidação da pirita. A reação produz sulfato de ferro solúvel e ácido sulfúrico, que resultam em acidificação do meio aquático, produção de sólidos alaranjados e liberação de metais pesados tóxicos. Nesta situação, as águas são corrosivas e a toxicidade do meio degrada o ecossistema fluvial, podendo até torná-lo inviável para muitas formas de vida aquática.

No ano 2000, uma sentença judicial condenou a União, empresas carboníferas e o estado de Santa Catarina a recuperar algumas das áreas impactadas, dando início ao Projeto de Recuperação Ambiental das Áreas Degradadas pela Mineração de Carvão. Nos últimos 20 anos, diversas técnicas de recuperação ambiental têm sido empregadas para recuperar algumas das áreas degradadas, e a sentença judicial determinou o monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área impactada, o que vem sendo realizado desde 2007 pelo SGB-CPRM.

Com o objetivo de conhecer as características naturais da região, sem o impacto da atividade mineira, este estudo enfocou a região do entorno da RCSC, incluindo desde as cabeceiras até a foz das regiões hidrográficas

onde a mesma encontra-se inserida, no que se refere à geoquímica de águas superficiais, sedimentos de corrente e aos teores dos elementos químicos em solos da região.

LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Localização

A Mesorregião Sul Catarinense inclui as regiões hidrográficas sul e extremo sul, que ocupam 10.827 km², localizadas na região sudeste do estado. A Bacia

Carbonífera de Santa Catarina, como é regionalmente conhecida, corresponde à área de ocorrência de carvão neste estado, que perpassa três bacias hidrográficas - Araranguá, Urussanga e Tubarão, motivo pelo qual, neste estudo, acha-se mais conveniente denominá-la de Região Carbonífera de Santa Catarina (RCSC), substituindo o termo bacia por região. Uma estimativa da sua área de influência, levando em consideração apenas as microbacias onde se localizam as bocas de minas, áreas de disposição de rejeitos, pátios de empresas e o curso da drenagem a jusante, resultou em aproximadamente 2.750 km² (FRANZEN *et al.*, 2021) (Figura 1).

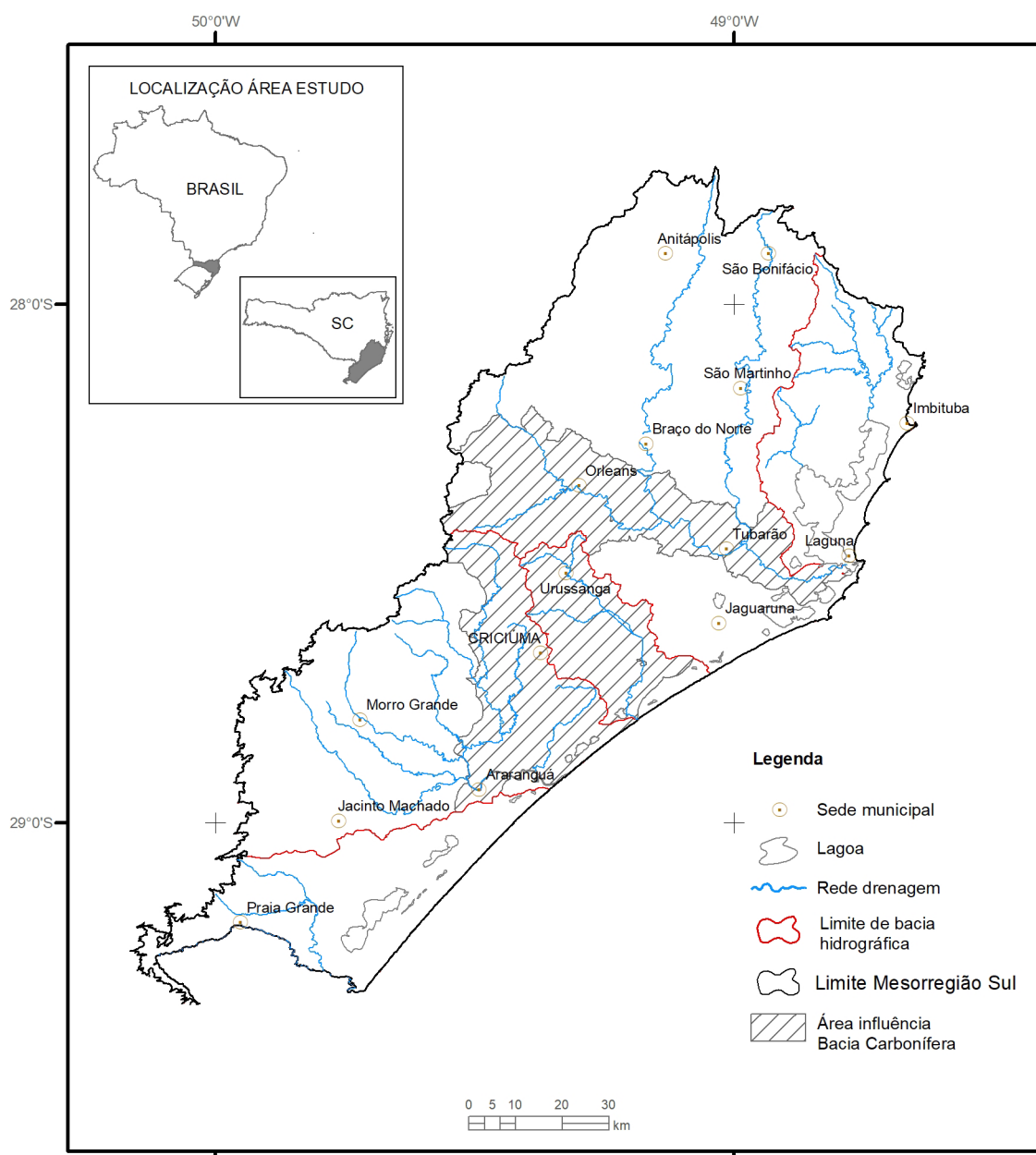


Figura 1 - Localização da Mesorregião Sul Catarinense e da área de influência da Bacia Carbonífera. Fonte: elaborada pela autora.

A Mesorregião Sul Catarinense abrange total ou parcialmente 47 municípios (Figura 2), que somam uma população estimada, em julho de 2021, em 1.042.314 habitantes (IBGE, 2021). A RCSC encontra-se inserida próxima a diversos núcleos urbanos, incluindo sete municípios em seu núcleo metropolitano (Criciúma, Içara, Forquilha, Morro da Fumaça, Cocal do Sul, Nova Veneza e Siderópolis), com uma população estimada em torno de 369.811 habitantes, e outros dezoito em sua área de extensão, considerando todos aqueles

que interceptam sua área de influência (Araranguá, Braço do Norte, Capivari de Baixo, Grão Pará, Gravatal, Jaguaruna, Laguna, Lauro Muller, Maracajá, Meleiro, Orleans, Pedras Grandes, Sangão, São Ludgero, Treviso, Treze de Maio, Tubarão e Urussanga), somam outros 438.112 habitantes. Os 25 municípios totalizam 807.923 habitantes, constituindo um importante centro econômico para o estado. Os outros 22 municípios, localizados fora desse perímetro, possuem os 234.391 habitantes restantes.

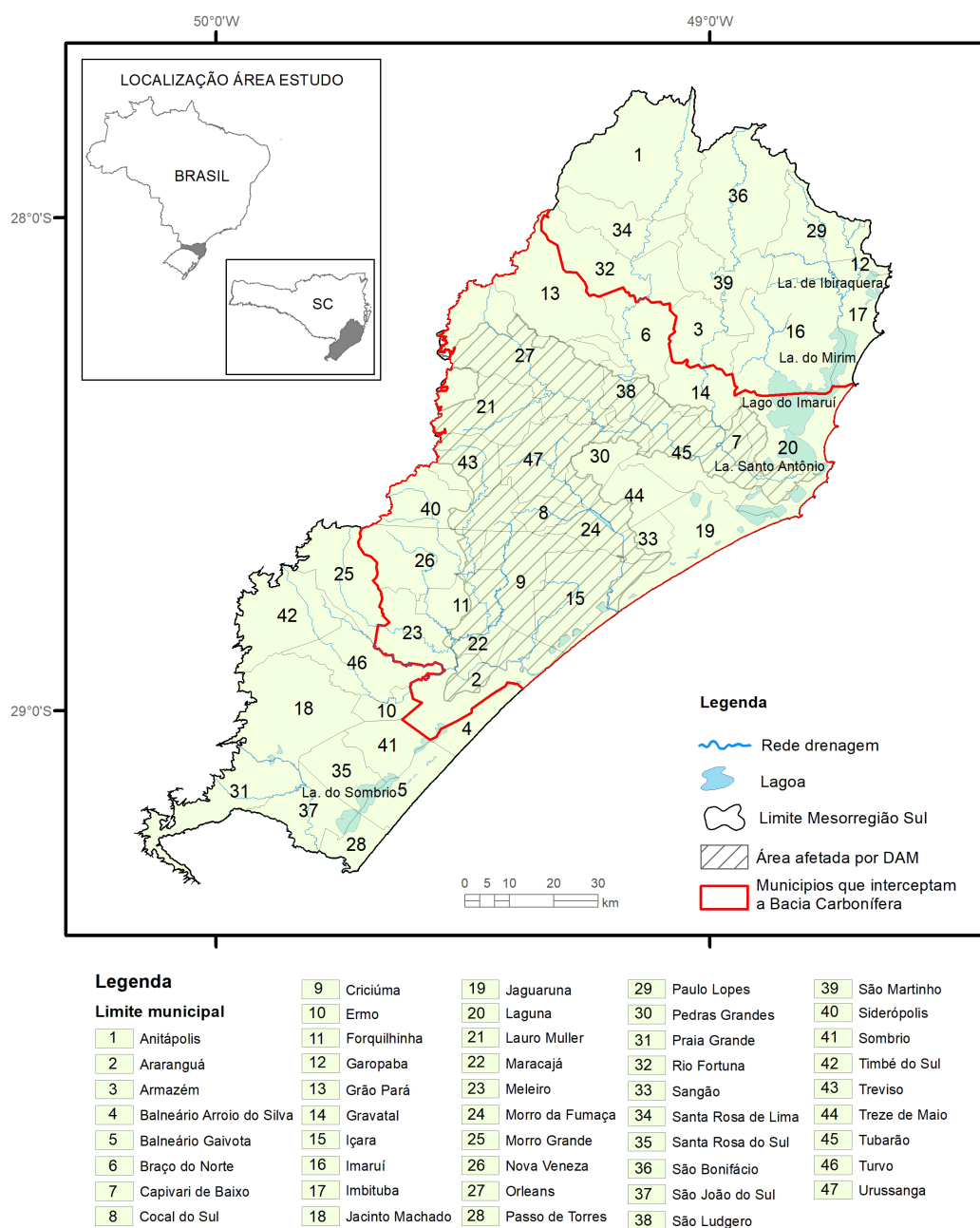


Figura 2 - Divisão municipal da área de estudo. Fonte: elaborada pela autora.

Clima

Segundo o Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina (PANDOLFO *et al.*, 2002), pela classificação de Köppen, a região enquadra-se no clima mesotérmico úmido, sem estação seca distinta e com verão quente (Cfa). As temperaturas médias mais elevadas são registradas em dezembro, janeiro e fevereiro (média de 23°C), enquanto que as temperaturas mais baixas são verificadas nos meses de junho, julho e agosto (média em julho 14°C). A temperatura média anual é de 19°C, e a diferença de temperatura média entre inverno e verão fica em torno de 10°C.

Hidrografia

A área em questão envolve duas regiões hidrográficas, sul e extremo sul, que pertencem à Vertente Atlântica (Figura 3), e abrange os recursos

subterrâneos dos sistemas aquíferos Rio Bonito, leques aluviais e fluviolacustres.

As principais bacias hidrográficas que compõem a Região Hidrográfica (RH) Sul são as dos rios Tubarão e D'Una, além do complexo lagunar das lagoas do Imaruá (83,8 km²) e Mirim (62 km²). A RH Extremo Sul Catarinense é formada pelas bacias dos rios Urussanga, Araranguá e afluentes da margem esquerda do Rio Mampituba, esta última situada na divisa entre os estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul.

Esses rios apresentam um perfil longitudinal bastante acidentado no curso superior, onde a topografia é muito movimentada e, no curso inferior, cortam planícies aluviais onde podem formar meandros, seus perfis longitudinais assinalam baixas declividades, se caracterizando como rios de planície (Tabela 1).

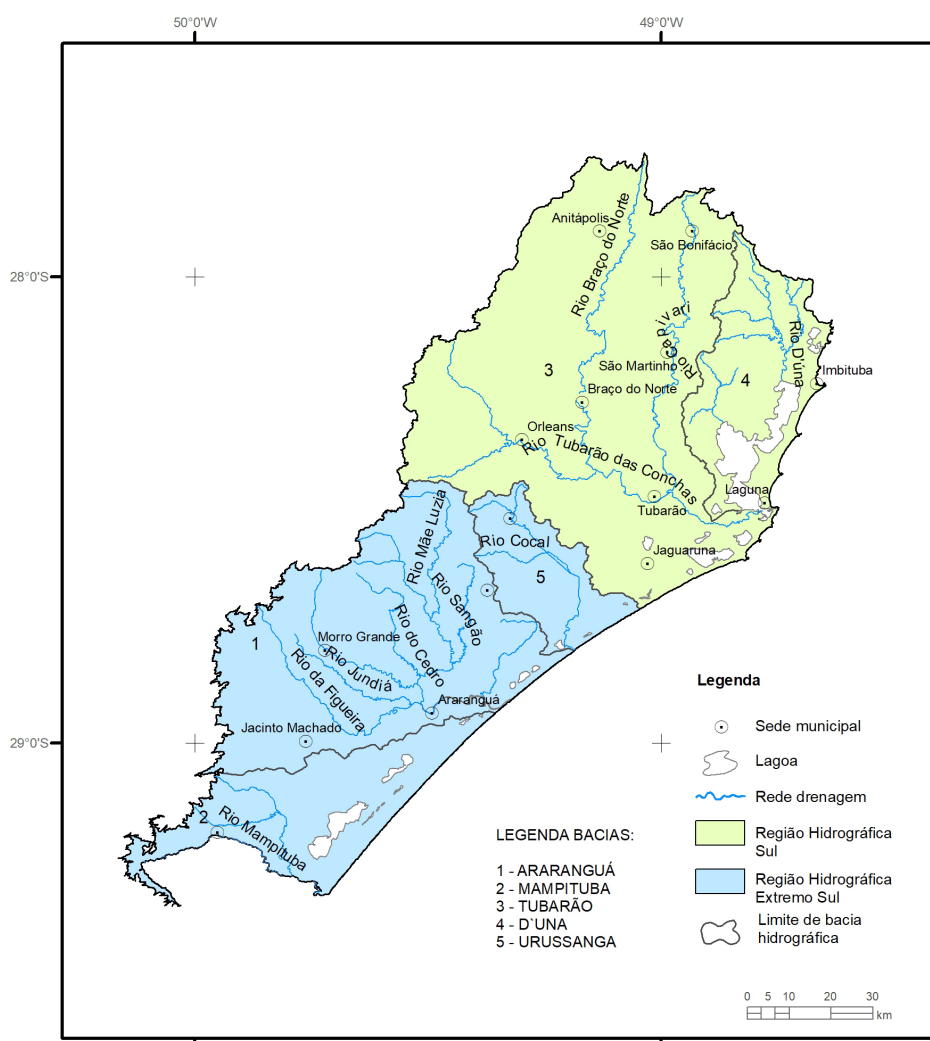


Figura 3 - Regiões e bacias hidrográficas da Mesorregião Sul Catarinense. Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 1

Características climáticas das regiões hidrográficas.

Região Hidrográfica	Bacia Hidrográfica	Varição temperatura média regional (°C)	Varição umidade relativa média regional (%)	Varição precipitação média regional (mm)	Precipitação Total Anual (mm)
SUL CATARINENSE	Tubarão	18,72 - 20,82	81,33 - 85,15	1193 - 1535,9	1600
	D'Una				1450
EXTREMO SUL CATARINENSE	Araranguá	18,35 - 19,43	79,0 - 86,1	855 - 1636,8	1350
	Urussanga				1450
	Mampituba				1400

Fonte: SANTA CATARINA (2018).

O Rio Tubarão é o mais importante da RH Sul, nasce na encosta da Serra Geral, tendo como principais formadores os rios Rocinha e Bonito. A seguir, recebe pela margem esquerda os rios Laranjeiras, Braço do Norte e Capivari; e os rios Palmeiras e das Pedras Grandes/Azambuja pela margem direita. Após percorrer cerca de 120 km, o Rio Tubarão desemboca na Lagoa de Santo Antônio dos Anjos (39 km²), no município de Laguna (SANTA CATARINA, 2018).

A Bacia do Rio Tubarão é uma das mais comprometidas do estado de Santa Catarina, principalmente quando é analisado o conjunto da carga poluidora gerada pela lavra, beneficiamento, transporte e estocagem do rejeito da mineração de carvão, pelas unidades produtoras de coque, pela usina termoeletrica, pelas cerâmicas, pelas fecularias e pelo setor agroindustrial (SANTA CATARINA, 2018).

O Rio D'Una (ou Duna) tem suas nascentes na região do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, município de Paulo Lopes. A área preservada, que drena os formadores da sua margem direita, mantém boas condições de qualidade das águas da bacia, nesse trecho. Ao alcançar a planície, o Rio Duna passa pelo município de Imbituba, região de cultivo de arroz irrigado, que se estende até as imediações de sua foz no sistema lagunar. Também fazem parte dessa região, drenagens independentes

que deságuam no sistema lagunar (SANTA CATARINA, 2018). A Tabela 2 apresenta as características principais das bacias hidrográficas citadas.

O Rio Urussanga conforma a menor bacia da RH Extremo Sul Catarinense e tem como seus principais formadores os rios Carvão e Cocal, abaixo do qual se apresenta parcialmente canalizado.

Cerca de 15 cursos d'água compõem a Bacia do Rio Araranguá, entre os quais destacam-se os rios Mãe Luzia, Amola Faca, dos Porcos, Jundiá, Turvo e São Bento. O sistema lagunar de Araranguá é composto por uma série de lagoas, com destaque para Caverá, Esteves, Faxinal, Mãe Luzia, Serra, Bicho e Rincão.

As águas das bacias dos rios Araranguá e Urussanga possuem elevados níveis de comprometimento da qualidade, causados por agrotóxicos, esgotos urbanos e industriais, criação de suínos e, principalmente, por resíduos da extração de carvão. Ainda, a Bacia do Rio Araranguá tem como agravante o fato dessa área drenar extensas zonas de cultivo de arroz irrigado (SANTA CATARINA, 2018).

Frente ao quadro regional, a Bacia do Rio Mampituba encontra-se em melhores condições, apresentando apenas alguma poluição por agrotóxicos.

TABELA 2

Características das bacias hidrográficas.

	REGIÃO HIDROGRÁFICA	BACIA HIDROGRÁFICA	ÁREA (KM ²)	COMPRIMENTO DRENAGEM (KM)	DENSIDADE DRENAGEM (KM/KM ²)
I	SUL CATARINENSE	Tubarão	4685	13167	2,81
		D'Una	492	1414	2,87
II	EXTREMO SUL CATARINENSE	Araranguá	3007	5323	1,77
		Urussanga	620	1100	1,77
		Mampituba	1253	1455	2,27

Fonte: SANTA CATARINA (2018).

Relevo

As porções mais altas do relevo são as escarpas da Serra Geral, que fazem borda abrupta no Planalto Meridional, ao sul de Santa Catarina e limite com o Rio Grande do Sul. A Região Extremo Sul Catarinense é margeada por uma larga extensão da planície costeira. Em contraste, a Região Sul Catarinense (norte da área de estudo) possui um relevo suave ondulado,

intermediando o forte ondulado das cabeceiras e o plano da planície costeira (Tabela 3). Na medida em que diminuem as cotas do terreno, afloram as porções menos erodidas dos terrenos paleozoicos.

As cotas topográficas variam entre 50 e 500 metros. Na parte norte da área, os terrenos são mais elevados e mais encaixados. Na parte sul, os vales são mais abertos e o relevo mais suave (Figura 4).

TABELA 3

Características do relevo nas regiões hidrográficas.

REGIÃO HIDROGRÁFICA	BACIA HIDROGRÁFICA	RELEVO PREDOMINANTE
SUL CATARINENSE	Tubarão D'Una	Forte ondulado e montanhoso. Plano e suave ondulado (junto à planície costeira).
EXTREMO SUL CATARINENSE	Araranguá Urussanga Mampituba	Forte ondulado e montanhoso. Plano (planície costeira).

Fonte: SANTA CATARINA (2018).

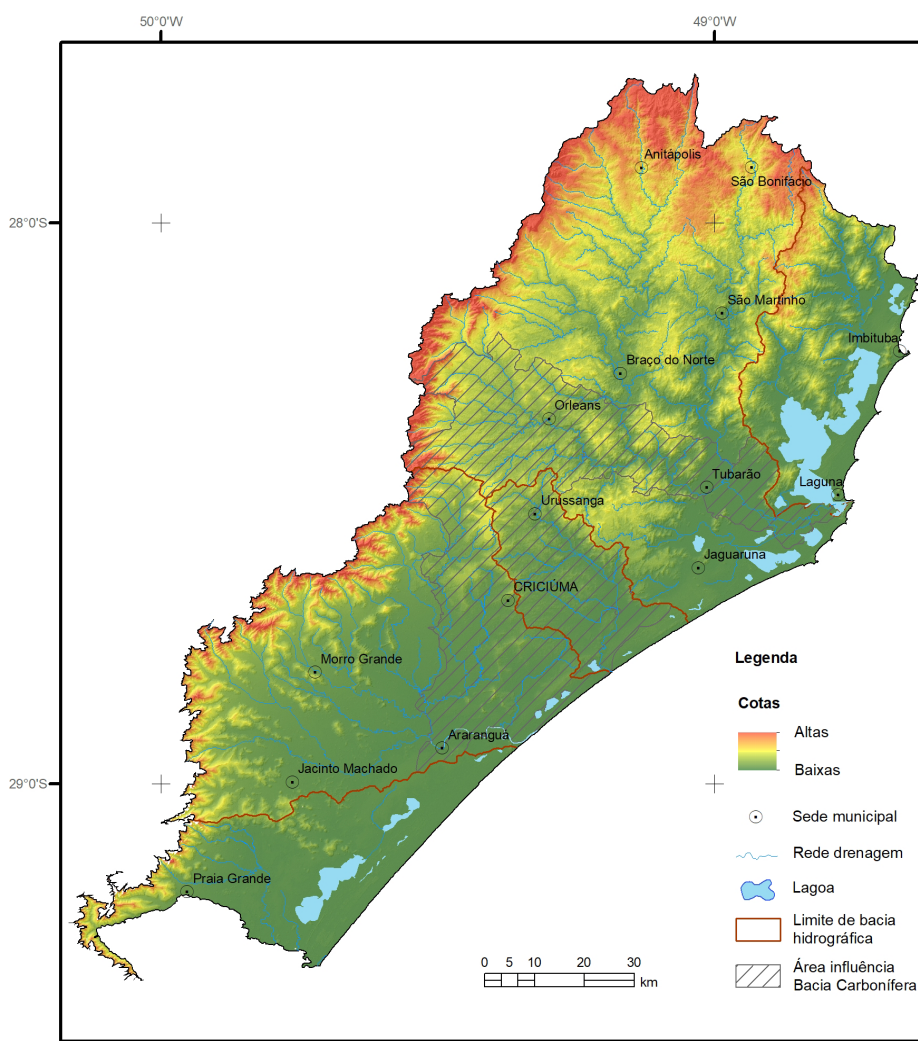


Figura 4 - Relevo da Mesorregião Sul Catarinense. Fonte: mosaico SRTM (grade 30 m), modificado de U.S. Geological Survey (2004).

Segundo Fernandes (1999), intrusões de diabásio na Formação Irati, pertencentes à Formação Serra Geral, sustentam a topografia nas porções médias da área, dando origem a uma feição geomorfológica de caráter local, denominada de “Montanhão”. Nas áreas onde afloram as rochas da Formação Rio Bonito, os vales são mais largos e as encostas dos morros são mais suaves. Nos locais de ocorrência das rochas do Grupo Itararé e Passa Dois, são observados degraus mais íngremes.

Vegetação

Baseados em IBGE (2019), as formações florestais que originalmente compunham a Região Sul Catarinense eram as florestas Ombrófila Densa e Ombrófila Mista (Mata de Araucárias), ocupando desde as partes altas até as baixas do relevo.

As florestas ombrófilas são aquelas em que não falta umidade durante o ano, com temperaturas médias elevadas (25°C) e alta precipitação, bem distribuída durante o ano. A área de estudo possui remanescentes de floresta ombrófila densa, em seus subtipos altomontana (0,15%), montana (3,95%), submontana (1,85%) e

de terras baixas (0,14%). Das florestas ombrófilas mistas, restaram os tipos altomontana (0,65%) e montana (0,39%), conforme detalhado na Tabela 4.

Esses remanescentes de florestas ombrófilas somados perfazem apenas 7,12% da área de estudo, localizados preponderantemente nas cabeceiras das bacias de Tubarão e Duna, na região norte da área de estudo.

Os tipos de vegetação e ocupação expostos na Figura 5 consistem na reconstituição da situação da vegetação produzida no Projeto RADAMBRASIL em 1970, baseada em cartas-imagens de radar na escala 1:250.000 e apresentadas em escala 1:1.000.000, atualizada a partir de 2004 e obtida em IBGE (2019).

Atualmente, a ocupação do território Sul Catarinense está assim constituída: Floresta Ombrófila Densa (6,1%), Floresta Ombrófila Mista (Mata de Araucárias) (1,4%), Estepe Gramíneo-Lenhosa (0,36%), Áreas de Formação Pioneira e Influência Marinha, as Restingas (0,98%), Áreas Sem Vegetação, com Dunas e Corpos de Água (3,3%) e as Áreas Antrópicas com cobertura modificada pelo homem (88,2%), conforme exposto na Tabela 4.

TABELA 4

Área percentual dos tipos de vegetação na Mesorregião Sul Catarinense.

TIPOS DE VEGETAÇÃO	ÁREA (KM²)	ÁREA (%)	ÁREA (%)
Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	14,8	0,14	6,08
Floresta Ombrófila Densa Alto Montana	16,2	0,15	
Floresta Ombrófila Densa Montana	427	3,95	
Floresta Ombrófila Densa Sub-Montana	199,7	1,85	
Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana	70,4	0,65	1,04
Floresta Ombrófila Mista Montana	41,8	0,39	
Estepe Gramíneo-Lenhosa (Campestre) Mata Galeria	33,1	0,31	0,36
Estepe Gramíneo-Lenhosa (Campestre) Sem Galeria	6,3	0,06	
Áreas de Formações Pioneiras			
Restinga Arbustiva (Dunas)	1,1	0,01	0,98
Restinga Herbácea (Praia)	105,1	0,97	
Áreas sem Vegetação			
Dunas	41	0,38	3,33
Corpo D'Água	318,9	2,95	
Áreas Antrópicas			
Florestamento	238,1	2,20	88,21
Vegetação Secundária	4001,4	36,98	
Agricultura e Pecuária	5070	46,86	
Influência Urbana	235,6	2,18	
Total	10820,5	100,0	100,0

Fonte: Modificado de IBGE (2019).

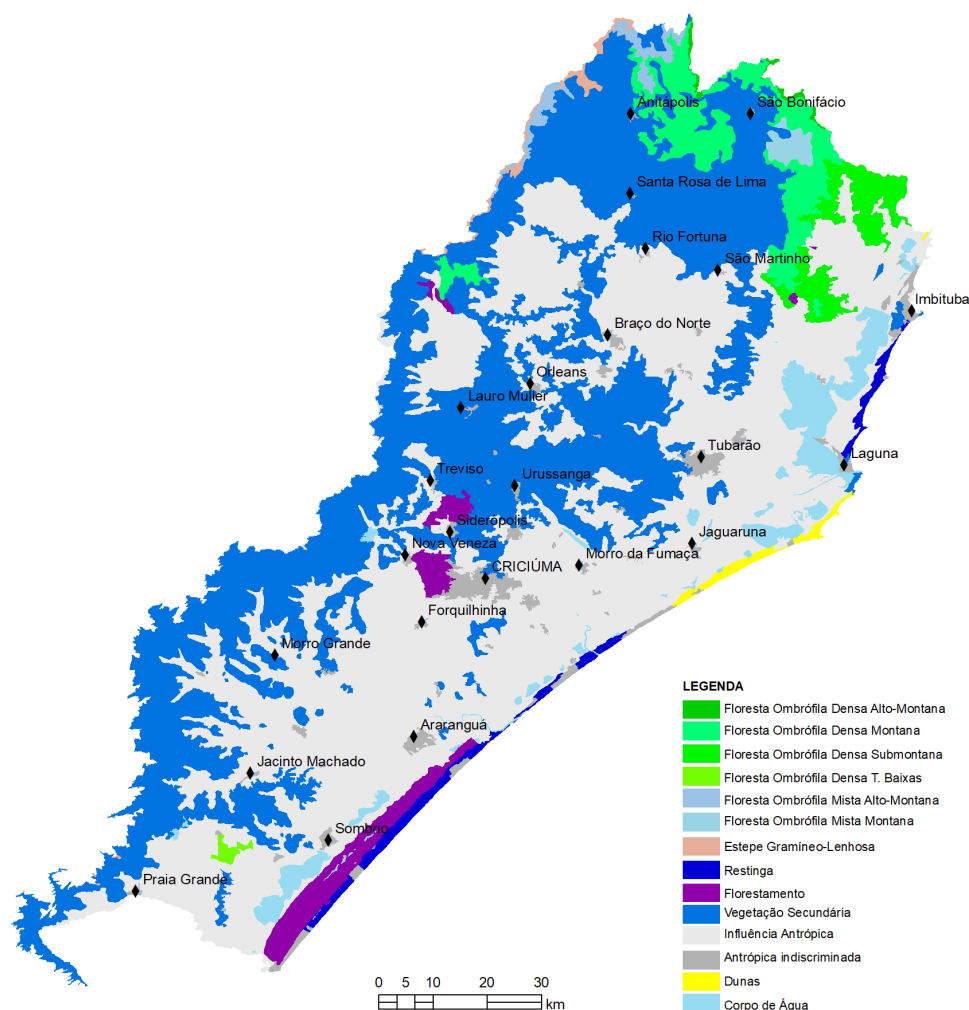


Figura 5 - Vegetação na Mesorregião Sul Catarinense. Fonte: modificado de IBGE (2019).

A Figura 6 apresenta, em perfil longitudinal, a configuração de ocorrência dos diferentes subtipos das florestas ombrófilas densas.

A Figura 7 apresenta, em perfil longitudinal, a configuração de ocorrência dos diferentes subtipos das florestas ombrófilas mistas.

Com pouca expressão na área, pois ocorrem nas partes planas do planalto, observa-se a estepe gramíneo-lenhosa ou campestre, tipo bem representativo dos campos do Sul do Brasil, com e sem galerias.

Na planície litorânea, em terrenos arenosos do litoral, logo após as praias, atrás das dunas, situa-se a restinga, apresentando, com frequência, espaços abertos (campos) onde predominam as gramíneas.

Entre as áreas sem vegetação, encontram-se corpos de água e dunas compostas somente por areia; e quando apresentam alguma vegetação, são identificadas como Formação Pioneira.

As áreas antrópicas somam 88,2% da ocupação do território, distribuídas entre os seguintes tipos: florestamento (2,2%), vegetação secundária (36,98%), agropecuária (46,86%), urbano e indiscriminado (2,18%). As áreas de florestamento são perfeitamente separadas em escalas regional e exploratória, sendo difícil de identificar as espécies plantadas.

A vegetação secundária é aquela que sofreu alguma intervenção humana (mineração, agricultura ou pecuária), descaracterizando a vegetação primária e sua recuperação natural leva muitos anos.

Mapeadas como agricultura e pecuária estão às atividades de agricultura (2,13%), culturas cíclicas (17,81%), agropecuária (5,96%) e pastagem (20,96%).

Entre as áreas de influência urbana, têm-se áreas urbanizadas (2,07%) e antrópica indiscriminada (0,11%), que são aquelas degradadas pela mineração ou onde não se pode definir o tipo de antropismo existente.

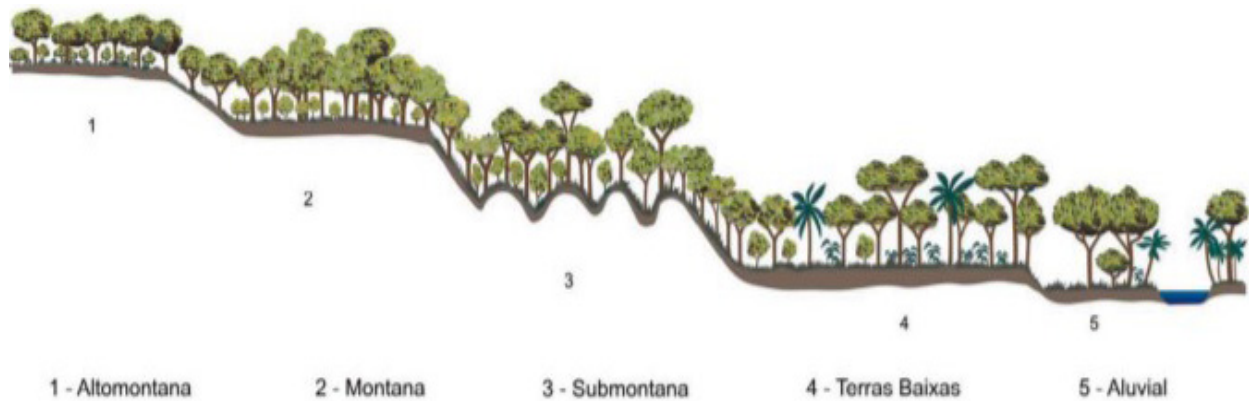


Figura 6 - Perfil esquemático da floresta ombrófila densa. Fonte: Veloso, Rangel Filho; Lima (1991).

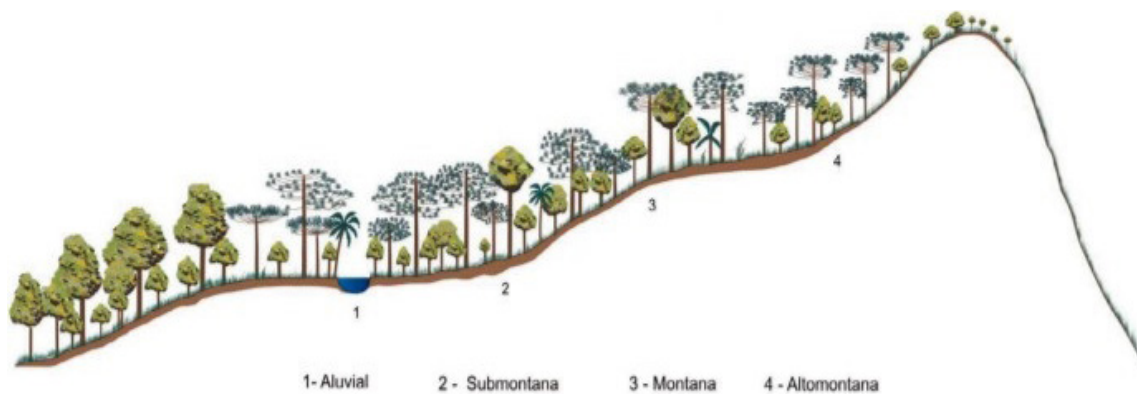


Figura 7 - Perfil esquemático da floresta ombrófila mista (Mata-de-Araucária). Fonte: Veloso, Rangel Filho; Lima (1991).

Solos

A pedologia foi obtida em formato vetorial em IBGE (2018) e corresponde a um recorte do mapeamento exploratório de solos do Projeto RADAMBRASIL, que utilizou bases cartográficas e imagens de radar na escala 1:250.000 para as interpretações e delimitação das unidades, ao final generalizadas e reduzidas fotograficamente para a escala 1:1.000.000. As classes de solos reconhecidas correspondem a subdivisões de ordem e subordem, acrescidas de características mais comumente utilizadas, como horizontes diagnósticos subsuperficial e superficial, cor e saturação por bases (IBGE, 2015). Um recorte para a área de estudo é apresentado na Figura 8.

Os argissolos vermelho-amarelo possuem um horizonte B textural, mais argiloso em comparação aos horizontes superficiais, são geralmente profundos e bem drenados e podem ser originados de diversos tipos de rochas, como basaltos, granitos, arenitos e outros sedimentos. Predomina na área o PVAd, que

apresenta limitações químicas ao uso agrícola devido à baixa fertilidade natural.

Os Cambissolos possuem um horizonte B incipiente, pois são solos em processo inicial de formação, podendo ser de raso a profundo, de bem a imperfeitamente drenado a depender de sua posição na paisagem. Três tipos predominantes ocorrem na área, o Húmico Alumínico (CHA), com horizonte superficial húmico e alumínico, sendo extremamente ácido, com aptidão restrita para culturas de verão e melhores opções para fruticultura de clima temperado, exigindo práticas conservacionistas intensivas e elevados níveis de corretivos e fertilizantes; o Háptico Tb Distrófico (CXbd), mais pobre em material orgânico e de baixa fertilidade; e o Flúvico Ta Eutrófico (CYve), derivado de sedimentos aluviais.

Os gleissolos possuem um horizonte glei, onde houve redução do ferro, e predominam em ambientes alagadiços. São aptos ao cultivo de arroz irrigado, destacando-se o tipo Háptico Ta Distrófico (GXvd) com argila de alta atividade e alta fertilidade (Ta).

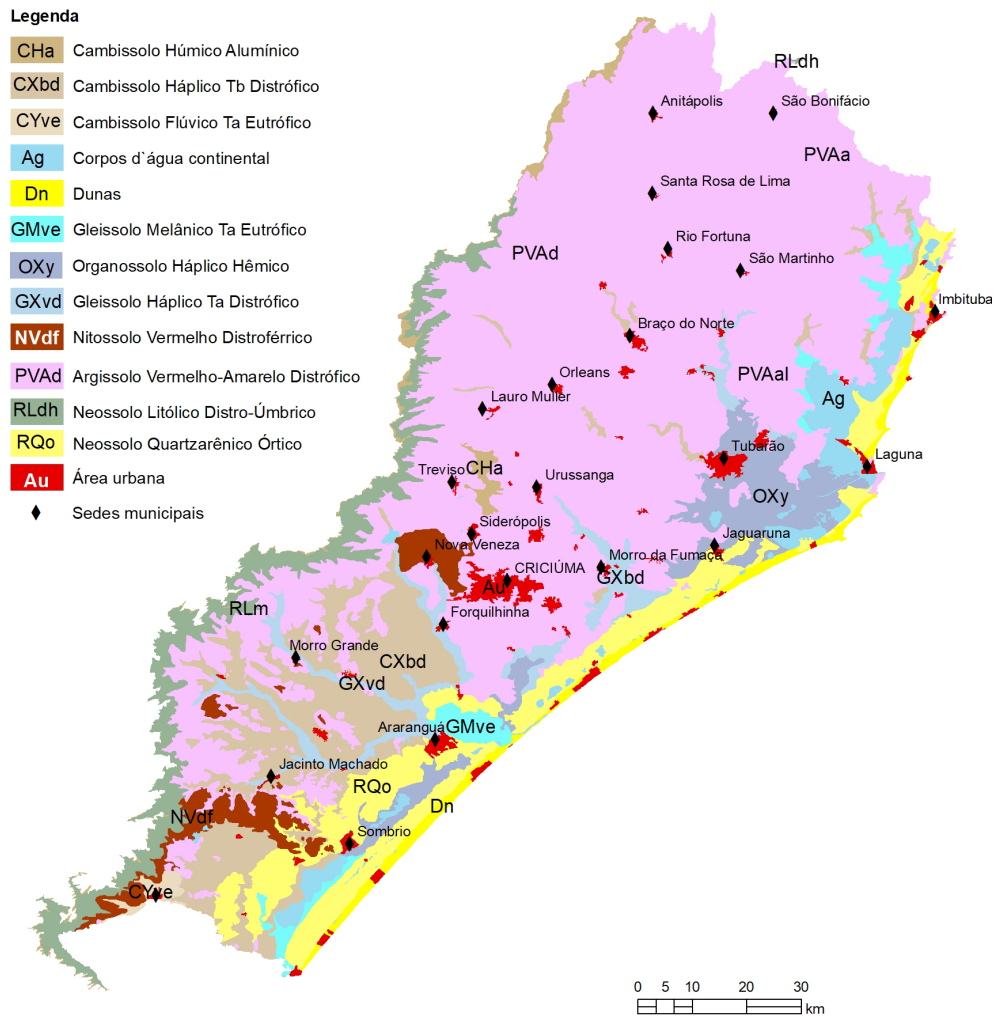


Figura 8 - Solos da Mesorregião Sul Catarinense. Fonte: modificado de IBGE (2018).

Os Neossolos são novos solos em formação, pouco desenvolvidos, podem ser rasos ou profundos e mostram sequência de horizontes variada. Predominam na área os tipos Litólico Distro-Úmbrico (RLdh) e Quartzarênico Órtico (RQo). O primeiro apresenta o horizonte A assentado diretamente sobre a rocha alterada ou horizonte C, sendo geralmente muito rasos. Seu uso deve ser condicionado à declividade: < 15% possível mediante práticas intensivas de conservação; entre 15 – 30% devem ser utilizados com reflorestamento ou fruticultura, e declividades > 30% devem ser mantidos com cobertura vegetal natural, constituindo áreas de preservação permanente. O segundo tipo apresenta o horizonte A assentado diretamente sobre sedimentos muito arenosos, são bem drenados e encontrados na planície costeira. Constituem ambientes muito frágeis, altamente suscetíveis à erosão hídrica e eólica, razão pela qual deve ser manejado com cautela, tal como evitar

pastoreio excessivo e o pisoteio, que afetam a cobertura vegetal e favorecem a erosão eólica.

Os Nitossolos possuem agregados no horizonte B, perfil bem desenvolvido com aumento de argila em profundidade. Em função de suas características físicas (profundos, bem drenados, muito porosos, friáveis, bem estruturados) e condições de relevo, possuem boa aptidão agrícola, desde que corrigida a fertilidade química. O tipo que ocorre na região é o Vermelho Distroférrico (NVdf).

Os Organossolos são solos formados por material orgânico em variado grau de decomposição, acumulado em ambientes muito mal drenados, em depressões e nas proximidades das lagoas, ou planícies de inundação dos rios, tendo geralmente baixa fertilidade. O tipo predominante na área é o Háptico Hêmico (OXY) que possui elevado teor de material orgânico e o uso agrícola não é recomendado, pois,

quando se retira a água, a massa orgânica se contrai, produzindo elevada subsidência que pode alcançar até 50% da profundidade do dreno.

Uso e ocupação do solo

Quanto aos usos do solo, a Tabela 5 apresenta em detalhe a participação em área dos usos antrópicos, obtida a partir das classes de vegetação (IBGE, 2019). Se destacam os usos antrópicos 88,2%, ao passo que as ocupações naturais ocupam apenas 11,8% em área da Mesorregião Sul Catarinense.

Com relação aos usos do solo, o mapa da Figura 9 apresenta dados do Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil (IBGE, 2020a), que espacializa e quantifica a cobertura e uso da terra, a cada dois anos,

em todo o território brasileiro. O produto resulta da interpretação de imagens de satélite Landsat-8 e informações complementares, tendo como bases a cartografia na escala 1:250.000 e o mapa de vegetação. Os dados são apresentados em grade de células de 1 km², e cada célula é associada a uma das classes de cobertura e uso da terra, expostas na Tabela 6.

No levantamento, observam-se mudanças de Área Artificial para outras classes, por exemplo, devido ao abandono de áreas de mineração e regeneração da vegetação, resultando em transição para Mosaico de Ocupações em Área Florestal. Entre 2016 e 2018, de forma geral, prossegue a substituição das áreas de vegetação natural por áreas antrópicas e o avanço das áreas agrícolas sobre áreas de pastagem (IBGE, 2018b).

TABELA 5

Área percentual dos usos do solo na mesorregião Sul Catarinense. Fonte: baseado em IBGE (2019).

USOS DO SOLO	ÁREA (KM²)	ÁREA (%)	ÁREA (%)	ÁREA (%)
Mata Nativa	809,3	7,48	7,48	11,8
Restinga	106,2	0,98	0,98	
Dunas	41	0,38	3,33	
Corpo D'Água	318,9	2,95		
Florestamento	171,1	1,58	2,20	88,2
Florestamento Eucalipto	67	0,62		
Vegetação Secundária	30,1	0,28	36,98	
Vegetação Secundária Sem Palmeira	3971,3	36,70		
Agricultura	230,2	2,13		
Cultura Cíclica	1927,2	17,81	46,86	
Agropecuária	645,1	5,96		
Pastagem	2267,5	20,96		
Antrópico Indiscriminado (mineração)	11,1	0,10	2,18	
Influência Urbana	224,5	2,07		
Total	10820,5	100,0	100,0	100,0

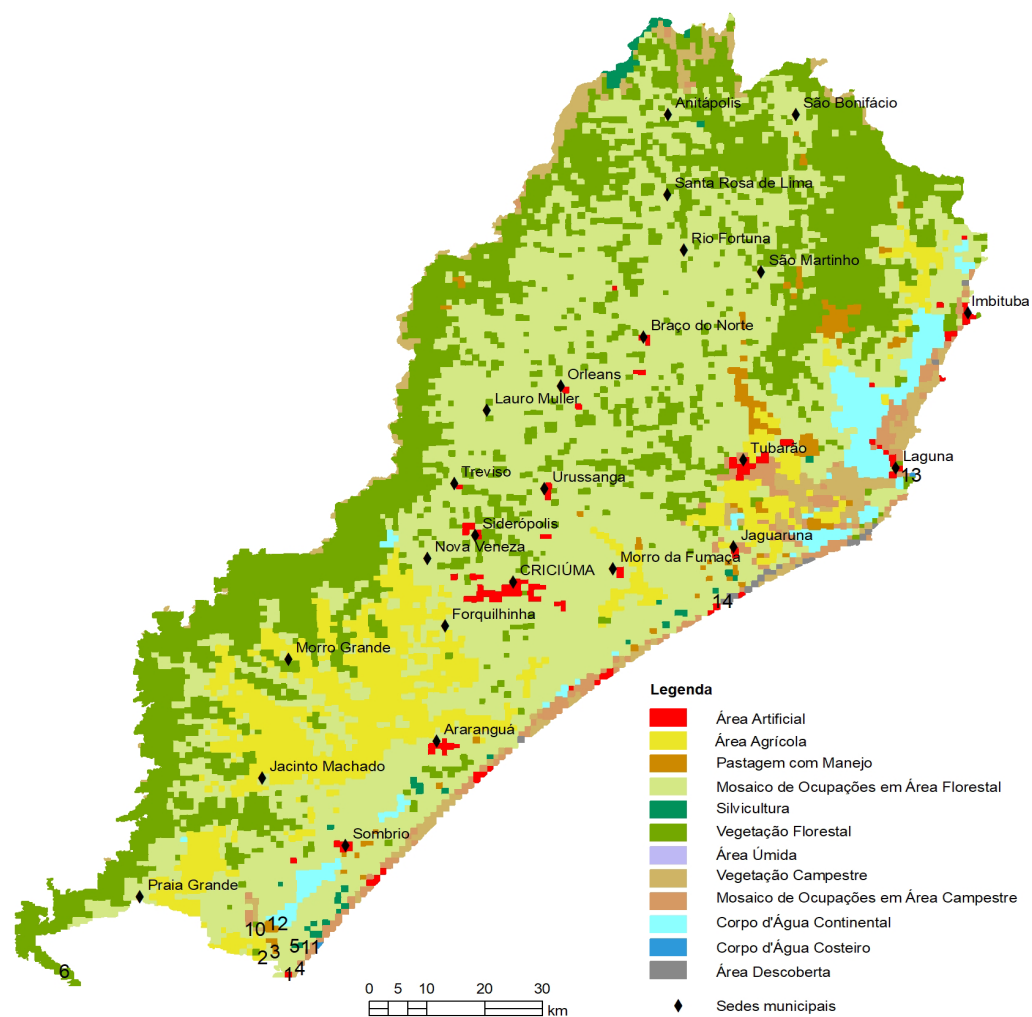


Figura 9 - Usos do solo da Mesorregião Sul Catarinense (em 2018). Fonte: modificado de IBGE (2020a).




TABELA 6

Classes de cobertura e uso da terra na Mesorregião Sul Catarinense. Fonte: IBGE (2020b).

COR	NOME	DESCRIÇÃO
	Área artificial	Áreas urbanizadas (metrópoles, cidades e vilas), áreas industriais, aldeias indígenas e comunidades quilombolas. Também inclui as áreas de mineração.
	Área Agrícola	Áreas cultivadas com plantios temporários e permanentes, utilizadas para a produção de alimentos, fibras, combustíveis e outras matérias-primas. Inclui também os tanques de aquicultura.
	Pastagem com Manejo	Áreas destinadas ao pastoreio, apresentando interferências antrópicas de alta intensidade, que podem incluir o plantio, limpeza da terra, aplicação de herbicidas, adubação, entre outras que descaracterizam a cobertura natural.
	Mosaico de Ocupações em Área Florestal	Ocupação mista, com uso agrícola, pastagem e/ou silvicultura, associada ou não a remanescentes florestais, na qual não é possível uma individualização de seus componentes na escala adotada.
	Silvicultura	Plantios florestais de espécies exóticas ou nativas como monoculturas.
	Vegetação Florestal	Florestas com porte superior a 5 metros de altura, incluindo-se as Florestas Ombrófilas e Mistas, conforme IBGE (2013).
	Área Úmida	Vegetação natural herbácea ou arbustiva, permanente ou periodicamente inundada por água doce ou salobra. Incluem os terrenos de charcos, pântanos, campos úmidos, estuários, entre outros.
	Vegetação Campestre	Formações campestres, caracterizadas por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um estrato gramíneo-lenhoso. Incluem-se nessa categoria as estepes, formações pioneiras e refúgios ecológicos, que podem estar sujeitas a pastoreio e a outras interferências antrópicas de baixa intensidade.

Continuação Tabela 6

Classes de cobertura e uso da terra na Mesorregião Sul Catarinense. Fonte: IBGE (2020b).

COR	NOME	DESCRIÇÃO
	Corpo d'água Continental	Inclui todas as águas interiores, como rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares. Também engloba corpos d'água naturalmente fechados (lagos naturais) e reservatórios artificiais, exceto tanques de aquicultura.
	Corpo d'água Costeiro	Inclui as águas inseridas nas 12 milhas náuticas, conforme Lei nº 8.617, de 4 de janeiro de 1993.
	Área Descoberta	Locais sem vegetação, como os afloramentos rochosos, penhascos e terrenos com processos erosivos, praias, dunas e acúmulo de cascalho ao longo dos rios.

Aspectos socioeconômicos

O processo de colonização da Mesorregião Sul Catarinense teve início com a passagem dos tropeiros que embarcavam em Laguna e, depois, por trajetos interioranos rumo ao planalto, que conduziam o gado do Rio Grande do Sul a São Paulo (LINS; SANTOS, 2017). O núcleo urbano de Laguna existe desde o século XVII. Os portugueses e açorianos, ou seus descendentes, destacaram-se na colonização. A agricultura (cana-de-açúcar e mandioca) e a pesca compunham o binômio central da base econômica.

No século XIX, europeus de diversas origens se estabeleceram como resultado da política de imigração nacional. Os italianos radicaram-se no interior e a imigração germânica foi menos expressiva.

A extração do carvão e atividades vinculadas, incluindo a instalação de infraestrutura para transportar o minério, sobressaiu amplamente desde o início do século XX e dominaram o cenário em diversos sentidos. A região de Criciúma se tornou um importante centro econômico para o estado.

No setor mineral, além do carvão, as maiores reservas brasileiras de fluorita (CaF_2) encontram-se na Mesorregião Sul Catarinense, com os maiores teores (47% a 60%) dentre as reservas brasileiras, e distribuem-se por vários municípios, sendo os mais importantes os de Rio Fortuna, Santa Rosa de Lima, Pedras Grandes e Morro da Fumaça (PEÇANHA, 2018).

A segunda metade do Século XX foi marcada pela diversificação produtiva, destacando-se a cerâmica de revestimento (pisos, azulejos) e os produtos plásticos (para uso doméstico), entre outros setores e segmentos (LINS; SANTOS, 2017), mas o peso das atividades ligadas ao carvão ainda teria importância regional.

A Região Extremo Sul não foi engolfada pela economia do carvão, Araranguá expandiu o setor agrícola nas décadas de 1930 e 1940. A forte ocupação da

população na agricultura e o beneficiamento de produtos oriundos da área rural (produção de fécula, farinha de mandioca, aguardente) são aspectos sugestivos dessa trajetória. Ao final daquela década, atividades agrícolas outorgavam a Turvo a condição de importante distrito, escorada nos cultivos de arroz, banana, milho e feijão.

Somente no final da década de 1950 e início dos anos 1960, essa estrutura amparada quase que tão somente pela agricultura, começou a se alterar. O principal vetor foi o crescimento da produção calçadista em Araranguá e Sombrio, embora a fabricação de móveis, vestuário e a comercialização de máquinas e implementos agrícolas, marcassem igualmente a paisagem.

A produção de fumo do Extremo Sul Catarinense teve maior destaque no município de Araranguá, com produção intensiva, mão de obra normalmente familiar e realizada em poucos hectares. No início com baixa produtividade, teve incentivo da Souza Cruz nos anos 70 e 80 para substituição das lavouras e, a partir de então, tornou-se uma atividade consolidada e de alta produtividade (LINS; SANTOS, 2017).

Nas décadas de 1970 e 1980, a indústria de calçados do Extremo Sul Catarinense, produzindo em grande medida para mercados estrangeiros, se expandiu subordinada ao Vale dos Sinos, no Rio Grande do Sul. Como resultado da tendência de forte crise nessa indústria entre 1985 e 2000, o número de trabalhadores da indústria de calçados em Criciúma, Nova Veneza, Araranguá e Sombrio diminuiu em aproximadamente 88% (GOULARTI FILHO, 2003).

A região, principalmente os municípios de Araranguá e Maracajá, foi envolvida pela vitalidade da indústria do vestuário na segunda metade dos anos 1970. Em Sombrio, a expansão correu mais tarde, a partir do início da década de 1990, em plena crise da indústria de calçados. Cumpriu papel destacado nesse engajamento a construção do Super Center Japonês em

1993, às margens da BR-101, que se tornou referência para o fluxo de comerciantes varejistas em trânsito pela região (LINS; SANTOS, 2017).

Desta forma, o setor econômico foi estabelecido em polos produtivos, resultante do processo de regionalização ao longo da história de ocupação do território. Destaca-se a importância das cidades-polos industriais na dinamização e caracterização do trabalho por região, afetando as cidades vizinhas e fazendo com que o trabalho destas se conecte particularmente com a cidade-polo. Na Mesorregião Sul, os municípios-polos históricos são: Tubarão, Criciúma e Araranguá (NOVAES *et al.*, 2013).

A Tabela 7 apresenta a distribuição dos municípios por microrregião econômica, com a respectiva população estimada em julho 2021 (IBGE, 2021). As Figuras 10, 11 e 12 apresentam a participação dos setores econômicos no PIB das cidades-polos.

Desde o início da colonização, Laguna consolidou-se como um dos três primeiros municípios do estado, e Tubarão destaca-se por seu amplo comércio, com elevada participação dos serviços, que se mantém em todo o período. É considerado o segundo município-polo mais desenvolvido economicamente, porém,

atualmente, percebe-se uma perda de dinamismo e lento crescimento econômico (NOVAES *et al.*, 2013).

Criciúma se fortaleceu como polo nacional nos setores de cerâmica, extrativismo mineral, vestuário e plástico. O setor de cerâmica está consolidado e destaca-se como principal polo no estado, ajudando Santa Catarina a ser o líder nacional na produção de revestimento cerâmico, com grande parte da produção voltada para a exportação (NOVAES *et al.*, 2013).

Em Araranguá, existem indústrias diversificadas, principalmente de pequeno e médio porte, entre as quais se destacam vestuário, calçados e o couro. A agropecuária tem uma participação próxima aos 10%, o que denota, aliado aos produtos agrícolas, a importância do setor primário. Outro ponto que diferencia o polo de Araranguá é o movimento populacional, que cresceu em torno de 12% de 2000 a 2010, enquanto Criciúma e Tubarão tiveram quedas de mais de 50% da população rural (NOVAES *et al.*, 2013).

Quanto aos setores, nota-se um enfraquecimento do setor agrícola, com destaque para Araranguá. Merece destaque o setor secundário que apresenta uma dinâmica econômica bastante diversificada. No lugar do carvão, avança o ramo dos não metálicos e a diversificação das indústrias (NOVAES *et al.*, 2013).

TABELA 7

Distribuição dos municípios por microrregião econômica e população estimada em julho de 2021.

MICRORREGIÃO TUBARÃO		MICRORREGIÃO CRICIÚMA		MICRORREGIÃO ARARANGUÁ	
MUNICÍPIO	POPULAÇÃO ESTIMADA	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO ESTIMADA	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO ESTIMADA
Tubarão	107 143	Criciúma	219 393	Araranguá	69 493
Laguna	46 424	Içara	58 055	Sombrio	31 084
Imbituba	45 711	Forquilha	27 621	Balneário Arroio do Silva	13 782
Braço do Norte	34 294	Urussanga	21 419	Turvo	13 080
Orleans	23 161	Morro da Fumaça	18 095	Balneário Gaivota	11 537
Jaguaruna	20 547	Cocal do Sul	16 956	Jacinto Machado	10 337
São Ludgero	13 886	Nova Veneza	15 515	Passo de Torres	9 269
Sangão	13 128	Lauro Muller	15 380	Santa Rosa do Sul	8 397
Gravatal	11 652	Siderópolis	14 176	Maracajá	7 461
Armazém	8 843	Treviso	4 002	São João do Sul	7 332
Treze de Maio	7 104	Sub-Total	410 612	Praia Grande	7 305
Grão Pará	6 621	-	-	Meleiro	6 989
Rio Fortuna	4 630	-	-	Timbé do Sul	5 338
Pedras Grandes	3 931	-	-	Morro Grande	2 884
São Martinho	3 162	-	-	Ermo	2 059
Sub-Total	350 237			Sub-Total	206 347

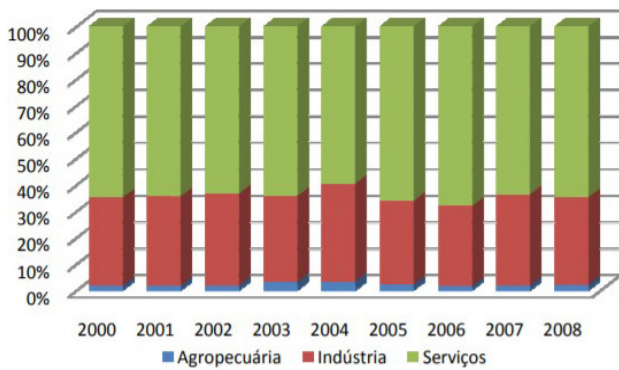


Figura 10 - Participação dos setores no PIB de Tubarão (2000/2008). Fonte: Novaes *et al.* (2013).

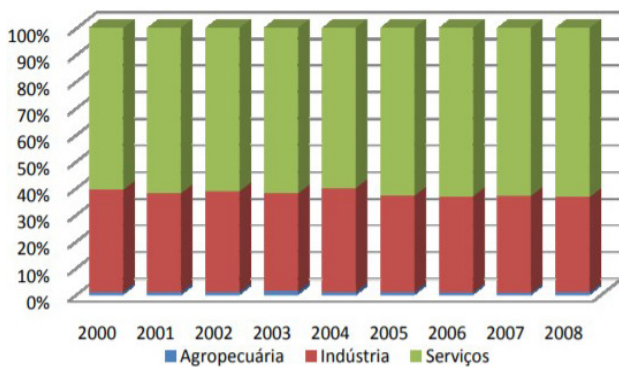


Figura 11 - Participação dos setores no PIB de Criciúma (2000/2008). Fonte: Novaes *et al.* (2013).

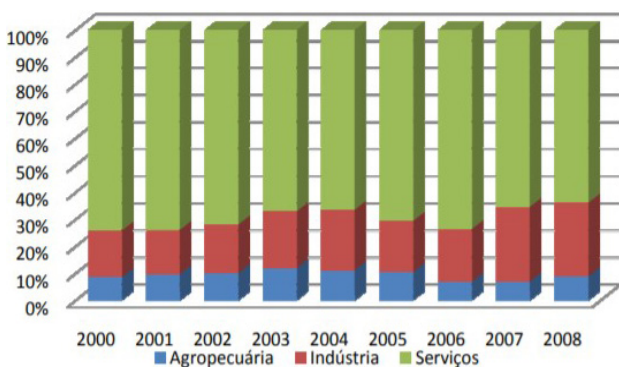


Figura 12 - Participação dos setores no PIB de Araranguá (2000/2008). Fonte: Novaes *et al.* (2013).

Segundo SANTA CATARINA (2011), em 1999 o estado de Santa Catarina detinha um PIB equivalente a R\$ 37.151.230, onde a Mesorregião Sul compunha aproximadamente R\$ 4.663.642. Já em 2010, esses valores eram de R\$ 152.482.338 e R\$ 16.455.698 respectivamente. A diminuição do PIB da Mesorregião Sul, que correspondia a 12,6% do estado em 1999, e apenas 10,8% em 2010, demonstra que a variação da região no período foi menor que a do estado (Figura 13).

Distribuindo esse PIB entre os polos (pelo somatório dos municípios), observa-se a tendência de crescimento ao longo da penúltima década (Figura 14). Entretanto, comparando-se o crescimento do polo quanto à participação no PIB, entre 1999 e 2010, nota-se que foi positivo em Araranguá (4,78%) e em Tubarão (6,07%), e houve decréscimo em Criciúma (-5,91%). Apesar disso, o polo de Criciúma ainda responde pela maior participação no PIB (46,2%), seguido por Tubarão (38,4%) e Araranguá (15,5%) em 2010 (Figura 15).

Nos últimos 20 anos, o setor mineral declinou, algumas empresas carboníferas fecharam e outras ligadas à fluorita paralisaram suas atividades. A partir de 2000, o Ministério Público obrigou algumas das empresas responsáveis pela mineração de carvão e a União a recuperar algumas das áreas degradadas. A extração segue condicionada ao licenciamento ambiental, em um modelo setorial que preconiza viabilizar a indústria carbonífera de forma autossustentada e ambientalmente correta, aliando as atividades carboníferas com a recuperação ambiental.

Metade dos municípios da Mesorregião Sul Catarinense continua, desde a colonização até os dias atuais, com uma economia voltada para atividade primária, destacando-se o cultivo do fumo. Apesar do decréscimo da produção entre 1990 e 2010, ainda hoje o estado de Santa Catarina é responsável por parte considerável do fumo produzido no Sul do país, e 33 municípios da região têm o plantio do fumo entre as suas atividades econômicas (NOVAES *et al.*, 2013).

Atualmente, arroz, fumo e banana, em menor grau, destacam-se na comercialização. Os dois primeiros responderam sozinhos por 64% das vendas dos principais produtos agrícolas em 2012, denotando uma elevadíssima (e preocupante) concentração. Na pecuária, a bovinocultura de leite e, principalmente, a criação de frangos de corte, sem desconsiderar a de galinhas para produção de ovos exibem considerável importância (LINS; SANTOS, 2017).

No plano demográfico, em conexão com os movimentos da economia, espaços no interior sofreram despovoamento, enquanto o litoral atraiu contingentes consideráveis. O processo de litoralização ocasiona problemas também nas áreas de destino, pois os municípios litorâneos do Extremo-Sul Catarinense são carentes de infraestrutura. Somam-se a isto o encarecimento dos imóveis urbanos e as promessas de ocupação e de emprego, que por vezes não se concretizam (NOVAES *et al.*, 2013).

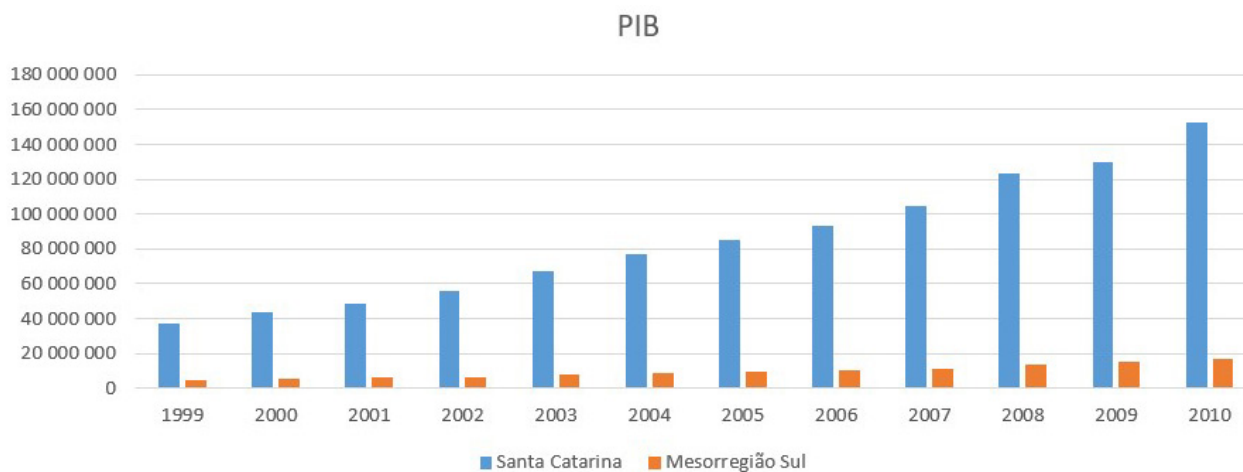


Figura 13 - PIB da Mesorregião Sul Catarinense e do estado de Santa Catarina, a preços correntes (R\$), no período entre 1999 e 2010. Fonte: modificado de SANTA CATARINA (2011).

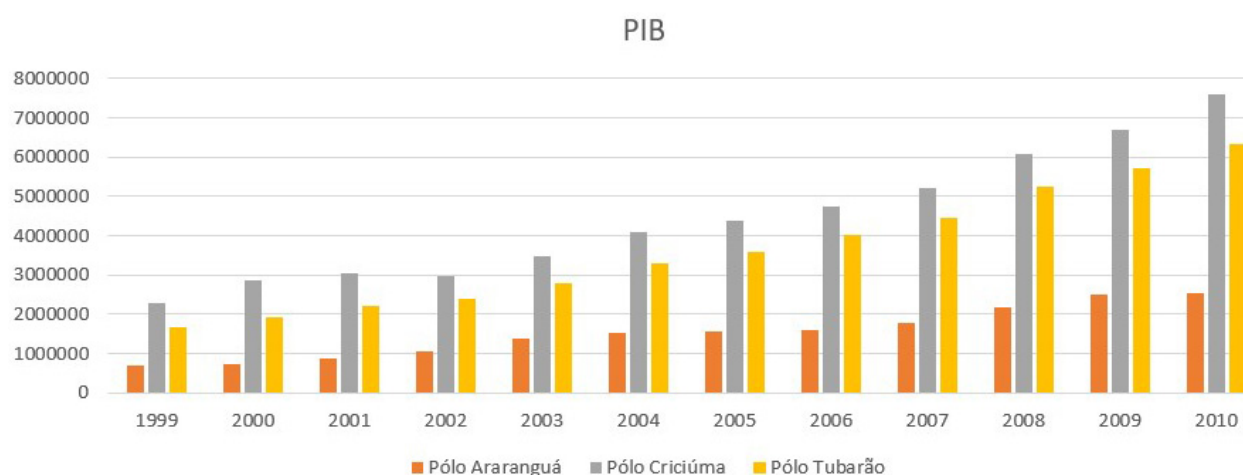


Figura 14 - PIB dos polos da Mesorregião Sul Catarinense, a preços correntes (R\$), no período entre 1999 e 2010. Fonte: modificado de SANTA CATARINA (2011).

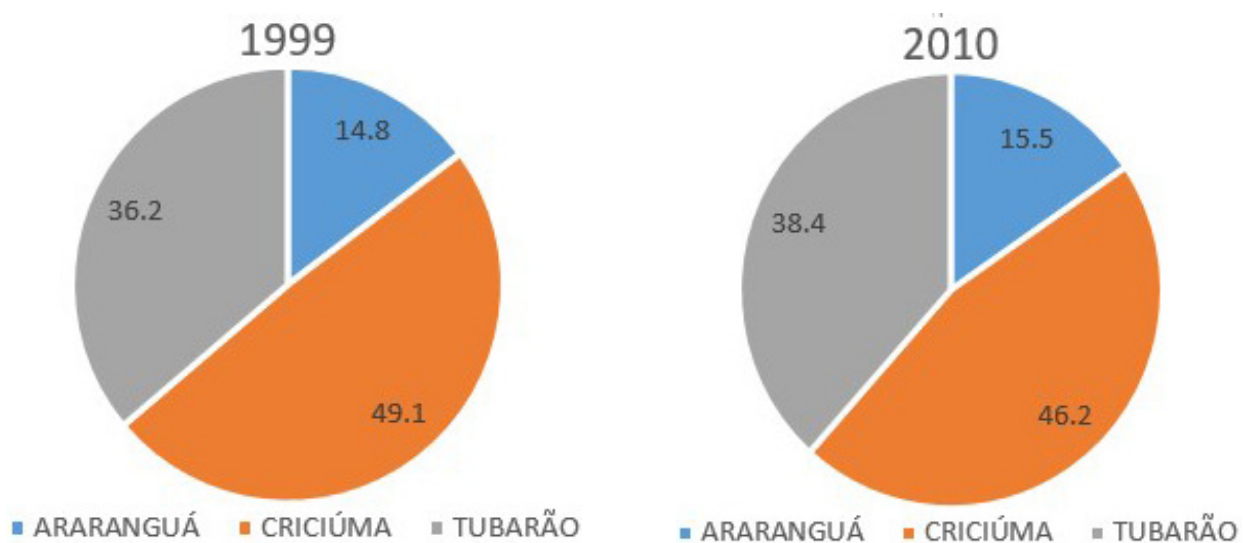


Figura 15 - Participação no PIB dos polos da Mesorregião Sul Catarinense (%), em 1999 e 2010. Fonte: modificado de SANTA CATARINA (2011).

As preocupações atuais do desenvolvimento regional estão, em parte, relacionadas à concentração industrial e geográfica das atividades econômicas, e à desigualdade na distribuição regional da renda. Percebe-se um forte crescimento do setor terciário nos últimos dez anos, passando a ser a principal fonte de trabalho nas três cidades-polos da região (NOVAES *et al.*, 2013).

Infraestrutura e saneamento básico

Por saneamento básico entende-se um conjunto de serviços fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico de uma região, tais como: abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza e drenagem urbana, e o manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais, que estão diretamente relacionados à qualidade ambiental e à saúde pública.

A Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (Casan) é a responsável pelo abastecimento público de 21 municípios (Armazém, Braço do Norte, Criciúma, Ermo, Forquilha, Gravatal, Içara, Laguna, Lauro Muller, Maracajá, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Passo de Torres, Rio Fortuna, Santa Rosa de Lima, São Bonifácio, São João do Sul, São Martinho, Siderópolis, Treze de Maio e Turvo).

Em 16 municípios, o abastecimento é feito por Serviços Autônomos Municipais (SAMAE) (Anitópolis, Araranguá, Balneário Arroio do Silva, Balneário Gaivota, Cocal do Sul, Grão Pará, Jaguaruna, Meleiro, Orleans, Praia Grande, Sangão, Santa Rosa do Sul, São Ludgero, Timbé do Sul, Treviso e Urussanga).

Em seis, o abastecimento é feito pelas prefeituras municipais (Capivari de Baixo, Imaruí, Jacinto Machado, Morro Grande, Pedras Grandes e Sombrio), e em dois municípios o serviço fica a cargo de empresas terceirizadas (Imbituba e Tubarão).

A Figura 16 demonstra a situação das sedes municipais situadas dentro da área estudada (excluem-se Garopaba e Paulo Lopes, por terem a sede fora da área), com relação aos serviços de abastecimento público.

A organização dos municípios atendidos pelo SAMAE é coordenada pelo Consórcio Intermunicipal em Saneamento Ambiental (CISAN-Sul), idealizado pela Fundação Nacional de Saúde (Funasa), com o objetivo desenvolver o saneamento básico no estado. O CISAN-Sul tem sede em Orleans e conta com um Laboratório Regional para Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano.

Municípios por Prestador

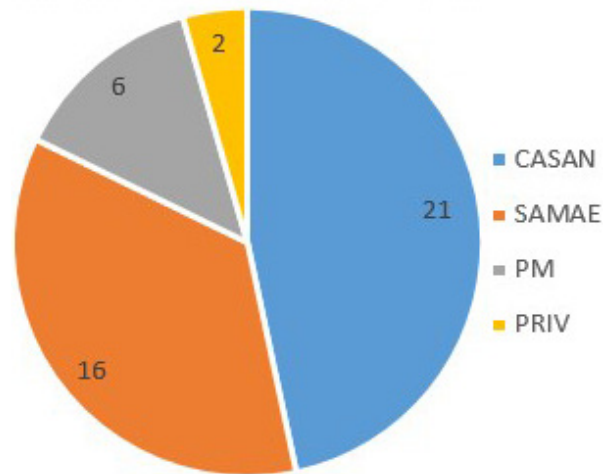


Figura 16 - Participação dos prestadores de abastecimento de água e saneamento ambiental. Onde: PM – Prefeitura Municipal; PRIV – Privado. Fonte: ANA (2017).

Abastecimento de água

Quanto ao abastecimento de água, São João do Sul possui a menor porcentagem de atendimento (14,3%), 10 municípios possuem entre 25 e 50% (23,8%), 12 municípios possuem entre 50 e 75% (28,6%), 11 municípios possuem entre 75 e 99% (26,2%) e apenas 8 municípios possuem atendimento total de abastecimento de água (19%), conforme exposto na Figura 17. A Tabela 8 apresenta a listagem de municípios dentro de cada faixa de atendimento.

Atendimento de Água

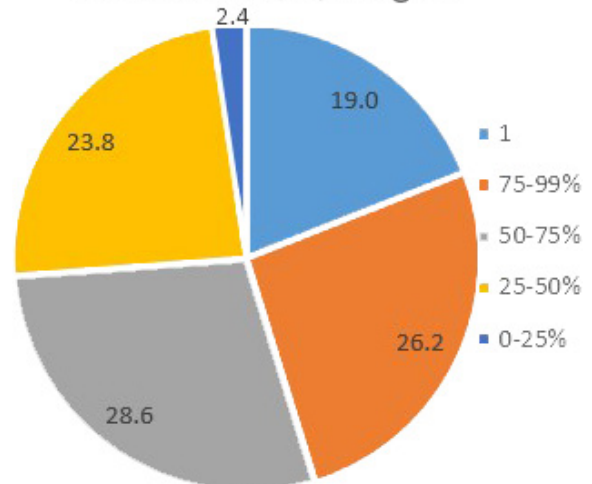


Figura 17 - Abastecimento de água por faixa de atendimento (%). Fonte: SNIS (2019).

TABELA 8

Listagem de municípios por faixa de atendimento do abastecimento de água (%). Fonte: SNIS (2019).

N	0 - 25%	25 - 50%	50 - 75%	75 - 99%	100%					
1	São João do Sul	14,28	Sombrio	49,26	Turvo	73,13	Balneário Arroio do Silva	99,95	Capivari de Baixo	100
2	-	-	Anitápolis	47,96	Araranguá	72,02	Içara	95,57	Cocal do Sul	100
3	-	-	Jaguaruna	47,54	Braço do Norte	70,97	Jacinto Machado	93,13	Criciúma	100
4	-	-	Rio Fortuna	45,85	Maracajá	9,94	São Ludgero	89,72	Forquilha	100
5	-	-	Treze de Maio	44,95	Gravatal	68,51	Orleans	89,69	Imbituba	100
6	-	-	Ermo	40,72	Lauro Muller	63,47	Morro Grande	89,35	Laguna	100
7	-	-	Pedras Grandes	37,73	Santa Rosa do Sul	63,47	Siderópolis	87,13	Morro da Fumaça	100
8	-	-	Santa Rosa de Lima	33,29	Praia Grande	62,92	Timbé do Sul	84,37	Tubarão	100
9	-	-	São Martinho	30,31	Grão Pará	54,04	Passo de Torres	82,58	-	-
10	-	-	São Bonifácio	28,86	Armazém	52,23	Nova Veneza	79,01	-	-
11	-	-	-	-	Meleiro	52,13	Balneário Gaivota	77,27	-	-
12	-	-	-	-	Treviso	51,97	-	-	-	-

Fonte: SNIS (2019). Demais municípios sem dados informados.

Esgotamento sanitário

Com relação à coleta de esgotos, dados mais atualizados (SNIS, 2019) são escassos: 33 municípios não informaram (70,2%). Dos 13 municípios coletados e informados, todos contam com 100% dos esgotos tratados, porém o atendimento à coleta de esgotos ainda é baixo (29,8%) (Figura 18).

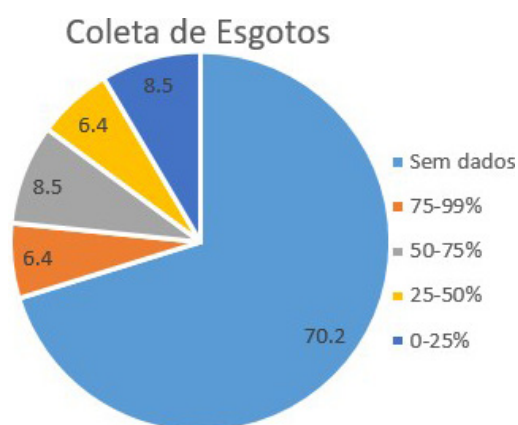


Figura 18 - Coleta de esgoto municipal por faixa de atendimento (%). Fonte: SNIS (2019).

Dos 14 municípios que informam haver coleta de esgoto, 4 possuem atendimento inferior à 25% (8,5%); 3 possuem entre 25-50% (6,4%); 4 municípios possuem atendimento entre 50-75% (8,5%); e 2 municípios

possuem entre 75-100% (6,4%). A Tabela 9 apresenta a listagem de municípios dentro de cada faixa de atendimento de coleta de esgoto.

Os municípios que se destacaram quanto ao nível de atendimento à coleta de esgoto, foram: Gravatal (97,7%), Orleans (89,5%) e São Ludgero (74,6%). Esses municípios possuem um ótimo nível de atendimento, que se reflete na escassez de fossas sépticas, especialmente em São Ludgero (0%), Orleans (10%) e Gravatal 36,17%. Os municípios do extremo sul, que possuem economia voltada para a atividade agrícola, destacam-se na manutenção de soluções individuais, a exemplo de Araranguá, com 45,3% de fossas sépticas (ANA, 2017).

Como são poucos os dados atualizados sobre coleta e tratamento de esgoto em 2019, são também apresentados dados de 2013 sobre a coleta e tratamento de esgoto, obtidos no Atlas de Esgotos da ANA (2017). Em 2013, apenas Criciúma (62,2%), Gravatal (56,6%), Içara (42,5%), Urussanga (25%), Sombrio (11,4%), Imbituba (10%) e Laguna (5,8%), tiveram atendimento de coleta e tratamento de esgoto.

A Tabela 10 reúne informações selecionadas do SNIS (2019) e do Atlas de Esgotos da ANA (2017), sobre abastecimento de água, coleta de esgoto, resíduos sólidos e serviços de drenagem urbana, nos municípios sediados na área de estudo.

TABELA 9

Listagem de municípios por faixa de atendimento de coleta de esgoto (%).

N.	< 25%		25-50%		50-75%		75-100%	
1	Araranguá	14,3	Braço do Norte	46,1	São Ludgero	74,59	Gravatal	97,7
2	Turvo	13,06	Forquilha	26,95	Sombrio	66,00	Orleans	86,46
3	Imbituba	7,47	Criciúma	25,92	Laguna	59,96	-	-
4	Içara	6,16	-	-	Praia Grande	57,48	-	-

Fonte: SNIS (2019). Demais municípios sem dados informados.

Resíduos sólidos

A coleta de resíduos é feita de 2 a 3 vezes por semana na maioria dos municípios (59,2%), sendo que o restante dispõe do serviço apenas uma vez por semana (18,3%) ou todos os dias (22,5%) (Tabela 10). Dentro de cada município, a divisão também se dá por área, onde as localidades mais afastadas dos centros municipais recebem um serviço mais precário.

Levantamentos realizados relatam a existência de 53 lixões inativos na Mesorregião Sul Catarinense (integram 44 municípios), dos quais 36 estão próximos a corpos d'água, podendo interferir na qualidade das águas. Outros 23 lixões estão a uma distância superior a 500m dos corpos d'água. Para o fechamento de 52 lixões foi depositada apenas uma cobertura de terra sobre os resíduos sólidos (COSTA; POSSAMI; VIANA, 2006). Na RCSC, existem 11 lixões inativos em nove municípios que apresentam grande risco à saúde da população e ao meio ambiente (POSSAMAI *et al.*, 2007), segundo avaliação dos autores.

Drenagem urbana

Entre os serviços listados em drenagem urbana, 21 municípios possuem sistemas de drenagem exclusivos (46,7%), 16 unitários misto com esgotos (35,6%); e em 8 municípios não existe informação (17,8%) (Figura 19).

Os sistemas exclusivos são mais empregados em municípios com maior porcentagem de áreas urbanas, como Criciúma (80%) e Balneário Arroio Silva (98%). Há municípios com baixa área urbana e que também possuem, pelo menos em parte, áreas com sistema exclusivo, como Orleans (7,4%), Treviso (5,5%) e Forquilha (7,3%), porcentagens estas que se referem à área urbana do município. Araranguá é um dos municípios em que não se dispõe de informação sobre serviço de drenagem urbana. Tubarão (17,5%) e Braço do Norte (5,7%), por outro lado, apesar de terem sedes municipais bem desenvolvidas, ainda possuem sistemas mistos com esgotos.

Boa parte das cidades que possuem áreas degradadas pela mineração de carvão continuam com sistemas de drenagem mistos, como Capivari de Baixo, Cocal

Tipos de Sistema de Drenagem



Figura 19 - Tipos de sistemas de drenagem urbana municipal (%).

Fonte: SNIS (2019).

do Sul, Morro da Fumaça, Pedras Grandes, Sangão e Siderópolis, o que não condiz com as especificidades dos resíduos gerados. A mistura de águas com diferentes tipos de contaminação (urbana e DAM) aumenta o custo do tratamento, por isto, é sempre recomendável que os resíduos de DAM sejam tratados antes do lançamento no corpo receptor.

Sete municípios informaram haver serviço de dragagem ou desassoreamento: Balneário Arroio do Silva, Cocal do Sul, Jaguaruna, Laguna, Morro da Fumaça, Passo de Torres e São Bonifácio. Outros sete informaram não haver o serviço: Imaruí, Jacinto Machado, Lauro Muller, Santa Rosa de Lima, São Martinho, Sombrio e Treviso, e em 68,9% dos municípios restantes não se dispõe dessa informação.

Quanto ao risco à inundação, 25 municípios possuem mapeamento de risco à inundação, entre os quais 9 são do tipo integral (20%) e 16 do tipo parcial (35,6%). Seis municípios (13,3%) não declararam o tipo e 14 não possuem mapeamento (31,1%). Dispõem de mapeamento integral: Balneário Arroio do Silva, Cocal do Sul, Criciúma, Ermo, Içara, Jacinto Machado, Meleiro, Passo de Torres e Timbé do Sul, que juntos possuem 3.788 domicílios sujeitos à inundação. Os municípios que possuem mapeamento parcial de risco à inundação somam outros 11.323 domicílios, com um total de 15.111, número que não chega a contemplar 50% da Mesorregião Sul Catarinense.

TABELA 10

Serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, resíduos sólidos e drenagem urbana municipal.

MUNICÍPIO	ÁGUA E ESGOTO (2019)			ESGOTO (2013)			RESÍDUOS SÓLIDOS (2019)			DRENAGEM URBANA (2019)				
	ATENDI- MENTO TOTAL DE ÁGUA (%)	COLETA DE ESGOTO (2019) (%)	TRATAMENTO DE ESGOTO (2019) (%)	FOSSA SÉPTICA (2013) (%)	COLETA SEM TRATAMENTO (2013) (%)	COLETA E TRATAMENTO (2013) (%)	COLETA DIÁRIA (%)	COLETA 2 OU 3 VEZES POR SEMANA (%)	COLETA 1 VEZ POR SEMANA (%)	ÁREA URBANA TOTAL (%)	TIPO DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	SERVIÇO DE DRAGAGEM	MAPEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÃO	DOMICÍLIOS SUJEITOS À INUNDAÇÃO
Anitápolis	47,96			60,3	12,4	0,00	0,00	60,00	40,00	5,9	Unitário		Parcial	37
Araranguá	72,02	14,3	100,00	45,29	38,17	0,00								
Armazém	52,23			66,3	12,04	0,00	35,00	35,00	30,00	4,3	Unitário		Parcial	5
Balneário Arroio do Silva	99,95			95,42	2,03	0,00	20,00	70,00	10,00	98,0	Exclusivo	Sim	Integral	40
Balneário Gaivota	77,27			91,98	2,77	0,00	20,00	70,00	10,00	30,6	Exclusivo		Não	
Braço do Norte	70,97	46,1	100,00	28,99	47,19	0,00				5,7	Unitário		Parcial	1 000
Capivari de Baixo	100,00			66,6	31,14	0,00	21,5	78,5	0,00	29,4	Unitário		Não	285
Cocal do Sul	100,00			16,65	55,84	0,00	0,00	100,00	0,00	22,8	Unitário	Sim	Integral	550
Criciúma	100,00	25,92	100,00	30,03	0,00	62,21	10,00	90,00	0,00	80,8	Exclusivo		Integral	1 243
Anitápolis	47,96			60,3	12,4	0,00	0,00	60,00	40,00	5,9	Unitário		Parcial	37
Araranguá	72,02	14,3	100,00	45,29	38,17	0,00								
Armazém	52,23			66,3	12,04	0,00	35,00	35,00	30,00	4,3	Unitário		Parcial	5
Balneário Ar- roio do Silva	99,95			95,42	2,03	0,00	20,00	70,00	10,00	98,0	Exclusivo	Sim	Integral	40
Balneário Gaivota	77,27			91,98	2,77	0,00	20,00	70,00	10,00	30,6	Exclusivo		Não	
Braço do Norte	70,97	46,1	100,00	28,99	47,19	0,00				5,7	Unitário		Parcial	1 000
Capivari de Baixo	100,00			66,6	31,14	0,00	21,5	78,5	0,00	29,4	Unitário		Não	285
Cocal do Sul	100,00			16,65	55,84	0,00	0,00	100,00	0,00	22,8	Unitário	Sim	Integral	550
Criciúma	100,00	25,92	100,00	30,03	0,00	62,21	10,00	90,00	0,00	80,8	Exclusivo		Integral	1 243
Ermo	40,72			59,13	32,31	0,00	0,00	30,00	70,00	6,8	Unitário		Integral	150
Forquilha	100,00	26,95	100,00	49,35	39,58	0,00	0,00	85,00	15,00	7,3	Exclusivo		Parcial	427

TABELA 10 (continuação)

Serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, resíduos sólidos e drenagem urbana municipal.

MUNICÍPIO	ÁGUA E ESGOTO (2019)			ESGOTO (2013)			RESÍDUOS SÓLIDOS (2019)			DRENAGEM URBANA (2019)				
	ATENDI- MENTO TOTAL DE ÁGUA (%)	COLETA DE ESGOTO (2019) (%)	TRATAMENTO DE ESGOTO (2019) (%)	FOSSA SÉPTICA (2013) (%)	COLETA SEM TRATAMENTO (2013) (%)	COLETA E TRATAMENTO (2013) (%)	COLETA DIÁRIA (%)	COLETA 2 OU 3 VEZES POR SEMANA (%)	COLETA 1 VEZ POR SEMANA (%)	ÁREA URBANA TOTAL (%)	TIPO DE SISTEMA DE DRE- NAGEM URBANA	SERVIÇO DE DRÁ- GAGEM	MAPEA- MENTO DE RISCO DE INUNDAÇÃO	DOMI- CÍLIOS SUJEITOS À INUNDA- ÇÃO
Grão Pará	54,04			51,28	41,9	0,00	0,00	5,00	95,00					
Gravatal	68,51	97,7	100,00	36,17	0,00	56,63	60,00	20,00	20,00					
Içara	95,57	6,16	100,00	34,71	0,00	42,49	40,00	50,00	10,00	84,7	Exclusivo		Integral	1 544
Imaruí				73,26	10,96	0,00	0,00	80,00	20,00	2,0	Unitário	Não	Não	
Imbituba	100,00	7,47	100,00	52,6	0,00	10,00	50,00	48,00	2,00	100,00	Exclusivo		Não	
Jacinto Machado	93,13			90,2	4,54	0,00	50,00	35,00	15,00	1,2	Exclusivo	Não	Integral	100
Jaguaruna	47,54			79,52	3,85	0,00	30,00	50,00	20,00	2,5	Exclusivo	Sim	Não	100
Laguna	100,00	59,96	100,00	36,04	40,43	5,77				14,9	Exclusivo	Sim	Não	35
Lauro Muller	63,47			23,91	57,91	0,00	62,00	0,00	38,00	4,4		Não	Parcial	475
Maracajá	69,94			49,06	38,63	0,00	0,00	60,00	40,00	24,0	Unitário		Parcial	588
Meleiro	52,13			43,85	51,41	0,00	0,00	91,00	9,00	28,9	Exclusivo		Integral	161
Morro da Fumaça	100,00			18,21	40,57	0,00	0,00	90,00	10,00	37,1	Unitário	Sim	Parcial	650
Morro Grande	89,35			95,11	4,23	0,00	60,00	20,00	20,00	19,4			Não	5
Nova Veneza	79,01			37,00	40,7	0,00	0,00	68,00	32,00					
Orleans	89,69	86,46	100,00	10,00	0,00	90,00	30,00	60,00	10,00	7,4	Exclusivo		Parcial	40
Passo de Torres	82,58			17,42	1,17	0,00	15,00	55,00	30,00	35,7	Exclusivo	Sim	Integral	0
Pedras Grandes	37,73			56,46	20,62	0,00				3,7913501977277	Unitário		Não	
Praia Grande	62,92	57,48	100,00	80,73	1,09	0,00	30,00	40,00	30,00	0,9	Exclusivo		Parcial	600
Rio Fortuna	45,85			45,5	0,26	0,00				49,5	Exclusivo		Parcial	106
Sangão				1,15	33,67	0,00	0,00	100,00	0,00	49,5	Unitário		Não	

TABELA 10 (continuação)

Serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, resíduos sólidos e drenagem urbana municipal.

MUNICÍPIO	ÁGUA E ESGOTO (2019)			ESGOTO (2013)			RESÍDUOS SÓLIDOS (2019)			DRENAGEM URBANA (2019)				
	ATENDI- MENTO TOTAL DE ÁGUA (%)	COLETA DE ESGOTO (2019) (%)	TRATAMENTO DE ESGOTO (2019) (%)	FOSSA SÉPTICA (2013) (%)	COLETA EM TRATAMENTO (2013) (%)	COLETA E TRATAMENTO (2013) (%)	COLETA DIÁRIA (%)	COLETA 2 OU 3 VEZES POR SEMANA (%)	COLETA 1 VEZ POR SEMANA (%)	ÁREA URBANA TOTAL (%)	TIPO DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	SERVIÇO DE DRAGAGEM	MAPEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÃO	DOMICÍLIOS SUJEITOS À INUNDAÇÃO
Santa Rosa do Sul	63,47			92,23	1,09	0,00	0,00	70,00	30,00	79,8	Exclusivo		Não	
São Bonifácio	28,86			83,5	10,66	0,00	0,00	18,3	81,7	0,2	Exclusivo	Sim	Não	
São João do Sul	14,28			50,83	10,62	0,00	0,00	100,00	0,00	4,9	Exclusivo		Não	10
São Ludgero	89,72	74,59	100,00	0,00	0,00	100,00	40,00	60,00	0,00					
São Martinho	30,31			65,15	11,13	0,00	0,00	100,00	0,00	1,2	Exclusivo	Não	Parcial	0
Siderópolis	87,13			34,33	51,29	0,00	0,00	60,00	40,00	5,5	Unitário		Parcial	115
Sombrio	49,26	66,00	100,00	67,39	0,00	11,44	80,00	15,00	5,00	18,9	Exclusivo	Não	Parcial	20
Timbé do Sul	84,37			66,61	3,79	0,00	0,00	40,00	60,00	13,7	Unitário		Integral	0
Treviso	51,97			76,7	15,93	0,00	0,00	52,00	48,00	5,5	Exclusivo	Não	Parcial	61
Treze de Maio	44,95			69,63	8,23	0,00	0,00	70,00	30,00	6,8	Unitário		Não	15
Tubarão	100,00			45,46	46,86	0,00	50,00	30,00	20,00	17,5	Unitário		Parcial	7 194
Turvo	73,13	13,06	100,00	63,47	33,37	0,00	6,00	69,00	25,00	4,2	Unitário		Parcial	5
Urussanga				44,83	0,00	25,00	25,00	55,00	20,00					

Onde: Tipos de sistema de drenagem: unitário (misto com esgoto) e exclusivo (para drenagem). Fontes: modificado de SNIS (2019); dados de 2013 obtidos no Atlas Esgotos da ANA (2017).

GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS

Compartimentação tectônica

Localizada na porção sul da Província Mantiqueira, as unidades mais antigas pertencem ao Escudo Catarinense e estão representadas pelo Batólito de Florianópolis, que é compartimentado em três domínios litológicos: Complexo Granítico-Gnáissico, Suíte Granítica Pedras Grandes e Suíte Cambirela (SILVA; LEITE, 2000).

Na compartimentação tectônica, concebida por Fragoso César (1980) e desenvolvida por Basei (1985), a área corresponde ao Cinturão Dom Feliciano; Silva (1987) agrupa as unidades no Cráton Itapema, onde estariam representadas todas as unidades do Cinturão Dom Feliciano no estado de Santa Catarina. As unidades litoestruturais presentes neste domínio constituiriam um grande batólito, designado Batólito de Florianópolis (SILVA *et al.*, 1997).

Localizadas na porção norte da área de estudo, as unidades do Complexo Granítico-Gnáissico corresponderiam a um arcabouço pré-cambriano, sobre o qual, no intervalo do Meso ao Neoproterozoico,

alojaram-se uma série de plútons graníticos, alguns deles com dimensões batolíticas (SILVA; LEITE, 2000).

Intrusivos no Complexo Granítico Gnáissico, corpos graníticos neoproterozoicos, cujas injeções se processaram em diferentes níveis crustais e em diferentes estágios da deformação regional tardi a pós-tectônica, foram reunidos nas suítes Pedras Grandes e Cambirela (SILVA; LEITE, 2000). Essas suítes em conjunto constituem o Batólito de Florianópolis e são relacionadas à evolução do Cinturão Dom Feliciano (Figura 20).

Nas bordas oeste e sul deste embasamento predomina, na porção central, a sedimentação gondwânica da Bacia do Paraná, a qual se encontra capeada pelo Magmatismo Vulcânico Serra Geral nas bordas escarpadas e altos do planalto.

Ocupando uma faixa mais larga no sul da área de estudo, a Planície Costeira é uma extensão emersa da bacia marginal de Pelotas, que se estende até a Plataforma de Florianópolis, formada por uma sedimentação cenozoica influenciada pelas oscilações glacio-eustáticas do nível do mar durante o Quaternário.

TERRENOS E DOMÍNIOS TECTONO-GEOLÓGICOS

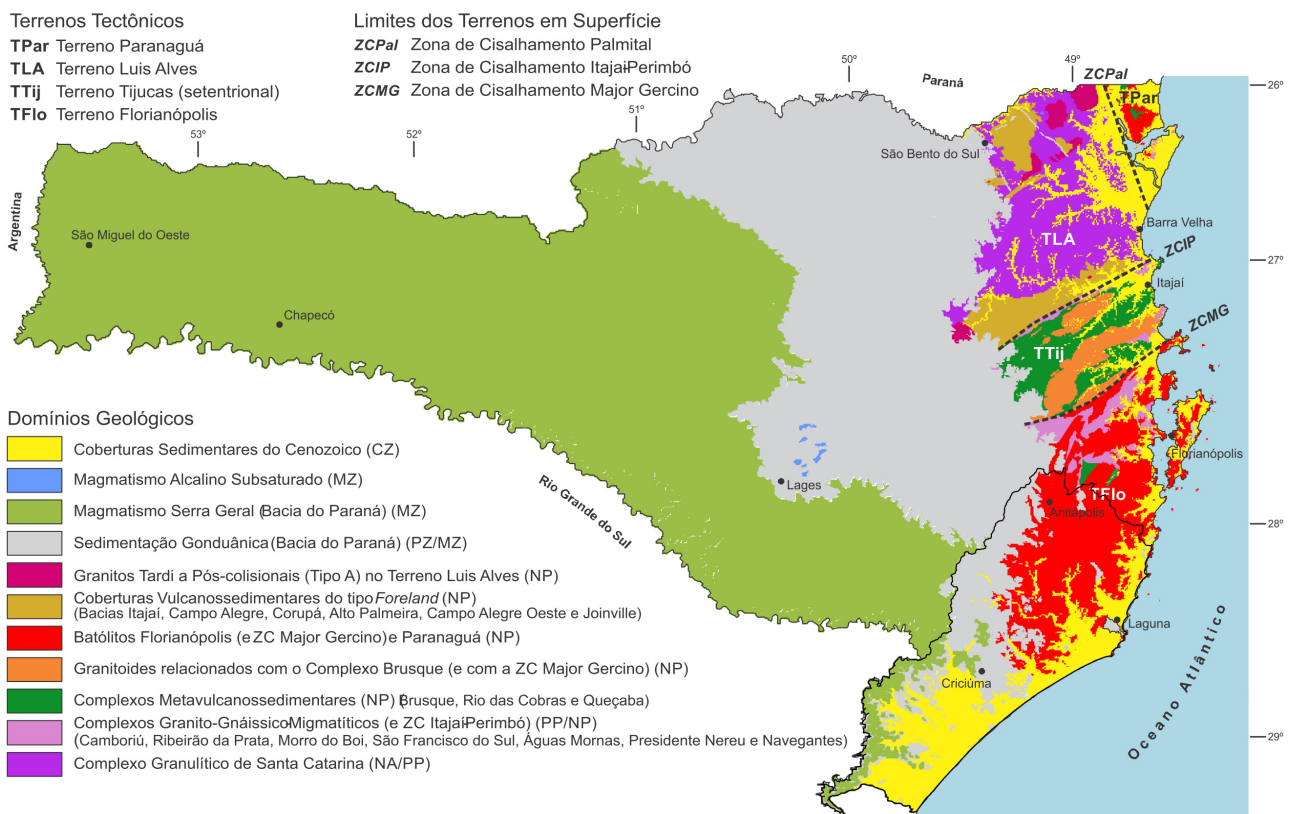


Figura 20 - Detalhe da compartimentação tectônica da Mesorregião Sul no estado de Santa Catarina. Fonte: modificado de SGB-CPRM (2014).

Descrição das Unidades

Complexo Granítico Gnáissico (NP)

Segundo Silva e Leite (2000), fazem parte desse complexo os granitoides foliados, sin a tarditranscorrentes: Santa Rosa de Lima, Santo Antônio e Paulo Lopes. São metagranitoides de afinidade calcioalcalina ou alcalina, metaluminosa, caracterizados por foliações miloníticas e de fluxo ígneo, com teores variáveis de biotita (5–30%), textura porfiroclástica/porfírica de feldspato alcalino, em volume variável desde dominantes a subordinados, com presença marcante dos minerais acessórios allanita e titanita. A seguir são listadas as características particulares de cada uma das unidades.

Santa Rosa de Lima - Composição sieno e monzogranítica, cinza-escuro a cinza-róseo, textura porfiroclástica/porfírica e granulação grossa a média. Os acessórios incluem allanita e titanita. Essa unidade contém enclaves decimétricos a métricos de gnaisses máficos e mostra contatos difusos/gradativos, às vezes bruscos e por falha, com o Granito Imaruí-Capivari.

Santo Antônio - Composição sieno e monzogranítica e, localizadamente, granodiorítica e quartzomonzonítica, de cor cinza e termos leucocráticos. São porfiroclásticos grossos a médios (1-5 cm) em matriz média a fina (feldspato alcalino). Constituem, principalmente, augengnaisses e milonitos. A mineralogia acessória inclui allanita, titanita \pm apatita, zircão e \pm fluorita. Enclaves localizados (NE de São Martinho) de rocha rica em biotita, máfico-ultramáfica, gnaiss máfico e quartzodiorito.

Paulo Lopes - Composição monzogranítica à granodiorítica, de cor cinza a cinza-claro, porfiroclásticos (2 a 6 cm, 40% a 80% do volume de feldspato alcalino), predominando sobre uma matriz média a fina. Constituem augengnaisses, milonitos, protomilonitos, até raros termos sem orientação, dispostos em bandas centimétricas até decimétricas. Os acessórios incluem allanita, titanita, zircão e opacos. A idade sugerida é de 626 ± 8 Ma U-Pb (CPRM, 2014).

Cinturão Dom Feliciano (NP-C)

Corresponde aos corpos graníticos reunidos nas Suítes Pedras Grandes e Cambirela, relacionados à formação de um batólito multi-intrusivo e polifásico, cujas injeções magmáticas processaram-se em diferentes níveis crustais e estágios de deformação regional tardi a pós-tectônica, onde se identificam desde os termos meso a catazonais até os diferenciados epizonais, formando *stocks* localizados em cúpulas graníticas rasas, que representam os termos finais da magmatogênese do denominado Batólito de Florianópolis (SILVA; LEITES, 2000). Esses autores

consideravam a consanguinidade devido à homogeneidade petrográfica (calcioalcalina ou alcalina) e alguns dados isotópicos existentes.

Dados posteriores evidenciaram, de acordo com o SBG-CPRM (2014), que os granitos anteriormente agrupados na Suíte Pedras Grandes podem ser divididos em dois grupos: Tipo I são de afinidade alcali-cálcica e de posicionamento pré a sincollisionais, onde inserem-se os granitos da Suíte Maruim: Treze de Maio, Jaguaruna e Barra de Laguna; e Tipo A são de afinidade alcalina e posicionamento tardi a pós-colisionais, onde inserem-se os granitos da Suíte Pedras Grandes: Imaruí-Capivari, Serra do Tabuleiro e São Bonifácio. Conforme o SBG-CPRM (2014), as idades das duas suítes são neoproterozoicas e posicionadas no Ediacarano, sendo que a Suíte Maruim precede a Suíte Pedras Grandes.

Suíte Maruim

Treze de Maio - Sieno a monzogranitos porfíricos grossos, com texturas rapakavi mais desenvolvidas e esparsas (desde < 1% a 2%). Cor cinza-rosado a vermelho-claro, com os acessórios allanita e titanita menos abundantes. Associação comum com o subvulcânico Granito Rio Chicão.

Jaguaruna - Sieno e monzogranitos geralmente leucocráticos, equigranulares médios a grossos, localizadamente seriados ou porfíricos, de cor cinza a rosa. Mineralogia acessória composta por allanita e titanita frequentes, além de apatita, zircão, fluorita e opacos. Deformação protoclastica moderada. Não orientados.

Barra de Laguna - Sieno a monzogranitos, de cor cinza-claro a rosa, frequentemente leucocráticos. São porfíricos com fenocristais (feldspato alcalino) de 1 a 3 cm e teor em volume de 15% a 40%, em uma matriz fina a média. Mineralogia acessória contempla allanita e titanita, além da apatita, do zircão e da fluorita. Fluxo ígneo incipiente.

Suíte Pedras Grandes

Imaruí-Capivari - Sieno e monzogranitos, de cor cinza a rosa, porfíricos grossos a médios, às vezes pegmatoides, com abundantes fenocristais de feldspato alcalino (1 a 5 cm, com teor em volume de 30% a 80%) predominantes, quase sempre sobre uma matriz quartzofeldspática média a grossa, com biotita (desde < 5% até 10%) e rara hornblenda. Mineralogia acessória inclui allanita e titanita, além de apatita, zircão, fluorita e opacos. Presença muito rara de textura rapakavi. Deformação protoclastica e fluxo ígneo pouco marcante localizado. Enclaves máficos pouco frequentes.

Serra do Tabuleiro - Sienogranitos e leucossienogranitos, de cor rosa, equigranulares médios a grossos,

homogêneos, não orientados. Mineralogia de rocha metaluminosa, com biotita e os acessórios allanita e titanita, além de apatita, zircão, fluorita e opacos. A idade sugerida é de 617 ± 9 Ma U-Pb (CPRM, 2014).

Os granitos Imaruí-Capivari e Serra do Tabuleiro constituem grandes batólitos, sendo que o primeiro recobre maior extensão na porção norte da área de estudo, enquanto o segundo tem sua maior área de exposição ao norte de Florianópolis.

São Bonifácio - Sienogranitos e monzogranitos, com biotita, leucocráticos, de cor rosa, equigranulares grossos, homogêneos, não orientados. Contém, como acessórios, apatita e fluorita.

Ainda de acordo com SGB-CPRM (2014), o último evento posicionado no Neoproterozoico corresponde à Suíte Plutônico-Vulcânica Cambirela, enquanto que o Granito Rio Chicão já estaria posicionado no Cambriano, sendo que ambos possuem afinidade alcalina e posicionamento tardi a pós-colisional (*Tipo A*).

Suíte Plutônico-Vulcânica Cambirela

Riolito Cambirela - Diques de riolito/riodacito e, subordinadamente, dacito/traquito, de cor cinza-claro a cinza-escuro, às vezes leucocráticos. São porfíricos, com fenocristais (de 2 a 10 mm, teor em volume < 5%) de feldspato e quartzo, subordinados em relação a uma matriz fina a afanítica. Mineralogia acessória inclui titanita, apatita, allanita e fluorita.

Granito Rio Chicão - Sieno e monzogranitos subordinados, de cor cinza-claro, com biotita, geralmente leucocráticos. São porfíricos, com esparsos fenocristais de feldspato alcalino (0,5 cm a 2 cm, com teor em volume de 2% a 20%) subordinados em relação a uma matriz seriada, média a fina, caracterizando textura subvulcânica. Texturas rapakivi são muito raras e localizadas. Mineralogia acessória inclui fluorita, allanita, apatita, zircão, titanita e opacos. Não são orientados e possuem posicionamento epizonal.

Um recorte do mapa geológico da área de estudo, em escala 1:500.000, é apresentado na Figura 21.

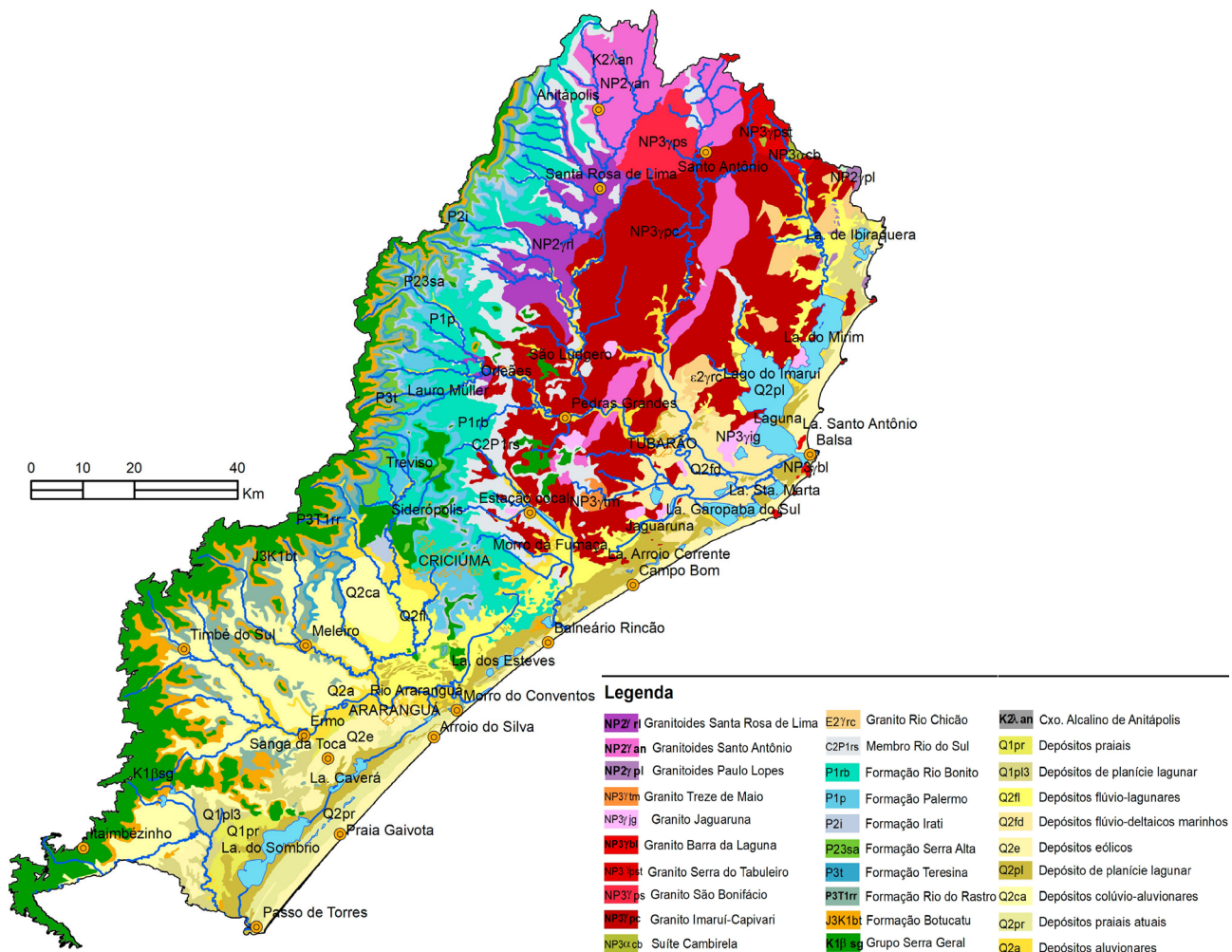


Figura 21 - Esboço geológico da área de estudo. Fonte: modificado de SGB-CPRM (2014).

Bacia do Paraná (P-K)

É uma bacia intracratônica constituída por depósitos continentais e de plataforma rasa, cuja implantação ocorreu em depressões alongadas na direção NE-SW, segundo trama do substrato pré-cambriano. Nos períodos Paleozoico-Mesozoico, a borda sudoeste ativa do paleocontinente Gondwana propiciou os ciclos de criação de espaço deposicional e correspondentes episódios orogênicos. O registro estratigráfico compreende um pacote sedimentar-magmático de espessura máxima em torno dos 7 mil metros, no qual Milani (1997) reconhece seis unidades de ampla escala ou supersequências: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

As três primeiras são sucessões sedimentares de ciclos transgressivos-regressivos ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozoico, ao passo que as demais correspondem a sedimentos continentais com rochas ígneas associadas.

O pacote aflorante na área de estudo corresponde à Supersequência Gondwana I, predominantemente Paleozoica, onde se encontram, na Formação Rio Bonito, os depósitos de carvão do Sul Catarinense, principal recurso mineral explorado no estado (MILANI, 1997). Subordinadamente, nas cotas mais elevadas do terreno, ocorrem exposições de arenitos da Formação Botucatu e magmatitos da Formação Serra Geral, pertencentes à Supersequência Gondwana III.

Durante boa parte do Eocarbonífero, o Gondwana sul-ocidental estava sob elevadas latitudes e passava por uma extensa glaciação continental. A presença de geleiras é um fator inibidor para a acumulação sedimentar expressiva e o período reflete-se em hiato deposicional. Com a migração do paleocontinente para norte, afastando-se do foco da glaciação, a sedimentação foi retomada num contexto periglacial – regiões de degelo e circunvizinhas (MILANI, 1997).

Neste contexto, a porção inferior da Supersequência Gondwana I é representada por depósitos glaciais do Grupo Itararé, ligados à fase de degelo, cujos ciclos de sedimentação da Formação Rio do Sul iniciam em pacotes arenosos, com afinamento de grão para cima, resultantes de mudanças climáticas cíclicas ligadas a subidas do nível relativo do mar (MILANI, 1997).

Com a deglaciação e a conseqüente subida do nível do mar - transgressão permiana (LAVINA; LOPES, 1986), o

pacote sedimentar do Grupo Guatá inicia com os depósitos da Formação Rio Bonito, tradicionalmente interpretados como um extenso *front* deltaico, caracterizado por uma notável ciclicidade sedimentar, traduzindo oscilações do nível de base da bacia de acumulação. Em função dessa característica alternam, nessa formação, pacotes ora predominantemente arenosos, ora pelíticos (SCHNEIDER *et al.*, 1974).

A unidade foi dividida em três membros: Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (SCHNEIDER *et al.*, 1974), onde são comuns, na base (Membro Triunfo), os retrabalhamentos dos lobos deltaicos por ação de marés. A influência marinha manifesta-se com pacotes pelíticos de espessura importante (Membro Paraguaçu), traduzindo uma progressiva subida do nível do “Mar Palermo” que recobriria, a seguir, a bacia por completo. Localmente, sob condições de restrição lagunar ao longo da franja litorânea, desenvolveram-se turfeiras que deram origem aos carvões do Membro Siderópolis. A unidade superior da Formação Rio Bonito (Membro Siderópolis) compreende arenitos finos, siltitos e siltitos carbonosos, que se intercalam a camadas de carvão na porção meridional da Bacia do Paraná.

A Formação Palermo é constituída por siltitos e siltitos arenosos cinza-amarelados, com bioturbação onipresente. Arenitos finos em geometria lenticular e estratificação tipo *hummocky* ocorrem localmente e folhelhos cinza-escuros compõem um horizonte de correlação regional de máxima inundação da Supersequência Gondwana I (MILANI, 1997).

Acima da Formação Palermo, a Formação Irati documenta uma efetiva restrição à circulação das águas, que culminou por desenvolver um contexto ambiental hipersalino na bacia interior. Sob tais condições, acumularam-se carbonatos e evaporitos, no norte, e folhelhos betuminosos, na porção sul da bacia, com potencial gerador de acumulações petrolíferas.

A Formação Serra Alta corresponde a um pacote de folhelhos cinza-escuros finamente laminados, decorrentes da decantação de argila num contexto marinho de baixa energia, interpretados como relativos ao “afogamento do Golfo Irati”, última incursão marinha importante na bacia.

A sedimentação do Grupo Passa Dois (pós-Serra Alta) manifesta uma tendência regressiva em grande escala, onde sistemas continentais passam a dominar a bacia de acumulação, com depósitos predominantemente pelíticos e onde estruturas sedimentares ligadas à ação de marés da Formação Teresina dão lugar a um complexo

progradacional de *redbeds*, incluindo lobos deltaicos, pelitos lacustres, arenitos eólicos e aos depósitos fluviais na Formação Rio do Rastro.

Após um hiato deposicional, tem-se o recobrimento da Supersequência Gondwana I pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu que fazem parte da Supersequência Gondwana III, Jurássica-Eocretácica, na concepção de Milani *et al.* (1994), onde posicionaram-se tanto os sedimentos eólicos quanto os magmatitos da Formação Serra Geral no Grupo Serra Geral.

A Formação Serra Geral caracteriza-se pela sequência vulcânica de rochas básicas e intrusões na forma de *sills* e diques, que cobrem ou intrudem os sedimentos da Bacia do Paraná, e que estão parcialmente recobertos por sedimentos mesozoicos e cenozoicos. Nessa formação, predominam basaltos toleíticos, acompanhados de lavas ácidas, riocacitos e riolitos, além de quantidades subordinadas de rochas intermediárias, como andesitos (PICCIRILLO *et al.*, 1988). Essa formação resulta de um intenso magmatismo de fissura, correspondendo ao encerramento da evolução gondwânica da Bacia do Paraná.

A seção-tipo da Formação Serra Geral pode ser vista ao longo da estrada que liga as cidades catarinenses de Lauro Müller e São Joaquim (SC-438). No local, Leinz (1949) estabeleceu um perfil clássico e individualizou o caráter interno do derrame em três zonas: 1) vítrea basal, com disjunção horizontal; 2) intermediária, com juntas verticais; 3) superior, com disjunção vertical e horizontal, e basalto vesicular no topo.

O contato da Formação Serra Geral com as unidades sedimentares mais antigas da Bacia do Paraná é determinado por discordância erosiva, e em determinados locais a unidade jaz diretamente sobre as rochas graníticas do embasamento cristalino, como ocorre entre as cidades de Orleans e São Ludgero, e nas proximidades de Urussanga onde, também, se verifica o contato por falha dessas unidades (SILVA; LEITES, 2000).

Complexo Alcalino de Anitápolis

O maciço alcalino básico-ultrabásico de Anitápolis localiza-se na Serra da Boa Vista, localidade de Pinheiros Altos (Lat 27°49'S, Long 49°06'O), sendo o único depósito de fosfato conhecido no Sul do Brasil (KAHN, 1988). O corpo circular, de aproximadamente 6km², não aparece na escala cartográfica do mapa geológico (1:500.000), mas encontra-se sob o Granitoide Santo Antônio (Figura 11). Sua idade foi estimada em 129 Ma. (AMARAL *et al.*, 1967).

Coberturas Cenozoicas

Abrange depósitos sedimentares continentais, transitórios e marinhos, além de depósitos de encosta e aluviões ao longo dos atuais cursos de água.

Os depósitos, que se sobrepõem às unidades do embasamento e da Bacia do Paraná, desenvolveram-se como produto dos processos de formação da planície costeira, que de acordo com a concepção de Villwock e Tomazelli (1995) são: 1- continentais - depósitos de leques aluviais (Plioceno ao Holoceno) e aluvionares holocênicos; 2- transitórios - depósitos flúviolagunares e fluviodeltaico marinhos; e 3 - costeiro dominado por ondas (planície costeira) - relacionado à evolução de duas barreiras arenosas (Pleistoceno e Holoceno), vinculadas às oscilações do nível do mar no Quaternário (SILVA; LEITES, 2000).

Entre os depósitos continentais, destacam-se os colúvio-aluvionares e aluvionares. A implantação dos depósitos colúvio-aluvionares ocorreu provavelmente no Plioceno, como um sistema de leques aluviais cuja gênese perdura até os dias atuais. Envolvem cascalhos, areias e lamias resultantes de processos de transporte característicos de fluxos gravitacionais e aluviais, formando rampas de colúvio (finos) e depósitos de tálus (predomínio de material grosso), junto à base e à meia encosta dos morros. Os depósitos aluvionares e de retrabalhamento fluvial ocorrem nas regiões de baixa declividade e ao longo das drenagens, associados à deposição do sistema fluvial (SILVA; LEITES, 2000).

Sobre os depósitos continentais, acham-se agrupados os tipos transitório e costeiro dominado por ondas. Neste contexto, destaca-se um sistema denominado Laguna-Barreira, composto pelos subsistemas lagunar, de barreira e canal de ligação. Na área de estudo, têm-se duas barreiras arenosas, sendo a mais interiorizada datada do Pleistoceno Superior (< 120 Ka) e a mais externa do Holoceno (SILVA; LEITES, 2000), conforme representação esquemática apresentada na Figura 22.

As fácies sedimentares da barreira pleistocênica originaram-se em ambiente praiado e marinho raso, sendo recobertas por sedimentação eólica. Os depósitos praiados abrigam sedimentos praiados marinhos e, concomitante à formação da barreira arenosa, instalaram-se no seu reverso grandes corpos aquosos costeiros, que posteriormente seriam segmentados, originando as paleolagunas que se distribuem amplamente, formando depósitos paleolagunares que englobam turfeiras, pântanos e alagadiços, constituídos por turfas ou lamias ricas em matéria orgânica (SILVA; LEITES, 2000).

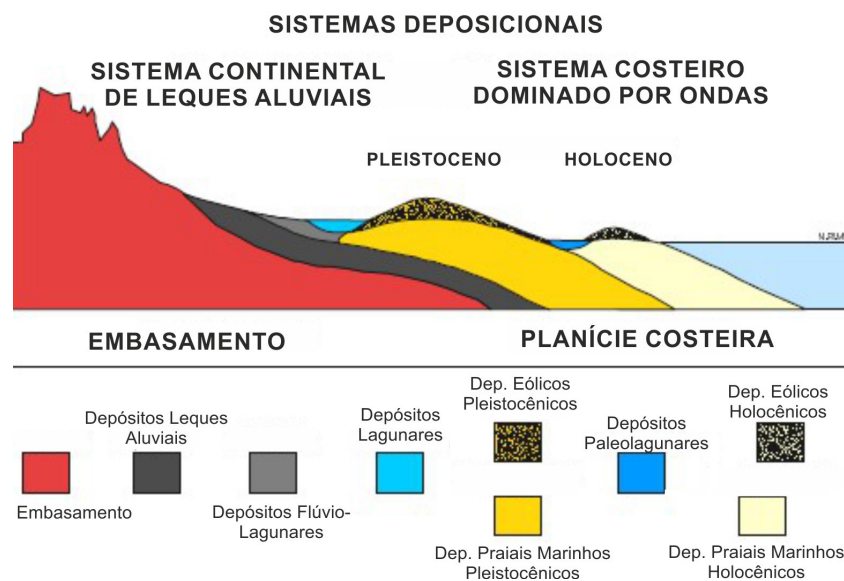


Figura 22 - Seção esquemática simplificada dos sistemas deposicionais da planície costeira. Fonte: SILVA; LEITES (2000).

Os depósitos pleistocênicos iniciam-se em Garopaba/Ibiraquera e se estendem na forma de cordão litorâneo com paleolagunas, prolongando-se na direção sul pela margem leste dos complexos lagunares Mirim, Imaruí e Santo Antônio até as proximidades de Laguna, onde se encontram interrompidos. Sua presença é observada novamente na margem sul da Lagoa de Garopaba do Sul, estendendo-se até a região de Araranguá, trecho em que se apresentam seccionados apenas nas proximidades do Rio Urussanga (SILVA; LEITES, 2000).

Sobre esses sedimentos pleistocênicos se desenvolveu, durante o Holoceno, um complexo de ambientes deposicionais compreendendo depósitos do tipo laguna-barreira, fluviodeltaico marinhos, fluviolagunares e paleolagunares, associados ao auge da última fase transgressiva do nível do mar e sua posterior regressão (< 5,1 ka) (SILVA; LEITES, 2000).

A barreira holocênica também é formada por depósitos praias marinhos com recobrimento eólico e depósitos lagunares por trás. Esse sistema ocorre muito próximo à linha de costa, ou ainda com as fácies eólicas pouco interiorizadas. As fácies de fundo lagunar, apesar de não serem cartografadas, ocupam o substrato dos corpos aquosos atuais, com predominância de fácies arenosas nas partes marginais, e lamosas nas partes mais centrais e profundas (SILVA; LEITES, 2000).

Os depósitos fluviolagunares ocorrem em regiões nas quais o sistema fluvial recorta áreas de antigas lagoas costeiras, atualmente colmatadas, resultando numa

sedimentação arenoargilosa com restos orgânicos vegetais (SILVA; LEITES, 2000).

Os depósitos fluviodeltaico marinhos, situados na região de Tubarão/Laguna, correspondem às áreas de sedimentação clástica sobre um antigo ambiente marinho raso. Dados de sondagens registram extensa sedimentação superficial arenolamosa deltaica, de 1,5 m de espessura, sobrejacente a uma camada de areias biotriticas marinhas, que recobrem os sedimentos lamosos de fundo da baía. São remanescentes aquosos de uma paleobaía que encontram-se, hoje, representados pelo rosário de lagoas denominadas Jaguaruna, Delfino, da Manteiga, Laranjal, Garopaba do Sul, Camacho, Santa Marta, Gamboa, do Lino e do Ribeirão Grande. Atualmente, sua porção mais distal ocorre sobre a margem sul da Lagoa Santo Antônio, gerando um delta intralagunar (SILVA; LEITES, 2000).

Recursos Minerais

Os recursos minerais reconhecidos e passíveis de serem encontrados na área podem ser agrupados de acordo com os principais tipos litológicos mapeados. Destarte, nos granitoides podem ser citados fluorita, bário, quartzo, feldspatos e argilas. No basalto tem-se a brita. Nas rochas sedimentares da Bacia do Paraná, encontram-se areias, siltes, argilas, carvão, folhelho. Nos sedimentos costeiros marinhos, acham-se conchas calcárias, diatomitos, seixos, argilas. O registro de fósforo provém do Complexo Alcalino de Anitápolis. A

Figura 23 apresenta os principais tipos de recursos minerais registrados na Mesorregião Sul Catarinense e a Tabela 11 um resumo das principais características desses registros.

Considerando os tipos de registros, os depósitos minerais são considerados comprovados, enquanto que as ocorrências ainda carecem de comprovação de viabilidade

econômica. A Figura 24 apresenta a participação dos depósitos e das ocorrências nos registros existentes, por tipo de recurso mineral. É possível perceber que a maioria dos registros é de flúor, embora a maioria deles seja de ocorrências possíveis, enquanto que os registros de carvão são, em sua maioria, depósitos comprovados.

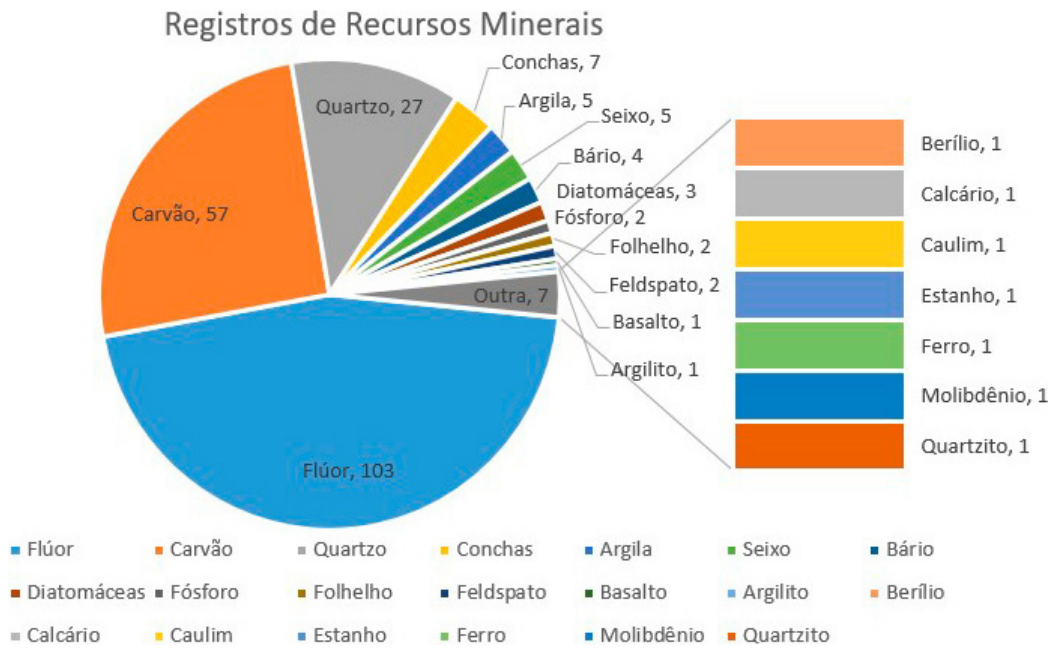


Figura 23 - Registros de recursos minerais na área de estudo. Fonte: modificado de Viero; Silva (2016).

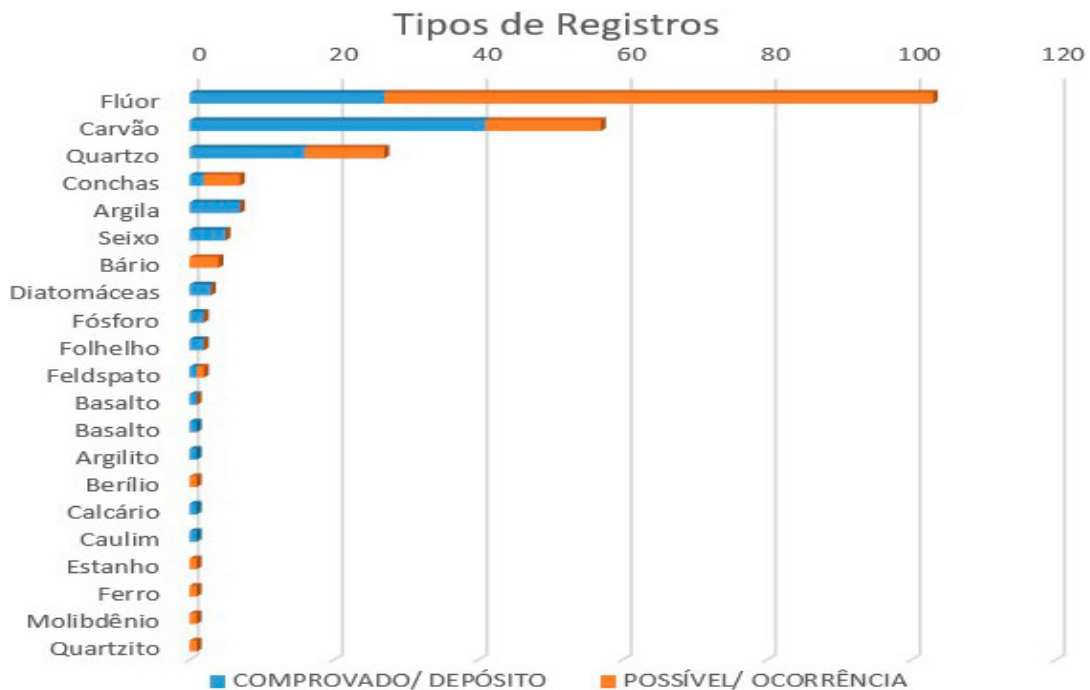


Figura 24 - Quantidade e tipos de registros dos recursos minerais na área de estudo. Fonte: modificado de Viero; Silva (2016).

TABELA 11

Registros de recursos minerais cadastrados na Mesorregião Sul Catarinense. Fonte: modificado de Viero; Silva (2016).

N.	SUBSTÂNCIA PRINCIPAL	Nº REGISTROS	ASSOCIAÇÃO	LITOLOGIA	LOCALIZAÇÃO	COMPROVADO/ DEPÓSITO	POSSÍVEL / OCORRÊNCIA	CLASSE MINERAL	TIPO GENÉTICO	CONTROLES DA MINERALIZAÇÃO
1	Flúor	103	Barita, quartzo, calcedônia, caolinita, pirita, goethita	Granitóides Imaruí-Capivari	Anitápolis, Armazém, Santa Rosa de Lima, Braço do Norte, Imaruí, Jaguaruna, Morro da Fumaça, Orleans, Pedras Grandes, Rio Fortuna, Sangão, Treze Maio, Tubarão, Criciúma	27	76	Rochas e minerais industriais	Filoneana, venular	Relacionado às intrusões félsicas
2	Carvão	57		Fm. Rio Bonito	Cocal do Sul, Urussanga, Criciúma, Forquilha, Lauro Muller, Orleans, Siderópolis, Treviso	41	3	Recursos minerais e energéticos	Estratiforme	
3	Quartzo	27	Limonita, goethita	Granitóides	Braço do Norte, São Ludgero, Tubarão, Urussanga, Rio Fortuna, Pedras Grandes, Laguna, Treze de Maio, Cocal do Sul	16	11	Rochas e minerais industriais	Filoneana	
4	Conchas	7	Alúvio, areias, sedimento siliciclástico e eólico		Imbituba, Laguna, Jaguaruna	2	5	Material para construção civil	Naturais (relevo negativo); antrópicos (relevo positivo, sambaquis, protegidos)	Planície costeira
5	Argila	7	Argilito, caulim	Fm. Rio do Sul, Fm. Rio Bonito, Fm. Teresina	Anitápolis, Cocal do Sul, Lauro Muller, Nova Veneza, Urussanga, Meleiro, Içara	7		Rochas e minerais industriais	Serras litorâneas (vermelha) e planície costeira (branca)	
6	Seixo	5			Orleans, Treviso, Siderópolis	5		Material para construção civil		
7	Bário	4	Barita, quartzo	Granitóides	São Bonifácio, Imaruí, Laguna, Sangão		4	Rochas e minerais industriais	Filoneana	Relacionado às intrusões félsicas
8	Diatomáceas	3	Areias		Imbituba, Jaguaruna	3		Rochas e minerais industriais	Areia	Sedimento marinho
9	Fósforo	2	Magnetita, calcita, flogopita, piroxênio, calcário	Carbonatito	Anitápolis	2		Insumo para agricultura	Magmática, plutônica, hidrotermal	Relacionado às intrusões alcalinas
10	Folhelho	2			Meleiro, Urussanga	2		Rochas e minerais industriais	Foliada	
11	Feldspato	2	Muscovita, quartzo		Anitápolis, Laguna	1	1	Rochas e minerais industriais	Pegmatito	Relacionado às intrusões félsicas
12	Basalto	1		Fm. Serra Geral	Urussanga	1		Material para construção civil	Estratificada	Derrames

TABELA 11 (continuação)

Registros de recursos minerais cadastrados na Mesorregião Sul Catarinense. Fonte: modificado de Viero; Silva (2016).

N.	SUBSTÂNCIA PRINCIPAL	Nº REGISTROS	ASSOCIAÇÃO	LITOLOGIA	LOCALIZAÇÃO	COMPROVADO/ DEPÓSITO	POSSÍVEL / OCORRÊNCIA	CLASSE MINERAL	TIPO GENÉTICO	CONTROLES DA MINERALIZAÇÃO
13	Argilito	1		B. Paraná	Meleiro	1		Rochas e minerais industriais	Maciça	
14	Berílio	1	Berilo, biotita, quartzo, feldspato	Granito	São Bonifácio		1	Metais não ferrosos e semimetais	Magmática hidromesotermal	Filoneana
15	Calcário	1	Magnetita, calcita, antofilita	Carbonatito	Anitápolis	1		Material para construção civil	Granular	
16	Caulim	1	Caolinita, quartzo	Argila	Içara	1		Rochas e minerais industriais	Maciça	
17	Estanho	1	Carnotita, quartzo	Sedimentar clástica	Anitápolis		1	Metais não ferrosos e semimetais	Aluvião	Placer
18	Ferro	1	Magnetita, calcita, antofilita, flogopita	Carbonatito	Anitápolis		1	Metais ferrosos	Maciça	Disseminada
19	Molibdênio	1	Molibdenita, quartzo	Granitóide	Pedras Grandes		1	Metais não ferrosos e semimetais		Disseminada
20	Quartzito	1	Goethita, quartzo	Quartzito ferruginoso	Laguna		1	Rochas e minerais industriais	Granular	

A Figura 25 apresenta a localização dos registros de recursos minerais sobre uma base geológica.

Além desses recursos, outros estudos indicam que o substrato geológico possui favorabilidade para a ocorrência de rochas ornamentais, areias, saibro, siltes, turfas, água mineral e termal.

Há ocorrência de água mineral de alto poder radioativo, logo, com propriedades medicinais e temperatura de 37 graus, em Gravatal.

Pela importância econômica e estratégica dos dois principais recursos minerais registrados, carvão e flúor, algumas características de ocorrência e exploração dos mesmos são aqui apresentadas.

A ocorrência de carvão mineral está restrito à região sul no estado, nas rochas sedimentares permianas da Formação Rio Bonito (Bacia do Paraná), onde constam três camadas importantes: Barro Branco, Bonito Superior e Pré-Bonito Superior. Por suas características constituintes, o aproveitamento do carvão catarinense, no processo de beneficiamento, é extremamente baixo, cerca de 35%, sendo que o restante é rejeito.

O principal mercado para o carvão catarinense é a geração de energia elétrica, cuja demanda é regulada pelo setor hidrelétrico, altamente dependente das condições climáticas.

Segundo Araújo (2014), para o carvão mineral no Brasil, a arrecadação da CFEM, em 2013, foi de R\$ 14,6 milhões, sendo que a participação por estado produtor foi de 53,8% para Santa Catarina; 40,6% para o Rio Grande do Sul e 5,6% para o Paraná.

Dados históricos da produção de carvão nos estados do Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), disponibilizados pelo Siecsc (2020), apontam uma produção equivalente nos estados de SC e RS entre 2012 e 2020, seguida de longe pelo Paraná (Figura 26). Relativamente à produção total anual em toneladas (Figura 27), a produção média anual do Paraná (1,6%) é irrelevante, e Santa Catarina (57%) supera a produção do Rio Grande do Sul (41,4%) nos últimos 9 anos (2012 a 2020).

Uma possível rota de expansão para a exploração de carvão no estado é representada pela Unidade Morro dos Conventos, composta de duas áreas no município de Araranguá, distantes de 5 a 10 km da sede municipal. Essa unidade tem camadas com as seguintes espessuras (soma das espessuras dos leitos de carvão): Barro Branco (1,53 – 1,65 m), Bonito Superior

(1,02 – 2,05 m) e Pré-Bonito Superior (0,36 – 1,85 m), valores bem maiores que as médias encontradas nas regiões produtoras de Lauro Müller, Criciúma e Içara. Porém, com profundidades médias próximas de 300 m, as pressões elevadas nas minas dificultariam a lavra com os métodos utilizados atualmente no estado, tornando necessária a adoção de novas tecnologias (SÜFFERT, 1997).

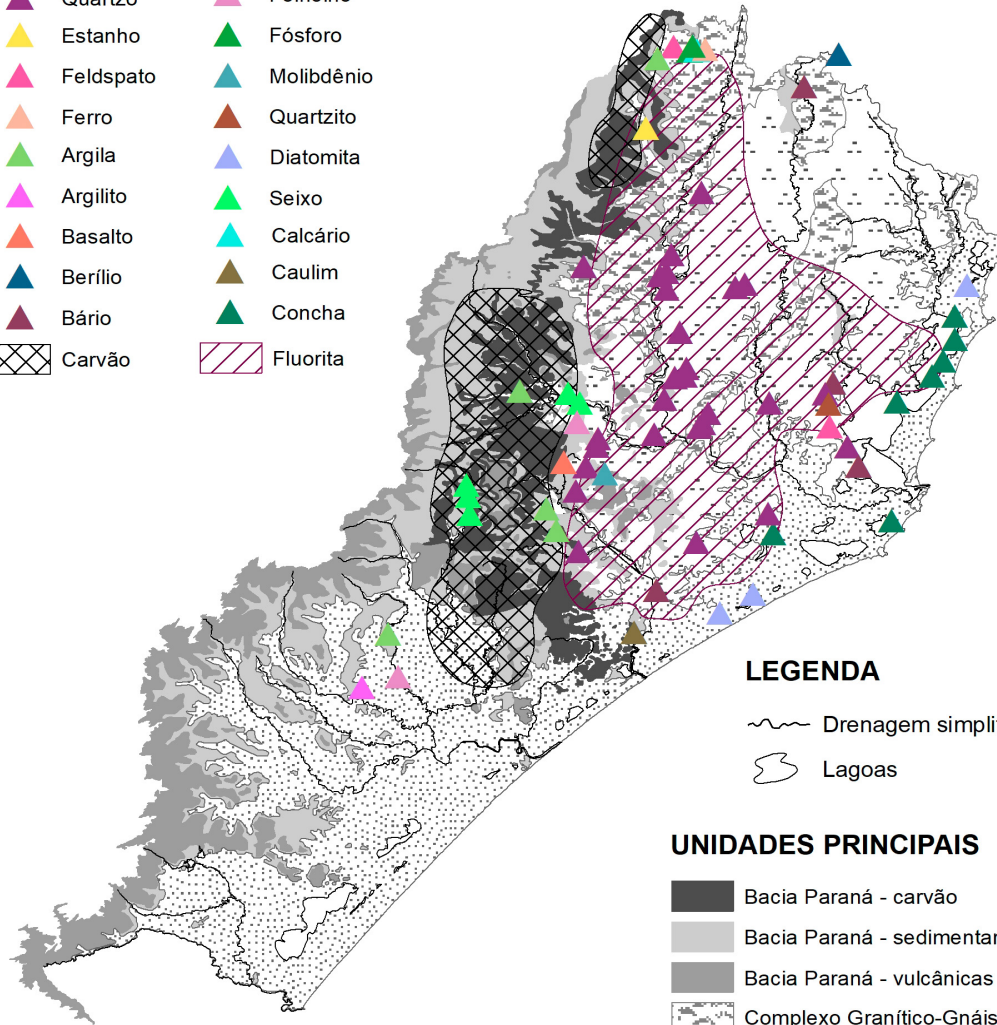
Süffert (1997) acrescenta que as pesquisas na região entre Criciúma e o Oceano Atlântico mostram uma tendência de aumento da movimentação tectônica e da presença de intrusões irregulares de diabásio na direção da margem continental. O detalhamento de tais fenômenos por sondagens e/ou geofísica é caro e impreciso. A travessia e impermeabilização de poços de mina em algumas dezenas de metros de sedimentos inconsolidados é tarefa já dominada pelas técnicas atuais, mas dispendiosa. O ambiente costeiro regional, por outro lado, é ecologicamente frágil, encarecendo as tarefas de preservação ambiental. Além de que a vocação turística das localidades de Morro dos Conventos e de Arroio do Silva tende a favorecer argumentos contrários a qualquer atividade potencialmente nociva. Esses fatores são algumas das razões pelos quais, provavelmente, a expansão da exploração de carvão no sul catarinense não passou da fase de estudos.

Já o Distrito Fluorítico de Santa Catarina estende-se por uma área da ordem de 2.000 km² (SAMPAIO; ANDRADE; BALTAR, 2005). A fluorita está presente em diversos municípios, sendo os mais importantes: Rio Fortuna, Santa Rosa de Lima, Pedras Grandes e Morro da Fumaça, onde se encontram as principais minas de fluorita do Brasil, com teores de CaF₂ variando entre 15% e 68% (PEÇANHA, 2009).

A geologia local é constituída dos granitos Imaruí-Capivari, recortados pelos diques de Riolito Cambirela. Sobre essa estrutura estão depositados os sedimentos da Bacia do Paraná (Formação Rio do Sul, Grupo Itararé), caracterizados por arenitos, siltitos e folhelhos. Toda a sequência está recoberta por basaltos da Formação Serra Geral e recortada por diques de diabásio. As mineralizações de fluorita ocorrem em forma de filões, que preenchem falhas preexistentes. Esses filões apresentam-se, geralmente, inclinados, com possanças e comprimentos variados, cortando todas as litologias, encaixando-se preferencialmente nos granitos e estreitando-se ao penetrarem as rochas sedimentares e os basaltos (SAMPAIO; ANDRADE; BALTAR, 2005).

RECURSOS MINERAIS

- | | |
|-------------|--------------|
| ▲ Quartzo | ▲ Folhelho |
| ▲ Estanho | ▲ Fósforo |
| ▲ Feldspato | ▲ Molibdênio |
| ▲ Ferro | ▲ Quartzito |
| ▲ Argila | ▲ Diatomita |
| ▲ Argilito | ▲ Seixo |
| ▲ Basalto | ▲ Calcário |
| ▲ Berílio | ▲ Caulim |
| ▲ Bário | ▲ Concha |
| ▨ Carvão | ▨ Fluorita |



LEGENDA

- ~ Drenagem simplificada
- ☁ Lagoas

UNIDADES PRINCIPAIS

- Bacia Paraná - carvão
- Bacia Paraná - sedimentar
- Bacia Paraná - vulcânicas Serra Geral
- ▨ Complexo Granítico-Gnáissico
- ▨ Granitóides
- ▨ Quaternário

Figura 25 - Localização dos registros de recursos minerais sobre base geológica simplificada. Fonte: modificado de SGB-CPRM (2014); Viero; Silva (2016).

Produção de ROM (ton)

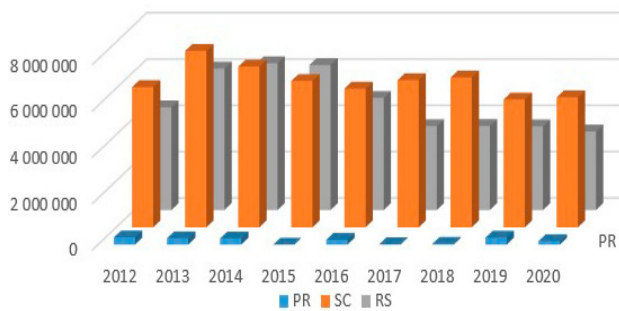


Figura 26 - Produção total anual de carvão nos estados (em toneladas). Fonte: modificado de Siecesc (2020).

Produção de ROM (ton)

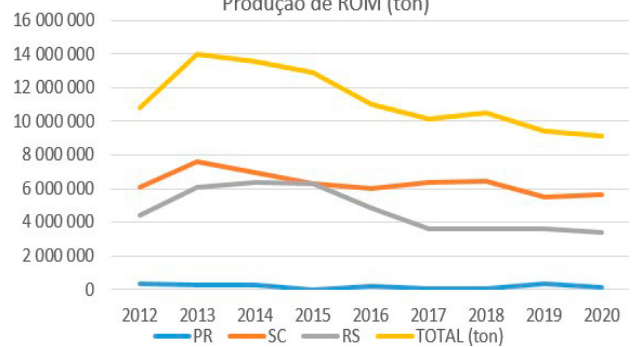


Figura 27 - Evolução da produção total anual de carvão (em toneladas). Fonte: modificado de Siecesc (2020).

Diversas hipóteses genéticas foram aventadas para os filões de fluorita de SC, relacionando ao magmatismo granítico, porém, o caráter posterior da mineralização, que corta diques de diabásio datados em 88 Ma pelo método K-Ar e em 131 Ma pelo método Rb-Sr (TEIXEIRA, 1969), descarta essa hipótese (DARDENNE; SAVI, 1987). A relação com os magmatismos alcalinos de Anitápolis (± 120 Ma) ou de Lages (± 65 Ma), defendida por Horbach e Marimon (1980; 1982), é fundamentada em estudos tectônicos em escala regional, mas carece de dados geoquímicos essenciais, como a semelhança no conteúdo de terras-raras, caso a origem dos filões fosse relacionada aos fluidos hidrotermais da fase magmática residual carbonática, o que não é o caso (DARDENNE; SAVI, 1987).

Assim sendo, a hipótese genética defendida por Dardenne e Savi (1987), para os filões Segunda Linha Torrens e Cocal, é a favor do rifteamento ocorrido quando da abertura do Atlântico Sul no Cretáceo, que propiciou a infiltração de águas meteóricas e conatas, aquecidas em profundidade, provocando lixiviação de sílica, flúor e bário dos granitos calcioalcalinos (principalmente das biotitas) e, no fim de sua ascensão em direção à superfície, teria precipitado a fluorita junto à calcedônia e à barita, ao nível da discordância delimitada pela base dos sedimentos Itararé.

A fluorita é utilizada como matéria-prima para obtenção de diversos produtos nas áreas da química, metalurgia, cerâmica, dentre outras. A produção brasileira de fluorita beneficiada, em 2003, foi de 56 mil toneladas, distribuída entre o grau ácido (61%) e o grau metalúrgico (39%). A demanda interna de fluorita depende das produções de ácido fluorídrico, aço e alumínio. No Brasil, os estados produtores eram Santa Catarina com 80% e Rio de Janeiro com 20% (SAMPAIO; ANDRADE; BALTAR, 2005).

As reservas brasileiras de fluorita localizam-se nos estados de Santa Catarina (62%), Paraná (25%) e Rio de Janeiro (12%) (PEÇANHA, 2011).

Em 2008, eram três as empresas que se encontravam em atividade de lavra e beneficiamento em SC, e duas as usinas de beneficiamento em atividade, a Cia. Nitro Química Brasileira, localizada junto à Mina III; e a N. Sra. do Carmo, junto à antiga Mina São Pedro, ambas em Morro da Fumaça. Em agosto de 2009, a Cia. Nitro Química Brasileira (Grupo Votorantim) paralisou as atividades das minas de Rio Fortuna e de Santa Rosa de Lima e continuou produzindo na usina de

beneficiamento de Morro da Fumaça, processando os estoques e o concentrado da barragem de rejeito até o final de 2010. Segundo Peçanha (2011), as minas de fluorita de Rio Fortuna e de Santa Rosa de Lima, que representavam 160.000 t ROM/ano, continuam paralisadas.

Segundo a ANM (2017), a produção de fluorita beneficiada em 2016 teve um total de 18.260 toneladas, sendo 6.291 toneladas de fluorita grau ácido e 11.970 de fluorita grau metalúrgico. Segundo o último Sumário Mineral publicado em 2017 (ANM, 2017), as empresas em atuação exploram a mina subterrânea em Tanguá (RJ) e a céu aberto em Cerro Azul (PR). Por não constarem dados sobre exploração ou beneficiamento de fluorita em SC, fica subentendido que a produção continua paralisada.

DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

O termo drenagem ácida de mina (DAM) é geralmente utilizado para designar os impactos da oxidação da pirita (FeS_2), caracterizados por baixos valores de pH (que podem ser inferiores a 3,5), altas concentrações de sulfato (podendo chegar a 2000 mg/L), e cátions metálicos em solução em concentrações superiores àquelas encontradas em ambientes naturais (MELO; DUARTE; LADEIRA, 2014), e que se manifestam sobre os recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

A geração de DAM tem início quando rochas contendo sulfetos são retiradas do subsolo pelas atividades de mineração. Cavas expostas ou depósitos de rejeitos, expondo os minerais sulfetados em superfície, são oxidados por meio de reações com a água e o oxigênio atmosférico.

Em minas subterrâneas, sem o contato com o ar, a pirita é estável e insolúvel, portanto é desejável que a situação do meio permaneça nesta condição. Em minas onde há mobilização e retirada do material do subsolo, há introdução de oxigênio no ambiente (injetado, para saúde dos trabalhadores), então há geração de DAM. Mesmo após o término das atividades, o processo, uma vez iniciado, mantém-se contínuo por muitos anos, a menos que se substitua o ar das galerias por água, e se impeça a entrada de ar ou água meteórica. Essa providência diminui a DAM, mas isoladamente também não resolve o problema a curto ou médio prazo.

Na cava de mineração ou num depósito de rejeitos, os sulfetos tendem a alterar-se formando zonas de aeração e de cimentação a partir da zona hipógena, que é isenta da influência da água ou do ar e contém

os sulfetos inalterados. A formação de sulfetos secundários ocorre pela circulação de água de infiltração durante as chuvas, fazendo com que os sulfatos formados sejam lixiviados para baixo no perfil, isto é, solubilizados e transportados da zona de oxidação (aeração) até a zona de cimentação.

As reações mais prováveis de ocorrer nesta zona são entre um sulfeto primário e um sulfato de um elemento mais calcófilo, do que aquele do sulfeto primário. Essa substituição obedece ao maior grau de calcofilia, ou seja, a maior afinidade de um cátion pelo íon sulfeto em detrimento de outro cátion; e o grau de calcofilia dos elementos químicos varia com o pH e o Eh (potencial de oxirredução) do ambiente.

Porém, existem vários tipos de reações que formam sulfetos supérgenos por oxidação incipiente, formando estágios intermediários de alterações desde os sulfetos primários da zona hipógena até os oxissais ou óxidos e hidróxidos da zona de oxidação.

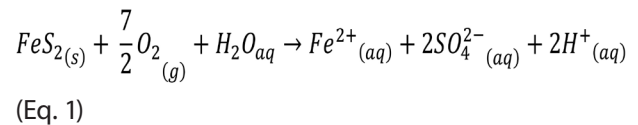
Quando águas subterrâneas pouco aeradas atingem a superfície nas bocas de mina, entrando em contato com o ar, o seu nível bastante elevado de Fe^{2+} solúvel é convertido em Fe^{3+} insolúvel, formando-se um precipitado alaranjado de $Fe(OH)_3$. Nas bocas de mina, o íon Fe^{3+} é solúvel em água altamente ácida que é produzida inicialmente, e parte da oxidação do íon dissulfeto (S_2^{2-}) para sulfato ($2SO_4^{2-}$) é efetuada pela ação do Fe^{3+} como agente oxidante no lugar do O_2 .

Com o distanciamento da fonte geradora, uma vez que a drenagem ácida torna-se mais diluída, elevando seu pH, forma-se o precipitado alaranjando $Fe(OH)_3$, e a entrada de cada vez mais O_2 no sistema modifica o meio e as reações dominantes.

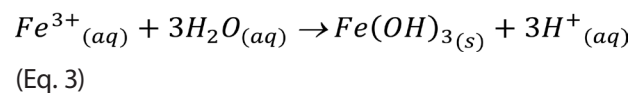
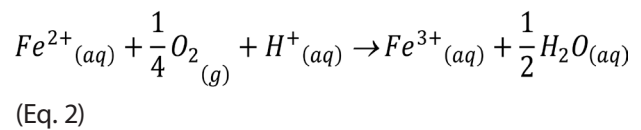
A pirita e a marcassita, ambos bissulfetos de ferro (FeS_2), são os principais geradores de DAM por três motivos: são os mais abundantes; ocorrem numa vasta gama de rochas; e pelo fato das reações de oxidação da pirita serem ilimitadas em condições atmosféricas (MELO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

Geração de Acidez

Como resultado da mineração e da exposição ao oxigênio, parte da pirita é oxidada e solubilizada. Nessa situação, duas reações redox são possíveis, tendo como agentes de oxidação o O_2 ou Fe^{3+} , ou ambos. O processo inicia com a reação redox global de oxidação do ferro e do enxofre por meio do O_2 (Equação 1), que pode ser mediada pela ação das bactérias *Thiobacillus thiooxidans*, produzindo 2 moles de H^+ por 1 mol de pirita:

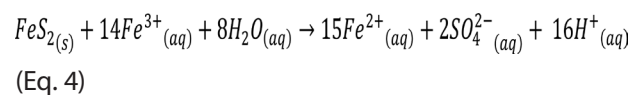


Na sequência, Fe^{2+} é oxidado a Fe^{3+} (Equação 2) que, por hidrólise, produz hidróxido férrico, sendo que os prótons liberados tornam o meio ácido (Equação 3) (SINGER; STUMM, 1970):



A etapa de oxidação do Fe é considerada limitante do processo, pois ocorre lentamente em meio abiótico. No entanto, pode ser acelerada pela ação de bactérias presentes naturalmente em ambientes aquáticos, e que se desenvolvem melhor em condições de pH entre 2,8 e 3,2 (MELO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

Em valores de pH próximos ou inferiores a 2,3, a hidrólise (Equação 3) praticamente não ocorre, assim aumenta a concentração de Fe^{3+} no meio, que oxida a pirita de acordo com a seguinte equação:



Esta reação é abiológica, ocorre em pH baixo, tem como agente de oxidação o Fe^{3+} e libera 16 moles de H^+ para cada mole de pirita. Obviamente, o processo dominante será determinante na capacidade de geração de drenagem ácida do sistema.

A relação molar entre SO_4^{2-} e H^+ da Equação 1 é 1:1, ao passo que na Equação 4 essa relação é 1:8. As relações podem ser utilizadas para identificar o mecanismo predominante e indicar a necessidade ou não da presença de O_2 para a oxidação da pirita, o que teria importantes implicações práticas no controle da drenagem ácida (MELO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

Com base em dados experimentais na faixa de pH entre 2 e 10, obtidos por Williamson e Rimstid (1994), Langmuir (1997) explica que na faixa de pH situada entre 0,5 e 3,0, quando o Fe^{3+} é o agente de oxidação

e o O_2 é ausente, a cinética da reação é muito mais rápida do que na presença exclusiva do O_2 . A cinética aumenta ainda mais na presença de ambos os agentes oxidantes (O_2 e Fe^{3+}). Os autores citam, como exemplo, uma situação em que o meio tem pH 2 e, na presença de pouco O_2 , o tempo para a destruição da pirita é de 780 anos; elevando o nível de O_2 , o tempo cai para 16 dias, ao passo que na presença de Fe^{3+} em excesso, o tempo necessário pode cair para 4,4 dias e, na presença de ambos O_2 e Fe^{3+} , o tempo chega a cair para 2,1 dias, dependendo da quantidade e proporção entre Fe^{2+} e Fe^{3+} no meio.

Ação de bactérias

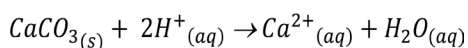
A ação de bactérias aeróbicas atua no sentido de incrementar as taxas das reações abióticas. O seu crescimento pode produzir acidez de 10% H_2SO_4 , o que chega ao ponto de baixar o pH a zero (MANAHAN, 1994); ou também aumentar em 200 vezes ou mais o Fe dissolvido da pirita (KARAMENKO, 1969).

As thiobactérias são responsáveis por oxidar S a partir de sulfetos, proteínas e S elementar, produzindo sulfato e acidez. Elas são autotróficas (obtem carbono das espécies de carbonato) e aeróbicas (requerem oxigênio), portanto são mais importantes nos ambientes oxigenados, onde as taxas de reação abiótica são menores (LANGMUIR, 1997).

Já no caso das bactérias oxidantes do Fe, todas são aeróbicas, podendo ser autotróficas, heterotróficas (necessitam de C orgânico) ou facultativas (obtem C de qualquer fonte). São favorecidas no intervalo de pH entre 5 e 8, o mesmo em que as taxas de oxidação são mais rápidas e os produtos da oxidação são precipitados, podendo oxidar também Mn^{2+} à MnO_2 . Kim (1968) demonstrou, em um experimento com águas ácidas de minas, que continham níveis naturais de bactérias oxidantes de Fe, aberto à atmosfera e com tempos de reação de 24 horas entre as amostragens, que as taxas de reação chegaram a ser 5.500 vezes mais rápidas do que as taxas abióticas.

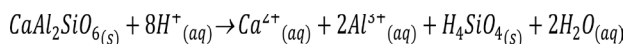
Agentes neutralizantes

Além das reações que tornam o meio ácido, na presença de minerais carbonatados pode ocorrer a dissolução que consome H^+ e neutraliza a acidez, conforme a equação:

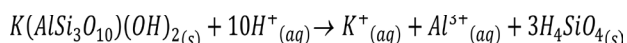


(Eq. 5)

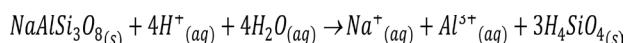
Já as reações de hidrólise de minerais contendo silício (Equações 6 - 9), presentes nas rochas, também podem neutralizar a acidez, no entanto, esses minerais decompõem-se muito mais lentamente que os carbonatos.



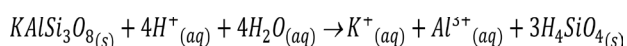
(Eq. 6) (piroxênio)



(Eq. 7) (muscovita)



(Eq. 8) (albita)



(Eq. 9) (microclínio)

A presença de compostos capazes de produzir alcalinidade nas rochas não deve afetar proporcionalmente à qualidade da drenagem, uma vez que as velocidades das reações, nas quais as fases sólidas são convertidas em espécies iônicas, são muito mais lentas, além de que as reações produtoras de alcalinidade são limitadas pela solubilidade dos carbonatos (MELO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

A ação de bactérias também pode reduzir o impacto causado pela DAM. A atenuação das concentrações de metais, com a distância do ponto gerador, também ocorre devido à redução bacteriana do sulfato, além do aporte de rios com águas de boa qualidade, razões pelas quais, apesar do impacto provocado pela DAM, o sistema tende a se recuperar a certa distância do foco de geração.

Edraki *et al.* (2005) observaram que as concentrações dos metais atenuam-se com a distância e que, cerca de 20 km a jusante da fonte de contaminação, os metais já podem estar próximos aos limites de detecção e semelhantes aos valores de fundo, apesar dos níveis de acidez manterem-se altos. Knöller *et al.* (2004) verificaram um processo altamente eficaz de redução bacteriana do sulfato, que aumentava na direção de fluxo de águas subterrâneas, de modo que a uma distância de fluxo relativamente curta (menos de 1,5 km) o sulfato diminui para 1/20º da concentração original.

A redução biológica do sulfato pode ser realizada pelos metabolismos assimilatório e dissimilatário. No

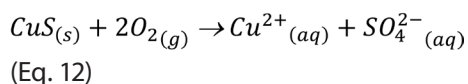
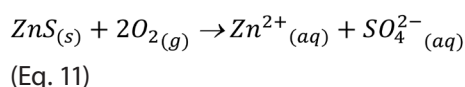
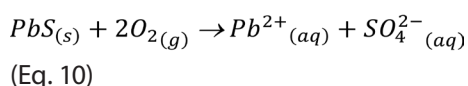
primeiro, o enxofre é incorporado no crescimento celular, sínteses proteicas e em alguns cofatores, tais como biotina e aminoácidos (como cisteína e metionina) (POSTGATE, 1984). Já no metabolismo dissimilatório, as bactérias SO_4 -redutoras utilizam o sulfato como aceptor de elétrons na respiração anaeróbia celular, o sulfato é reduzido a sulfeto de hidrogênio e excretado no meio sob condições anaeróbias (SÁNCHEZ-ANDREA *et al.*, 2014). Estima-se que o metabolismo dissimilatório utilize de 10 a 100 vezes mais enxofre que o assimilatório (POSTGATE, 1965).

Isto mostra que, apesar do alto impacto provocado pela DAM, o sistema tende a se recuperar a alguma distância do foco gerador de DAM, dependendo muito das características do meio aquático, tais como declividade, carga (vazão x concentração), pH, Eh, temperatura, se há aporte de tributários de melhor qualidade, ou outras fontes de contaminação a jusante, etc.

Informações a respeito da composição do rejeito e do material estéril, além do reconhecimento dos processos atuantes, se os agentes de oxidação seriam o O_2 ou Fe^{3+} ou ambos, são úteis no gerenciamento ambiental, pois cada condição local exige uma solução. Dentre as técnicas de recuperação ambiental, que vem sendo empregadas, tem-se: tratamento passivo, tratamento químico, tamponamento, preenchimento *backfill* (enchimento de galerias com rejeitos ou misturas com outros materiais), conformação e drenagem, cobertura seca e encapsulamento. Atualmente, na área, a técnica mais utilizada é a cobertura seca com argilas, restringindo o acesso de ar e água para impedir a oxidação da pirita.

Geração de DAM em outros tipos de depósitos sulfetados

A oxidação de outros sulfetos de Fe, como pirrotita (FeS), arsenopirita ($AsFeS$) e calcopirita ($CuFeS_2$), também pode gerar soluções ácidas, porém nem todos os minerais sulfetados sofrem hidrólise ácida. Sulfetos, como galena (PbS), esfalerita (ZnS) e calcocita (CuS), não sofrem oxidação ácida, conforme ilustram os equilíbrios (Equações 10 - 12) (MELO; DIAS; CORREA, 2003):



Então, no que se refere aos filões de fluorita do sul catarinense, com base em dados dos filões de Segunda Linha Torrens e Cocal, ocorrem intimamente associados à calcedônia, tendo como minerais acessórios mais comuns à barita, o quartzo, a pirita, a caolinita e, mais raramente, a galena (DARDENNE; SAVI, 1984). A geração de acidez, neste contexto, é mais restrita, apesar de haver minas de fluorita exploradas na porção norte da área. Sua ocorrência mais restrita em forma de filões e a presença secundária de sulfetos (predominam materiais inertes, como a calcedônia, variedade criptocristalina de quartzo), colocam a atividade mineira em segundo plano, no que diz respeito à geração de DAM, se comparada à do carvão.

No beneficiamento da fluorita, os sais carboxílicos de bário, formados na superfície do mineral e que aparecem em pequenas quantidades, são solubilizados por aquecimento a temperaturas de até 90°C. Quando há sulfetos no minério, a remoção dos sulfetos de chumbo se dá por flotação, seguida da remoção do zinco com cianeto ou dicromato de potássio (SAMPAIO; ANDRADE; BALTAR, 2005).

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de amostragem geoquímica de baixa densidade prevista, para análises multielementares em diferentes materiais, incluiu os sedimentos de corrente e águas de drenagens em pontos representativos de sub-bacias hidrográficas inferiores a 100 km², e os solos superficial (5 - 20 cm) e subsuperficial (20 - 40 cm), em pelo menos dois pontos, aproximadamente centralizados e equidistantes, em cada folha de 1:50.000. Os trabalhos de campo foram executados de 25 de novembro a 13 de dezembro de 2017 e de 3 a 19 de julho de 2018, enfocando as regiões sul e norte da área, respectivamente.

Neste estudo, as coletas de água e sedimento foram acompanhadas por medição de vazão, para posterior cálculo das cargas elementares.

Amostragem

Na Mesorregião Sul Catarinense foram coletadas 74 amostras de águas de drenagem, 74 amostras de sedimentos de corrente e 35 amostras de solos em dois horizontes, abrangendo uma área de 10.827 km². Tais dados compuseram as seguintes densidades médias amostrais:

- Sedimento de corrente: 0,68 amostra / 100 km²
- Águas de drenagem: 0,68 amostra / 100 km²
- Solo: 2,4 amostras / folha de 1:50.000 (756,3 km²)

Sedimento de corrente

Os sedimentos de corrente foram coletados no canal ativo da drenagem, abaixo do nível de água, em trechos sub-retilíneos. A coleta foi realizada de forma composta, numa faixa de 10 m ao longo da drenagem, a montante do acesso, com um peneiramento prévio *in loco* em peneira de nylon na fração < 32 mesh (0,5 mm) (Figuras 28 e 29).

No caso dos rios de maior porte, onde não foi possível acesso pelas margens, o sedimento de fundo foi coletado com draga de aço inox (Figuras 30 e 31).



Figura 28 - Coleta de amostras de sedimentos de corrente. Fonte: acervo do projeto.



Figura 29 - Material plástico utilizado na coleta de amostras de sedimentos de corrente. Ponto MF-S-011, Rio Manoel Alves. Fonte: acervo do projeto.



Figura 30 - Draga de inox para coleta de sedimento. Ponto EV-S-011, Canal Urussanga. Fonte: acervo do projeto.



Figura 31 - Sedimento de fundo coletado com draga. Ponto EV-S-011, Canal Urussanga. Fonte: acervo do projeto.

Água superficial

A coleta de água nas drenagens foi realizada previamente e no mesmo local da coleta do sedimento de corrente. Foram observados *in situ* parâmetros de temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD), com o uso de duas sondas multiparamétricas, OAKTON WP 650 e *Aquaread AP-800*, que acrescenta aos parâmetros acima mencionados o potencial de oxirredução (Eh) (Figura 32).



Figura 32 - Medição de qualidade da água *in situ*. Fonte: acervo do projeto.

O procedimento de coleta e preservação das amostras de água seguiu as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (STANDARD, 2001), publicado pela *American Public Health Association* (APHA).

Em cada ponto, foram coletadas duas amostras separadas, em frascos de polietileno, para análise dos parâmetros físico-químicos, acidez, sulfatos e cloretos, em laboratório (tubo de 1000 ml), e outra filtrada e acidificada com HCl 2% para análise dos cátions (100 ml). O procedimento consistiu em encher a seringa sem o filtro, anexar o filtro (malha com abertura de 0.45 µm) na ponta da seringa e filtrar a água para o tubo, repetindo a operação até o volume de 100 ml. Tanto a seringa quanto os tubos foram previamente ambientados (com água do próprio rio) antes de iniciar a filtragem da água. O tipo de preservação adotado para os cátions levou em consideração recomendações de Nollet (2007) para análise de Fe²⁺ (Method 3500-FeB) (STANDARD, 2001).

Todas as amostras foram estocadas em caixas de isopor, com bolsas térmicas previamente congeladas, e permaneceram obrigatoriamente refrigeradas até o momento da análise laboratorial, no prazo máximo de sete dias da coleta. Para tal, as amostras seguiram via aérea para o CECOPOMIN, Laboratório do SGB-CPRM em São Paulo.

A medição da vazão foi realizada a vau na maioria dos cursos de água, com o uso de micromolinete acústico, marca *Sontek*, modelo *Flow Tracker* (Figura 33 e 34), que é baseado na velocidade da hélice presa a uma haste.



Figura 33 - Medidor de vazão acoplado a haste do micromolinete. Fonte: acervo do projeto.



Figura 34 - Medição de vazão a vau. Fonte: acervo do projeto.

No caso dos rios de maior porte, próximo à foz dos rios principais, foi utilizado o método ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) ou Correntômetro Acústico de Efeito Doppler, que se baseia na velocidade das partículas em suspensão, que é a mesma do fluxo do rio. O equipamento (RDI - River Ray) emite uma frequência de onda sonora (600kHz ou 1200kHz), que sofre alteração em seu comprimento de onda (modificando a frequência) ao ser refletido por partículas em suspensão na água e no leito do rio; o sinal de retorno é usado para estimar o deslocamento relativo do alvo (partículas em suspensão e leito do rio) em relação à fonte (fixa na prancha, marca SonTek, modelo M9) (Figuras 35 e 36).



Figura 35 - Medidores de qualidade da água e prancha de medição de vazão. Ponto EV-S-011, Canal Urussanga. Fonte: acervo do projeto.



Figura 36 - Medição de vazão por ADCP. Ponto EV-S-011, Canal Urussanga. Fonte: acervo do projeto.

A relação da concentração elementar (mg/L) das amostras de águas superficiais, com a vazão medida em campo (L/s), permitiu o cálculo da carga de cada elemento teoricamente transportada pela drenagem, de acordo com a fórmula:

$$\text{Carga} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = \text{Concentração} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{Vazão} \left(\frac{\text{L}}{\text{s}} \right) \times 0,0036$$

A localização das estações de medição de vazão e de coleta de amostras de sedimentos de corrente e águas de drenagem é exposta na Figura 37.

Solo

As amostras de solo foram coletadas preferencialmente no horizonte B, em áreas de solo residual, sem sinais de deslocamento ou uso na agricultura; a localização das estações de amostragem é exposta na Figura 38. Foram escolhidos perfis expostos, evitando a porção superficial orgânica, com amostragem realizada em duas alíquotas, superficial nos primeiros 20 cm e subsuperficial de 20 a 40 cm (Figura 39 e 40). O peneiramento prévio *in loco*, em peneiras de nylon na fração < 32 mesh (0,5 mm), foi realizado evitando a presença de material vegetal.

Análises químicas

As amostras de solos e sedimentos de corrente foram secas em estufa a 40°C e peneiradas na fração < 80 mesh (0,177 mm), previamente à extração com água-régia (HNO₃/HCl concentrados – 3:1) (USEPA, 2007), que visa determinar o potencial de disponibilidade e mobilidade dos metais pesados (RAURET, 1998).

As análises químicas em sedimentos e solos foram realizadas por ICP-OES ou ICP-MS, contemplando 53 elementos (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr), pela SGS Geosol.

O método 3051A (USEPA 2007), utilizado para análise de sedimentos e solos, consiste na extração com ácido nítrico (HNO₃) ou, alternativamente, ácido nítrico e ácido clorídrico (HCl), para melhorar o desempenho de certos analitos, como antimônio, ferro, alumínio e prata, pela adição do ácido clorídrico, quando necessário. Esses métodos não se destinam a realizar decomposição total da amostra, por isto, dependendo da força de ligação dos elementos químicos com a matriz cristalina, os resultados da extração com água-régia aproximam-se de concentrações parciais ou totais.

As águas de drenagem foram analisadas no CECOPOMIN/SGB-CPRM/SP, para parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica e acidez), 29 cátions (Al³⁺, As³⁺, B³⁺, Ba²⁺, Be²⁺, Ca²⁺, Cd²⁺, Co²⁺, Cr³⁺, Cu²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Hg²⁺, K⁺, Li⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Mo⁴⁺, Na⁺, Ni²⁺, Pb²⁺, Sb³⁺, Se⁴⁺, Si⁴⁺, Sn²⁺, Sr²⁺, Ti⁴⁺, V⁵⁺, Zn²⁺), e 2 ânions (SO₄²⁻ e Cl⁻). Desses, 11 parâmetros estiveram abaixo do limite de quantificação: As³⁺, Be²⁺, Cd²⁺, Cr³⁺, Hg²⁺, Mo⁴⁺, Pb²⁺, Sb³⁺, Se⁴⁺, Sn²⁺, V⁵⁺, por isso, não possuem mapas. Um resumo das metodologias utilizadas é exposto na Tabela 12.

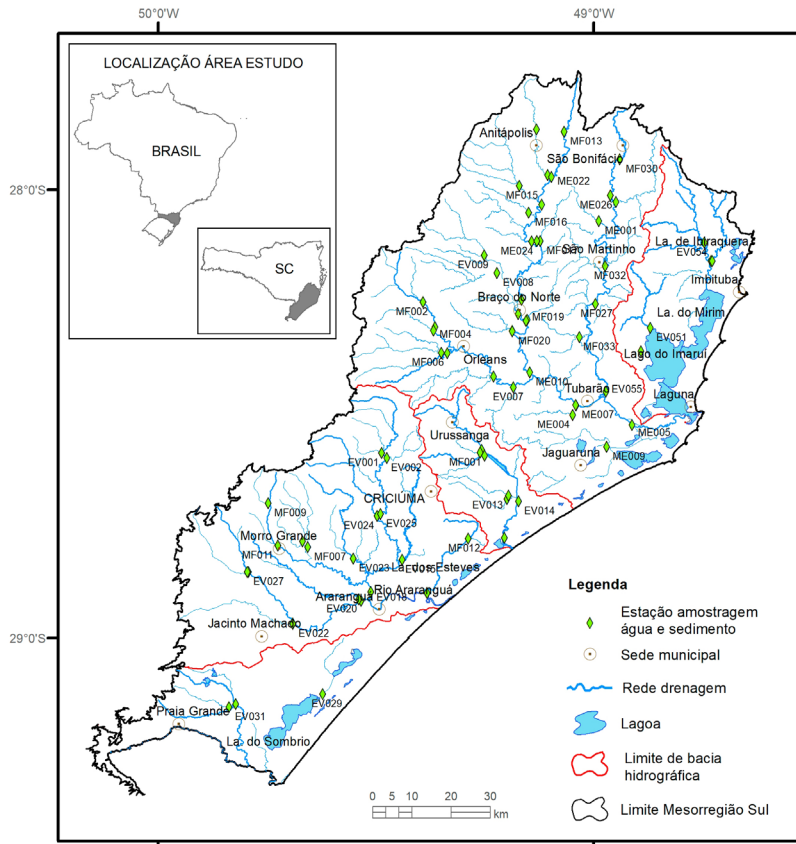


Figura 37 - Mapa de localização dos pontos de amostragem de sedimentos de corrente, águas de drenagem e vazão. Fonte: elaborado pela autora.

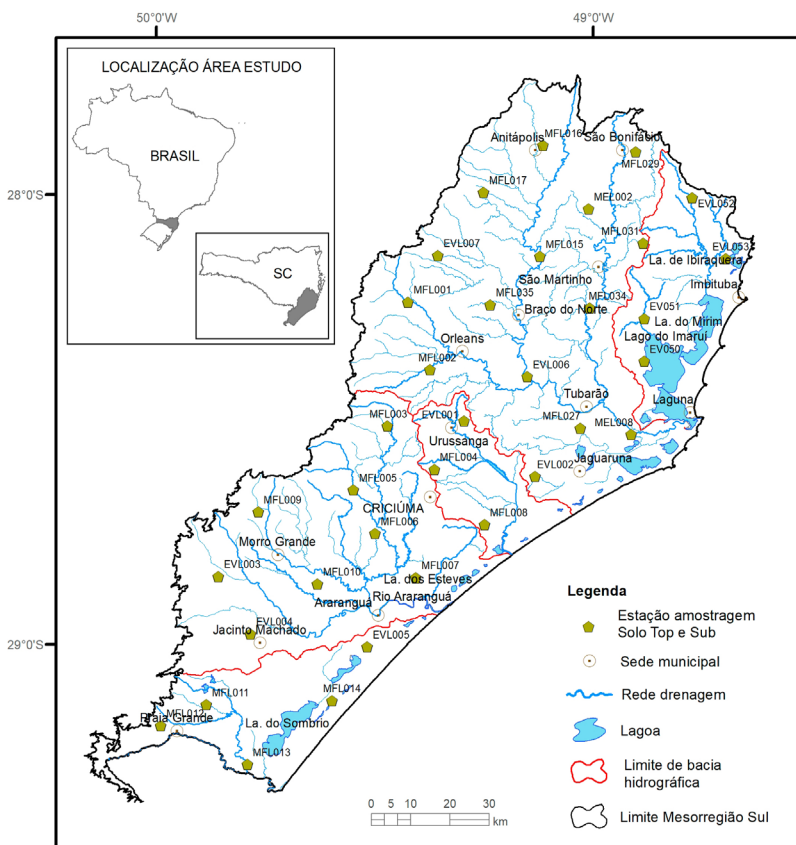


Figura 38 - Mapa de localização dos pontos de amostragem de solo. Fonte: elaborado pela autora.



Figura 39 - Coleta de amostra de solo com auxílio do martelo de aço inox e bandeja plástica. Fonte: acervo do projeto.



Figura 40 - Detalhe dos horizontes de solo amostrados. Fonte: acervo do projeto.

TABELA 12
Resumo das metodologias adotadas em águas.

TIPOS	PARÂMETRO	UNIDADE	MÉTODO ANALÍTICO
FÍSICO-QUÍMICOS	pH	-	pHmetro/Potenciometria Método 4500-H+ (STANDARD, 2001).
	Condutividade Elétrica	μS/cm	Condutivímetro. Método 2510B (STANDARD, 2001).
	Acidez	CaCO ₃ mg/L	Potenciometria com eletrodo combinado Método 2320 (STANDARD, 2001).
ÂNIONS	Sulfato	mg/L	Gravimetria, análise clássica.
	Cloreto Total	mg/L	Kit Spectroquant® Chloride Test - No. Cat. 1.01807.0001
METAIS	Metais	mg/L	ICP-OES (IT-03-06-01, Ref SMEWW 3120).
	Ferro II	mg /L	Kit Spectroquant® Iron Cell Test – No. Cat. 114896.0001
	Merúrio	mg/L	Espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio. Método 3112B.

Tratamento estatístico

O processamento dos dados de exploração geoquímica envolve as etapas de seleção e triagem de resultados, análise estatística e a preparação de mapas. A etapa de seleção e triagem inclui a identificação dos elementos químicos que apresentaram resultados de concentração acima dos limites de detecção (sedimento, solos) ou de quantificação (águas), o controle de qualidade dos resultados analíticos e a observação da distribuição dos elementos, que se faz aplicando-se técnicas estatísticas em etapas sucessivas.

As análises estatísticas empregadas neste estudo compreendem métodos descritivos de análise univariada (máximo, mínimo, média, mediana, desvio-padrão), de distribuição dos elementos (quartis, percentis, histograma, *boxplot*), geoestatística (interpolação ou representação espacial em mapas) e, eventualmente, técnicas estatísticas bivariadas (correlações) e multivariadas (análise de componentes principais).

A observação dos dados geoquímicos em histogramas demonstra que, geralmente, estes possuem uma distribuição assimétrica positiva, contanto que os valores extremos superiores sejam minoria, o que é a tendência mais comum. Por serem dados que não seguem uma distribuição normal, são recomendados métodos da estatística robusta, baseados na distribuição percentual das classes de valores, onde se utiliza a mediana (percentil de 50%) como medida de tendência central, em vez da média.

O conceito de *background* e os métodos dos quais derivam esses valores são ainda matéria de discussão (SALOMÃO *et al.*, 2019). Entretanto, tem sido geralmente aceito que o *background* geoquímico (ou natural) corresponde à concentração dos elementos químicos em um determinado ambiente que não foi influenciado por atividades antropogênicas (REIMANN *et al.*, 2005).

Contrastando com o conceito de *background*, tem-se o conceito de anomalia geoquímica, que seria um desvio dos padrões geoquímicos considerados normais para um determinado espaço geoquímico (LICHT, 1998). O valor que distingue os teores de anomalia é denominado limiar (*threshold*), que seria o valor acima do qual o teor de uma dada amostra é considerado anômalo.

A seleção do método de classificação dos resultados em mapa baseia-se nos preceitos de prospecção

geoquímica, onde os métodos para determinação de *background* e de anomalias geoquímicas são baseados em análise estatística.

Em estatística, os valores extremos de uma população são chamados de *outliers*, o que no caso dos dados geoquímicos correspondem aos teores anômalos de uma determinada área. Geralmente, os geoquímicos estão interessados em *outliers* porque indicam processos geoquímicos raros, tais como alvos de mineralização ou contaminação ambiental (REIMANN *et al.*, 2005). Seja qual for a motivação, prospectiva ou ambiental, trata-se de separar valores considerados normais de valores incomuns.

Atualmente, uma das técnicas robustas mais reconhecidas para a estimativa do intervalo de *background*, bem como dos limiares de anomalias, é o método *Tukey's Inner Fences* (TIF) (REIMANN *et al.*, 2005; REIMANN *et al.*, 2008; SALOMON *et al.*, 2019), que também produz uma boa visualização, razão pela qual este estudo opta por ele para a divisão das classes dos mapas geoquímicos.

O método *Tukey's Inner Fences* (TIF), também conhecido como *Boxplot*, divide os valores ordenados em quatro partes iguais, delimitando um bloco central com os percentis de 25% (P25) e 75% (P75), que abrange 50% dos dados (intervalo interquartil – IQR) e é representado pela mediana (P50). Esse método demarca duas *fences* ou cercas, destinadas a delimitar os limiares de anomalias, uma inferior ou *Low Inner Fence* (LIF) e outra superior, que corresponde ao *Upper Inner Fence* (UIF), ou limiar acima do qual qualquer valor é definido como *outlier* (anomalia). Os critérios para definição do UIF são definidos em função dos alvos de investigação, podendo ser tanto mais restritivos quanto os objetivos propostos, daí a distinção entre anomalias de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordens, aplicadas em prospecção geoquímica. Vale salientar que o método separa o intervalo de *background* dos limiares de anomalias.

Este estudo utilizou a separação definida pelo método TIF, baseada nos quartis percentuais, para a classificação dos dados geoquímicos em mapas. Em todos os casos, foram utilizados o 1º, 2º (mediana) e 3º quartis (25%, 50% e 75%), sendo a última classe definida pelo UIF (acima do qual se tem os *outliers*), sempre que o número de valores detectados for maior que 75%. Quando a participação dos elementos abaixo dos limites de detecção situou-se entre 25% e 75%, as últimas classes foram representadas pelos percentis de 90% e 98%, conforme resumido na Tabela 13.

TABELA 13

Intervalos de classe em função da proporção de amostras detectadas.

> 75% DETECTADOS	ENTRE 25 - 75% DETECTADOS	< 25% DETECTADOS
Mínimo - Percentil 25%	Mínimo - Mediana 50%	Quebras Naturais (Simbologia)
Percentil 25% - Mediana - 50%	Mediana 50% - Percentil 75%	
Mediana 50% - Percentil 75%	Percentil 75% - Percentil 90%	
Percentil 75% - UIF	Percentil 90% - Percentil 98%	
UIF - Máximo	Percentil 98% - Máximo	

Os mapas geoquímicos são apresentados através de simbologia gradativa nos pontos de origem (águas) ou superfície interpolada (sedimentos de corrente). No caso dos solos, foram empregados ambos os tipos, para representar os solos superficiais (simbologia gradativa) e subsuperficiais (interpolada) em um único mapa. Todos os mapas geoquímicos apresentam a distribuição estatística de formas gráfica (histogramas e *boxplot*) e tabular (média aritmética, mediana, desvio-padrão), além dos limites de toxicidade (nacionais ou internacionais) e valores de referência para cada tipo de material e elemento químico.

A interpolação de dados geoquímicos para apresentação em mapas consiste num procedimento matemático de ajuste de uma função a pontos não amostrados, baseando-se em valores obtidos em pontos amostrados, procedimento que é comumente utilizado para representar dados ou variáveis contínuas, como os resultados geoquímicos obtidos a partir de solos residuais não transportados.

Já no caso dos sedimentos de corrente, que representam a área de drenagem de bacias hidrográficas, os resultados geoquímicos correspondem a variáveis discretas (ou descontínuas), visto que os dados podem não ter continuidade espacial (MAGALHÃES; LIMA, 2002). Apesar das limitações admitidas no processo de interpolação com variáveis discretas, considera-se o resultado como uma aproximação satisfatória da realidade, cuja incerteza é inerente à metodologia científica.

O método de interpolação utilizado foi do tipo local e determinístico, o IDW - *Inverse Distance Weighted* (Inverso da Distância Ponderada), que se caracteriza por ser uma aproximação, onde o peso dado a cada ponto amostrado diminui na medida em que se afasta do centro da célula a ser estimada, enquanto que onde o ponto amostrado é coincidente com o centro da célula, ele recebe o peso 1, indicativo do valor exato da observação ali situada. A escolha do método levou em consideração a característica de resultar em valores interpolados mais

próximos da realidade, em detrimento da suavização propiciada por outros métodos (ANDRIOTTI, 2009).

Adicionalmente, uma análise de componentes principais (ACP) pode identificar padrões mais simples do que a análise individual de cada elemento, podendo explicá-los em um número menor de variáveis (GEOSOFT, 2010). O sedimento de corrente foi escolhido por ter maior densidade no estudo, por ser considerado mais conservativo que a água, e por não variar tanto no tempo. O método ACP calcula uma matriz de correlação utilizando todas as variáveis de interesse e amostras de um banco de dados, resultando um novo conjunto de variáveis artificiais chamadas autovalores (*eigenvalues*), cujo valor indica a importância de cada componente (fator) sobre a variação total dos dados. Os carregamentos (*loadings*) expressam a influência de cada variável dentro de um fator, e as pontuações (*scores*) expressam a influência de um autovetor em uma amostra específica, permitindo o mapeamento espacial do fator em amostras individuais e a exposição espacial por meio de mapas. A análise foi realizada unicamente com dados de sedimentos, por meio do *software Geosoft Target 9.8.1*, baseado no *Geosoft Oasis Montaj* (GEOSOFT, 2010).

Parâmetros legais

Na interpretação dos dados geoquímicos, além da espacialização dos resultados em mapas com simbologia gradativa ou interpolada, é necessária a observação do sumário estatístico, que fornece um resumo da distribuição dos dados elementares. Uma aproximação do intervalo de *background* geoquímico pode ser considerada pelo intervalo compreendido entre os percentis de 25% e 75%, representado pela mediana; esses dados são comparados aos valores existentes, relativos às finalidades ambiental e prospectiva.

Para a finalidade ambiental, têm-se na legislação brasileira os limites estabelecidos para: sedimentos a serem dragados (CONAMA 454/2012); classificação

dos solos (CONAMA 420/2009) e das águas superficiais (CONAMA 357/2005). Para os elementos onde não se tem valores de referência nacionais, foram utilizados valores sugeridos por referências internacionais, tais como os expostos no *Screening Quick Reference Tables (SQUIRTS)* da *National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA* (BUCHMAN, 2008), que reúne os valores de referência existentes para diversos tipos de matrizes ou materiais ambientais.

Os valores apontados como referência para sedimentos de água doce no *SQUIRTS* da NOAA (BUCHMAN, 2008) são os canadenses: LEL (*Lowest Effect Level*), TEL (*Threshold Effect Level*) e SEL (*Severe Effect Level*). Outros valores de referência utilizados, também recomendados pela NOAA, foram: UET (espessura da epiderme superior em plantas) e ARCS (H. azteca TEL). Para solos, são apresentados os limites alemães (*Target e Intervention*) e americanos (Eco-SSL - *Ecological Soil Screening Level*). E para as águas-doces são apresentados os padrões americanos de efeitos à exposição (*Chronic e Acute*).

Os valores apresentados na Tabela 14 correspondem aos limiares a partir dos quais os solos e sedimentos podem estar contaminados. A contaminação pode ser considerada natural, quando os teores de fundo ou *background* superam os limites de referência ambiental, ou ainda possivelmente antrópica, quando não natural.

No que se refere aos resultados de águas de drenagem, são comparados, preferencialmente, aos limites expressos na resolução CONAMA 357/2005, destinada à classificação das águas superficiais, tendo sido escolhido o valor máximo permitido (VMP) da Classe 2 de águas-doces, para fins de comparação (Tabela 15). A Classe 2 corresponde às águas que podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação e mergulho); à

irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; aquicultura e a atividade de pesca.

Nos poucos casos onde as referências citadas não contemplavam o elemento, utilizou-se o *Guidelines for drinking-water quality* (WHO, 2011), que é um guia de referência de qualidade das águas destinadas ao consumo humano, recomendado pela Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization - WHO*).

Além dos padrões de referência ambiental, existem as relativas à abundância química média na crosta terrestre, primeiramente propostos por CLARKE (1889). A Tabela 16 apresenta a abundância química média na crosta terrestre (Clarke), para os elementos maiores (em %) e menores (em ppm), para fins de comparação com os resultados elementares. Na Tabela 17 constam as médias mundiais crustais dos elementos menores, expressos na forma elementar em ppm, tanto para a crosta continental superior, quanto em cada um dos tipos principais de rochas (LEVINSON, 1980).

A interpretação dos resultados baseia-se numa análise integrada de aspectos geoquímicos, geoestatísticos, litológicos, estruturais, geotectônicos e geofísicos, de acordo com os dados disponíveis, em adição à comparação com os teores médios mundiais crustais, ou abundância química média na crosta (Clarke), e aos teores médios nos diferentes tipos de rochas. Todas as informações complementam-se fornecendo indicações sobre o que pode ser considerado destaque geoquímico, sobre o ambiente em que se encontram e as possíveis causas, tais como ocorrências minerais passíveis de estarem presentes ou contaminação antrópica, quando os teores encontrados não podem ser explicados pelo ambiente em que foram formados (paragénese).

TABELA 14
Valores de referência para solos e sedimentos de fundo.

ELEMENTO	UNID.	VALORES PARA SOLO		VALORES PARA SEDIMENTOS	
		VALORES DE PREVENÇÃO CONAMA 420/2009	VALORES SCREENING QUICK REFERENCE TABLE NOAA (2008)	VALORES NÍVEL 1 CONAMA 454/2012	VALORES SCREENING QUICK REFERENCE TABLE NOAA (2008)
Ag	ppm	2	2 (a)	-	0,5 (b)
Al	%	-	-	-	-
As	ppm	15	0,9 (c)	5,9	5,9 (d)
B	ppm	-	0,5 (a)	-	-
Ba	ppm	150	160 (c)	-	-

TABELA 14 (continuação)

Valores de referência para solos e sedimentos de fundo.

ELEMENTO	UNID.	VALORES PARA SOLO		VALORES PARA SEDIMENTOS	
		VALORES DE PREVENÇÃO CONAMA 420/2009	VALORES SCREENING QUICK REFERENCE TABLE NOAA (2008)	VALORES NÍVEL 1 CONAMA 454/2012	VALORES SCREENING QUICK REFERENCE TABLE NOAA (2008)
Be	ppm	-	1,1 (c)	-	-
Cd	ppm	1,3	0,8 (c)	0,6	0,59 (d)
Co	ppm	25	2,4 (c)	-	50 (b)
Cr	ppm	75	0,38 (c)	37,3	37,3 (d)
Cu	ppm	60	3,4 (c)	35,7	35,7 (d)
Fe	%	-	-	-	2,0 (b)
Hg	ppm	0,5	0,3 (c)	0,17	0,17 (d)
La	ppm	-	-	-	-
Li	ppm	-	2 (a)	-	-
Mn	ppm	-	220 (a)	-	460 (b)
Mo	ppm	30	3 (c)	-	-
Ni	ppm	30	0,26 (c)	18	18 (d)
P	ppm	-	-	2.000	-
Pb	ppm	72	55 (c)	35	35 (d)
Sb	ppm	2	3 (c)	-	-
Se	ppm	5	0,7 (c)	-	-
Sn	ppm	-	19 (c)	-	-
Te	ppm	-	-	-	-
Ti	%	-	-	-	-
Tl	ppm	-	1 (c)	-	-
U	ppm	-	5 (a)	-	-
V	ppm	-	42 (c)	-	-
W	ppm	-	-	-	-
Zn	ppm	300	16 (c)	123	123(d)

Valores de referência: (a) para plantas - Ecological Soil Screening Level EPA; (b) LEL –Lowest Effect Level para sedimentos de água-doce; (c) para solos “Target” - “Dutch Standards”; (d) TEL - Threshold Effect Level para sedimentos de água doce.

TABELA 15

Valores de referência para águas de consumo humano.

PARÂMETROS*	RES. CONAMA 357/2005 ¹	WHO [2011] ²
Alumínio	0,1	-
Amônia (como NH ₃)	-	-
Antimônio	0,005	0,02
Arsênio	0,01	0,01
Bário	0,7	0,7
Berílio	0,04	-
Boro	0,5	2,4
Cádmio	0,001	0,003
Cianeto	0,005	-

TABELA 15 (continuação)

Valores de referência para águas de consumo humano.

PARÂMETROS*	RES. CONAMA 357/2005 ¹	WHO [2011] ²
Chumbo	0,01	0,01
Cloreto	250	-
Cobalto	0,05	-
Cobre	0,009	2
Cor aparente (mgPt/L)	-	-
Cromo total	0,05	0,05
Dureza	-	-
Ferro	0,3	-
Fluoreto	1,4	1,5
Fósforo Total (Lêntico/ Lótico)	0,030 / 0,050	
Lítio	2,5	-
Manganês	0,1	-
Mercurio	0,0002	0,006
Molibdênio	-	-
Níquel	0,025	0,07
Nitrato (como N)	10	50 (como NO ₃ -)
Nitrito (como N)	1	3 (como NO ₂ -)
Oxigênio Dissolvido (OD)	5,0	
Prata	0,01	-
Selênio	0,01	0,04
Sódio	-	50
Sólidos Totais Dissolvidos	500	-
Sulfato	250	-
Turbidez (unT)	100	-
Vanádio	0,1	-
Urânio	0,02	0,03
Zinco	0,18	-

*Valores em mg/L, exceto Cor e Turbidez; ¹ VMP para classificação de águas (doces) superficiais na Classe 2; ² Referência internacional de qualidade para águas destinadas ao consumo (WHO, 2011).

TABELA 16

Abundância química média na crosta terrestre (Clarke).

ELEMENTO	CLARKE	ELEMENTO	CLARKE	ELEMENTO	CLARKE	ELEMENTO	CLARKE
Ag	0,08	Cs	2,6	Mo	1,2	Te	0,004
Al (%)	8,36	Cu	68	Na (%)	2,27	Th	8,1
As	1,8	Fe (%)	6,22	Nb	20	Ti (%)	0,632
Au	0,004	Ga	19	Ni	99	Tl	0,72
B	9	Ge	1,5	P	1120	U	2,3
Ba	390	Hf	2,8	Pb	13	V	136
Be	2	Hg	0,086	S (%)	0,034	W	1,2
Bi	0,0082	In	0,24	Sb	0,2	Y	31
Ca (%)	4,66	K	18400	Sc	25	Yb	3,1

TABELA 16 (continuação)

Abundância química média na crosta terrestre (Clarke).

ELEMENTO	CLARKE	ELEMENTO	CLARKE	ELEMENTO	CLARKE	ELEMENTO	CLARKE
Cd	0,16	La	34,6	Se	0,05	Zn	76
Ce	66,4	Li	18	Si (%)	27,3	Zr	162
Cl	126	Lu	0,54	Sn	2,1		
Co	29	Mg (%)	2,764	Sr	384		
Cr	122	Mn (%)	0,106	Tb	1,18		

Onde: teores expressos em ppm, exceto quando indicado. Fonte: Fortescue (1992).**TABELA 17**

Teores médios mundiais dos elementos na crosta e nos diferentes tipos de rochas, solos e águas fluviais.

ELEMENTO	CROSTA DA TERRA	ULTRAMÁFICA	BASALTO	GRANO-DIORITO	GRANITO	FOLHELHO	CALCÁRIO	SOLO	ÁGUA FLUVIAL
Ag	0,07	0,06	0,1	0,07	0,04	0,05	1	0,1	0,3
As	1,8	1	2	2	1,5	15	2,5	1-50	2
Au	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	-	0,002
B	10	5	5	20	15	100	10	2-100	10
Ba	425	2	250	500	600	700	100	100-3000	10
Be	2,8	-	0,5	2	5	3	1	6	-
Bi	0,17	0,02	0,15	-	0,1	0,18	-	-	-
Br	2,5	1	3,6	-	2,9	4	6,2	-	20
Cd	0,2	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	1	-
Ce	60	8	35	40	46	50	10	-	0,06
Cl	130	85	60	-	165	180	150	-	7800
Co	25	25	50	10	1	20	4	1-40	0,2
Cr	100	2000	200	20	4	100	10	5-1000	1
Cs	3	-	1	2	5	5	-	6	0,02
Cu	55	10	100	30	10	50	15	2-100	7
Dy	3	0,59	3	3,2	0,5	5	0,4	-	0,05
Er	2,8	0,36	1,69	4,8	0,2	2	0,5	-	0,05
Eu	1,2	0,16	1,27	1,2	-	1	-	-	0,07
F	625	100	400	-	735	740	330	-	100
Ga	15	1	12	18	18	20	0,06	15	0,09
Gd	5,4	0,65	4,7	7,4	2	6	0,6	-	0,04
Ge	1,5	1	1,5	1	1,5	1,5	0,1	1	-
Hf	3	0,5	2	2	4	3	0,5	-	-
Hg	0,08	-	0,08	0,08	0,08	0,5	0,05	0,03	0,007
Ho	1,2	0,14	0,64	1,6	0,07	1	0,1	-	0,01
I	0,5	0,5	0,5	-	0,5	2,2	1,2	-	7
In	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	-	-
Ir	0,0004	-	-	-	-	-	-	-	-
La	30	3,3	10,5	36	25	20	6	-	0,2
Li	20	-	10	25	30	60	20	5-200	3
Lu	0,5	0,064	0,2	-	0,01	0,5	-	-	0,008

TABELA 17 (continuação)

Teores médios mundiais dos elementos na crosta e nos diferentes tipos de rochas, solos e águas fluviais.

ELEMENTO	CROSTA DA TERRA	ULTRAMÁFICA	BASALTO	GRANO-DIORITO	GRANITO	FOLHELHO	CALCÁRIO	SOLO	ÁGUA FLUVIAL
Mn	950	1300	2200	1200	500	850	1100	850	7
Mo	1,5	0,3	1	1	2	3	1	2	1
Nb	20	15	20	20	20	20	-	-	-
Nd	28	3	17,8	26	18	24	3	-	0,2
Ni	75	2000	150	20	0,5	70	12	5-500	0,3
Os	0,0004	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	12,5	0,1	5	15	20	20	8	2-200	3
Pd	0,004	0,02	0,02	-	0,002	-	-	-	-
Pr	8,2	1,02	3,9	8,5	4,6	6	1	-	0,03
Pt	0,002	0,02	0,02	-	0,008	-	-	-	-
Rb	90	-	30	120	150	140	5	20-500	1
Re	0,0005	-	0,0005	-	0,005	-	-	-	-
Rh	0,0004	-	-	-	-	-	-	-	-
Ru	0,0004	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	1	-	5	1
Sc	16	10	38	10	5	15	5	-	0,004
Se	0,05	-	0,05	-	0,05	0,6	0,08	0,2	0,2
Sm	6	0,57	4,2	6,8	3	6	0,8	-	0,03
Sn	2	0,5	1	2	3	4	4	10	-
Sr	375	1	465	450	285	300	500	50-1000	50
Ta	3	1	0,5	2	3,5	2	-	-	-
Tb	0,9	0,088	0,63	1,3	0,05	1	-	-	0,008
Te	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	-	-	-
Th	10	0,003	2,2	10	17	12	2	13	0,1
Ti	5700	3000	9000	8000	2300	4600	400	5000	3
Tl	0,45	0,05	0,1	0,5	0,75	0,3	-	0,1	-
Tm	0,48	0,053	0,21	0,5	-	0,2	0,1	-	0,009
U	2,7	0,001	0,6	3	4,8	4	2	1	0,4
V	135	50	250	10	20	130	15	20-500	0,9
W	1,5	0,5	1	2	2	2	0,5	-	0,03
Y	30	-	25	30	40	25	15	-	0,7
Yb	3	0,43	1,11	3,6	0,06	3	0,1	-	0,05
Zn	70	50	100	60	40	100	25	10-300	20
Zr	165	50	150	140	180	160	20	300	-

Obs.: Teores expressos em ppm, exceto água dos rios, expressa em ppb. Fonte: Levinson (1980).

A seguir, são apresentados os limites de detecção elementares e os sumários estatísticos calculados para sedimentos de corrente, águas de drenagem,

cargas, solos superficiais (Top) e subsuperficiais (Sub) (Tabelas 18 a 22).

■ ■ ■ SUMÁRIOS ESTATÍSTICOS

TABELA 18

Parâmetros estatísticos para sedimentos de corrente.

ELEMENTO	UNIDADE	LIMITE DE DETECÇÃO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	90	98
Ag	(ppm)	0,01	74	34	45,9	Percentil	0,005	1,76	0,0888	0,0050	0,005	0,08	0,25	0,075	0,1925	0,17	1,16
Al	(%)	0,01	74	74	100,0	Boxplot	0,180	3,65	1,6020	1,5250	1,09	2,04	0,76	0,95	3,465	2,61	3,48
As	(ppm)	1	74	55	74,3	Percentil	0,500	12,00	2,0743	1,50	0,5	2	2,11	1,5	4,25	5	8
Ba	(ppm)	5	74	74	100,0	Boxplot	24,000	758,00	121,00	99,50	74	146	100,25	72	254	199	471
Be	(ppm)	0,1	74	73	98,6	Boxplot	0,050	3,50	1,1791	1,0000	0,6	1,6	0,79	1	3,1	2,1	3,4
Bi	(ppm)	0,02	74	74	100,0	Boxplot	0,020	1,13	0,2447	0,1750	0,11	0,35	0,20	0,24	0,71	0,52	0,93
Ca	(%)	0,01	74	74	100,0	Boxplot	0,020	2,24	0,2654	0,1800	0,08	0,32	0,31	0,24	0,68	0,6	1
Cd	(ppm)	0,01	74	74	100,0	Boxplot	0,020	0,30	0,0992	0,0850	0,06	0,12	0,05	0,06	0,21	0,18	0,26
Ce	(ppm)	0,05	74	74	100,0	Boxplot	4,000	187,19	50,6027	41,6750	28,3	65,78	33,08	37,48	122	93,98	138,02
Co	(ppm)	0,1	74	74	100,0	Boxplot	1,200	38,10	10,6568	9,1000	5,8	13,6	7,65	7,8	25,3	20,9	37
Cr	(ppm)	1	74	72	97,3	Boxplot	0,500	69,00	15,0135	14,0000	11	18	8,87	7	28,5	21	36
Cs	(ppm)	0,05	74	74	100,0	Boxplot	0,330	7,04	2,1565	1,6200	1,01	2,62	1,55	1,61	5,035	4,54	6,4
Cu	(ppm)	0,5	74	74	100,0	Boxplot	1,800	127,60	27,4527	16,6500	8,9	41,3	26,06	32,4	89,9	57,1	102,5
Fe	(%)	0,01	74	72	97,3	Boxplot	0,780	15,00	3,9189	2,9700	2,07	4,48	2,93	2,41	8,095	8,52	15
Ga	(ppm)	0,1	74	74	100,0	Boxplot	0,600	14,40	5,6905	5,1500	3,7	7,1	2,97	3,4	12,2	10	13,4
Ge	(ppm)	0,1	74	1	1,4	Pontual	0,050	0,20	0,0520	0,0500	0,05	0,05	0,02	0	0,05	0,05	0,05
Hf	(ppm)	0,05	74	61	82,4	Boxplot	0,025	0,88	0,2314	0,1500	0,07	0,32	0,21	0,25	0,695	0,54	0,84
Hg	(ppm)	0,01	74	65	87,8	Boxplot	0,005	0,12	0,0320	0,0300	0,01	0,04	0,03	0,03	0,085	0,07	0,11
In	(ppm)	0,02	74	58	78,4	Boxplot	0,010	0,08	0,0307	0,0300	0,02	0,04	0,02	0,02	0,07	0,06	0,07
K	(%)	0,01	74	74	100,0	Boxplot	0,030	0,58	0,1454	0,1400	0,11	0,16	0,07	0,05	0,235	0,21	0,32
La	(ppm)	0,1	74	74	100,0	Boxplot	2,100	82,00	21,5662	18,1500	12,9	27,8	13,38	14,9	50,15	40,9	51,7
Li	(ppm)	1	74	74	100,0	Boxplot	4,000	49,00	13,2162	12,0000	9	15	7,51	6	24	22	34
Lu	(ppm)	0,01	74	74	100,0	Boxplot	0,010	0,46	0,1555	0,1400	0,09	0,2	0,09	0,11	0,365	0,29	0,36
Mg	(%)	0,01	74	74	100,0	Boxplot	0,020	0,50	0,2092	0,2000	0,12	0,27	0,12	0,15	0,495	0,38	0,47
Mn	(ppm)	5	74	74	100,0	Boxplot	76,000	2077,00	562,6351	465,0000	295	671	411,69	376	1235	1170	2066
Mo	(ppm)	0,05	74	74	100,0	Boxplot	0,220	5,53	0,9699	0,7450	0,54	1,03	0,87	0,49	1,765	1,9	4,42
Na	(%)	0,01	74	63	85,1	Boxplot	0,005	0,97	0,0534	0,0200	0,01	0,05	0,12	0,04	0,11	0,1	0,29
Nb	(ppm)	0,05	74	74	100,0	Boxplot	0,360	4,88	1,7841	1,6450	1,19	2,08	0,88	0,89	3,415	3,04	4,76
Ni	(ppm)	0,5	74	73	98,6	Boxplot	0,250	22,30	9,0264	7,6500	4,6	12,6	5,68	8	24,6	18,8	22,1

TABELA 18 (continuação)

Parâmetros estatísticos para sedimentos de corrente.

ELEMENTO	UNIDADE	LIMITE DE DETECÇÃO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	90	98
P	(ppm)	50	74	73	98,6	Boxplot	25,000	3104,00	631,9730	462,5000	335	730	530,44	395	1322,5	1487	2283
Pb	(ppm)	0,2	74	74	100,0	Boxplot	4,400	67,60	14,8054	12,6000	8,9	16,9	9,80	8	28,9	21,9	44,5
Rb	(ppm)	0,2	74	74	100,0	Boxplot	2,100	72,90	23,1027	17,8500	12	29,9	16,37	17,9	56,75	49,8	65
S	(%)	0,01	74	56	75,7	Boxplot	0,005	2,34	0,1378	0,0200	0,01	0,05	0,34	0,04	0,11	0,45	1,04
Sb	(ppm)	0,05	74	71	95,9	Boxplot	0,025	0,58	0,1493	0,1300	0,08	0,18	0,10	0,1	0,33	0,28	0,5
Sc	(ppm)	0,1	74	74	100,0	Boxplot	0,200	18,80	5,2216	4,2500	3	6,8	3,47	3,8	12,5	9,8	14,3
Se	(ppm)	1	74	2	2,7	Pontual	0,500	1,00	0,5135	0,5000	0,5	0,5	0,08	0	0,5	0,5	1
Sn	(ppm)	0,3	74	74	100,0	Boxplot	0,400	4,50	1,8554	1,5500	1,2	2,5	1,00	1,3	4,45	3,4	4,3
Sr	(ppm)	0,5	74	74	100,0	Boxplot	2,400	100,70	27,2473	21,8000	9,6	44,7	21,33	35,1	97,35	57,5	73,4
Ta	(ppm)	0,05	74	4	5,4	Pontual	0,025	0,12	0,0280	0,0250	0,025	0,025	0,01	0	0,025	0,025	0,07
Tb	(ppm)	0,02	74	74	100,0	Boxplot	0,040	1,30	0,4974	0,4550	0,31	0,61	0,28	0,3	1,06	0,97	1,3
Te	(ppm)	0,05	74	2	2,7	Pontual	0,025	0,14	0,0270	0,0250	0,025	0,025	0,01	0	0,025	0,025	0,06
Th	(ppm)	0,1	74	74	100,0	Boxplot	0,500	56,40	12,7176	8,1000	3,4	19,2	12,18	15,8	42,9	27,9	50,9
Ti	(%)	0,01	74	72	97,3	Boxplot	0,005	0,54	0,1484	0,1100	0,05	0,21	0,12	0,16	0,45	0,28	0,54
Tl	(ppm)	0,02	74	74	100,0	Boxplot	0,050	0,65	0,2465	0,2150	0,12	0,32	0,16	0,2	0,62	0,54	0,64
U	(ppm)	0,05	74	74	100,0	Boxplot	0,190	7,35	2,3472	1,8200	0,74	3,6	1,81	2,86	7,89	4,89	6,87
V	(ppm)	1	74	74	100,0	Boxplot	4,000	483,00	85,6892	56,5000	31	108	88,16	77	223,5	169	391
W	(ppm)	0,1	74	65	87,8	Boxplot	0,050	4,80	0,2764	0,2000	0,1	0,2	0,57	0,1	0,35	0,5	1
Y	(ppm)	0,05	74	74	100,0	Boxplot	1,030	38,67	13,2538	12,3450	8,44	16,69	7,73	8,25	29,065	24,9	32,69
Yb	(ppm)	0,1	74	73	98,6	Boxplot	0,050	3,20	1,1047	1,0500	0,7	1,5	0,65	0,8	2,7	2	2,6
Zn	(ppm)	1	74	74	100,0	Boxplot	12,000	281,00	70,3514	64,0000	47	86	40,24	39	144,5	121	147
Zr	(ppm)	0,5	74	74	100,0	Boxplot	1,400	59,50	12,6676	9,4000	5,3	16	10,70	10,7	32,05	28,2	42,1

TABELA 19

Parâmetros estatísticos para águas de drenagem.

ELEMENTO	LIMITE DE DETECÇÃO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	LIF = Q1 - 1,5 IQR	90	98
Condut, Campo (µS/cm²)	5,0	73	73	100	Boxplot	39,00	1990,0	373,27	120,000	61,0000	386,000	524,88	325,000	873,500	-426,500	1363,00	1871,00
pH_Campo	0,01	71	71	100	Boxplot	3,18	75,8	7,55	6,850	6,4500	7,210	8,32	0,760	8,350	5,310	7,39	12,49
Eh (mV)	0,1	61	61	100	Boxplot	9,60	561,8	166,36	120,600	89,5000	188,000	127,91	98,500	335,750	-58,250	376,80	518,60
Oxigênio Diss, (mg/L)	0,01	73	73	100	Boxplot	1,98	10,5	6,67	6,760	4,8900	8,730	2,32	3,840	14,490	-0,870	9,41	9,99
Temperatura (°C)	0,01	73	73	100	Boxplot	12,50	28,1	21,41	22,700	17,9000	24,700	4,42	6,800	34,900	7,700	26,70	27,60
Vazão (L/s)	0,001	73	73	100	Boxplot	1,52	194900,0	10446,6	2110,9	880,0	6038,0	27561,8	5158,0	13775,0	-6857,0	20631,0	95946,0
pH Lab	0,01	74	74	100	Boxplot	2,880	8,13	6,3332	6,6000	6,2400	6,940	1,05	0,700	7,990	5,190	7,13	7,62
Condut, Lab (µS/cm²)	5	74	74	100	Boxplot	24,400	1595,00	249,5614	56,75	35,9000	220,300	401,51	184,400	496,900	-240,700	1013,30	1550,50
ACIDEZ_ CaCO3 (mg/L)	1	74	74	100	Boxplot	0,000	472,11	25,3619	4,9800	2,9500	9,480	69,97	6,530	19,275	-6,845	34,84	252,02
Cl (mg/L)	0,01	30	30	100	Boxplot	3,160	720,00	156,4600	9,8800	6,4000	360,000	243,46	353,600	890,400	-524,000	611,00	720,00
SO42- (mg/L)	0,01	71	71	100	Boxplot	2,469	967,67	56,87	14,82	7,8200	51,038	131,32	43,218	115,865	-57,007	120,60	430,12
Al (mg/L)	0,01	72	72	100	Boxplot	0,010	27,60	1,5842	0,0975	0,0100	0,348	4,91	0,338	0,855	-0,497	3,47	24,10
As (mg/L)	0,002	72	0	0	x												
B (mg/L)	0,05	72	13	18,1	Pontual	0,025	0,64	0,0440	0,0250	0,0250	0,025	0,07	0,000	0,025	0,025	0,08	0,12
Ba (mg/L)	0,005	72	63	87,5	Boxplot	0,003	0,07	0,0180	0,0146	0,0090	0,026	0,01	0,017	0,050	-0,016	0,03	0,06
Be (mg/L)	0,002	72	0	0	x												
Ca (mg/L)	0,025	72	72	100	Boxplot	2,080	140,00	11,9903	5,4900	3,4550	12,550	20,85	9,095	26,193	-10,188	23,10	104,00
Cd (mg/L)	0,002	72	0	0	x												
Co (mg/L)	0,002	72	5	6,9	Pontual	0,001	0,11	0,0040	0,0010	0,0010	0,001	0,01	0,000	0,001	0,001	0,00	0,05
Cr (mg/L)	0,002	72	0	0	x												
Cu (mg/L)	0,002	72	10	13,9	Pontual	0,001	0,08	0,0080	0,0050	0,0010	0,005	0,01	0,004	0,011	-0,005	0,02	0,06
Fe II (mg/L)	0,005	72	54	75	Percentil	0,003	10,86	0,2584	0,0857	0,0029	0,183	1,27	0,180	0,453	-0,267	0,30	0,53
Fe III (mg/L)	0,01	72	54	75	Percentil	0,007	122,14	2,278	0,202	0,056	0,467	14,435	0,411	1,083	-0,560	0,958	14,281
FeT (mg/L)	0,01	72	72	100	Boxplot	0,026	133,00	2,5237	0,2525	0,1460	0,515	15,70	0,369	1,069	-0,408	1,17	14,40

TABELA 19 (continuação)

Parâmetros estatísticos para águas de drenagem.

ELEMENTO	LIMITE DE DETECÇÃO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	LIF = Q1 - 1,5 IQR	90	98
Hg (mg/L)	0,0003	72	0	0	x												
K (mg/L)	0,05	72	72	100	Boxplot	0,378	16,90	4,0269	2,0600	1,1150	4,495	4,56	3,380	9,565	-3,955	12,50	16,80
Li (mg/L)	0,005	72	2	2,8	Pontual	0,003	0,09	0,0045	0,0025	0,0025	0,003	0,01	0,000	0,003	0,003	0,00	0,06
Mg (mg/L)	0,01	72	72	100	Boxplot	0,509	35,60	5,4061	1,9950	1,2300	5,030	7,90	3,800	10,730	-4,470	19,80	31,80
Mn (mg/L)	0,002	72	41	56,9	Percentil	0,001	9,83	0,2958	0,0081	0,0010	0,076	1,21	0,075	0,188	-0,111	0,61	2,33
Mo (mg/L)	0,005	72	0	0	x												
Na (mg/L)	0,07	72	72	100	Boxplot	2,610	268,00	31,6050	6,0950	3,6650	17,450	62,38	13,785	38,128	-17,013	152,00	239,00
Ni (mg/L)	0,002	72	4	5,6	Pontual	0,001	0,17	0,0046	0,0010	0,0010	0,001	0,02	0,000	0,001	0,001	0,001	0,05
Pb (mg/L)	0,005	72	0	0	x												
Sb (mg/L)	0,002	39	0	0	x												
Se (mg/L)	0,002	39	0	0	x												
Si (mg/L)	0,025	39	39	100	Boxplot	2,440	14,20	6,3679	6,0000	4,9000	7,060	2,56	2,160	10,300	1,660	9,42	14,20
Sn (mg/L)	0,01	39	0	0	x												
Sr (mg/L)	0,002	72	72	100	Boxplot	0,009	0,52	0,0634	0,0307	0,0190	0,062	0,08	0,043	0,127	-0,046	0,15	0,28
Ti (mg/L)	0,002	72	9	12,5	Pontual	0,001	0,11	0,0034	0,0010	0,0010	0,001	0,01	0,000	0,001	0,001	0,01	0,02
V (mg/L)	0,002	72	0	0	x												
Zn (mg/L)	0,005	72	27	37,5	Percentil	0,003	1,15	0,0507	0,0025	0,0025	0,016	0,19	0,014	0,036	-0,018	0,06	1,11

TABELA 20

Parâmetros estatísticos para cargas em águas superficiais.

ELEMENTO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	90	98
Carga Acidez kg/h	74	72	100	Boxplot	0,01329	5956,9	378,642	45,8911	17,7827	212,208	870,08	194,42	503,845	1207,73	2576,7
Carga Al kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00005	228,9	16,977	0,9938	0,0724	9,832	40,47	9,76	24,472	49,57	153,4
Carga B kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00014	58,2	1,955	0,2606	0,1105	0,753	7,41	0,64	1,718	3,17	23,8
Carga Ba kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00005	9,6	0,553	0,1106	0,0377	0,398	1,43	0,36	0,939	1,00	6,6
Carga Ca kg/h	72	71	97	Boxplot	0,01411	11019,0	506,247	56,4729	17,6526	183,375	1738,68	165,72	431,959	512,18	8560,0
Carga Cl kg/h	30	29	100	Boxplot	0,05206	141270,9	9121,334	111,4450	49,6941	3371,414	27339,57	3321,72	8353,995	27425,64	141270,9
Carga Co kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00001	0,7	0,051	0,0113	0,0039	0,035	0,11	0,03	0,081	0,15	0,3
Carga Cu kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00008	9,1	0,278	0,0338	0,0103	0,104	1,15	0,09	0,243	0,35	3,5
Carga Fe II kg/h	72	54	75	Percentil	0,00014	89,8	4,946	0,5073	0,0385	2,466	15,08	2,43	6,108	10,36	83,0
Carga Fe III kg/h	72	54	75	Percentil	0,01000	312,5	12,34	1,6465	0,3023	7,1985	39,7604	6,9	17,543	19,4199	94,9567
Carga FeT kg/h	74	71	100	Boxplot	0,00061	340,2	15,826	3,2546	0,5671	10,158	44,73	9,59	24,544	28,29	142,3
Carga K kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00711	7998,7	259,452	18,6095	6,3504	58,384	1083,34	52,03	136,434	296,65	4490,3
Carga Li kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00001	1,8	0,103	0,0247	0,0097	0,064	0,25	0,05	0,146	0,23	0,9
Carga Mg kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00415	16418,4	433,584	23,5392	5,8110	70,752	2074,13	64,94	168,164	467,65	6390,0
Carga Mn kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00001	115,1	3,374	0,0581	0,0158	0,501	14,11	0,49	1,229	8,69	25,1

TABELA 20 (continuação)

Parâmetros estatísticos para cargas em águas superficiais.

ELEMENTO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	90	98
Carga Na kg/h	72	71	97	Boxplot	0,02111	135416,5	3402,711	56,1111	25,9798	187,219	17181,80	161,24	429,077	1708,48	53537,9
Carga Ni kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00001	0,7	0,051	0,0104	0,0039	0,033	0,11	0,03	0,077	0,12	0,4
Carga Si kg/h	39	39	100	Boxplot	0,23892	3494,2	205,620	49,8301	14,5112	116,100	595,16	101,59	268,483	305,79	3494,2
Carga SO4 kg/h	73	70	99	Boxplot	0,03151	52847,5	1717,242	170,1723	25,1148	587,781	6633,79	562,67	1431,781	2859,95	20330,2
Carga Sr kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00008	100,3	3,351	0,3423	0,0955	0,883	13,28	0,79	2,064	4,15	45,6
Carga Ti kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00001	1,1	0,078	0,0099	0,0039	0,037	0,19	0,03	0,086	0,26	0,8
Carga Zn kg/h	72	71	97	Boxplot	0,00001	11,9	0,648	0,0487	0,0132	0,308	1,81	0,30	0,751	1,77	7,4

TABELA 21

Parâmetros estatísticos para solos superficiais (Top).

ELEMENTO	UNIDADE	LIMITE DE DETECÇÃO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	90	98
Ag	(ppm)	0,01	35	12	34,3	Percentil	0,005	0,31	0,0387	0,0050	0,0050	0,0500	0,07	0,0450	0,1175	0,120	0,310
Al	(%)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,670	7,30	2,7569	2,4400	1,6800	3,6400	1,54	1,9600	6,58	5,100	7,300
As	(ppm)	1	35	34	97,1	Boxplot	0,500	12,00	4,3857	4,00	2,0000	6,0000	2,51	4,0000	12	8,000	12,000
Ba	(ppm)	5	35	33	94,3	Boxplot	2,500	236,00	74,00	68,00	29,0000	118,0000	56,18	89,0000	251,5	153,000	236,000
Be	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	0,100	2,10	0,8314	0,7000	0,4000	1,2000	0,59	0,8000	2,4	1,700	2,100
Bi	(ppm)	0,02	35	35	100,0	Boxplot	0,040	0,91	0,2969	0,2400	0,1500	0,4500	0,20	0,3000	0,9	0,540	0,910
Ca	(%)	0,01	35	33	94,3	Boxplot	0,005	0,38	0,0929	0,0600	0,0300	0,1400	0,10	0,1100	0,305	0,230	0,380
Cd	(ppm)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,010	0,22	0,0674	0,0600	0,0300	0,0900	0,05	0,0600	0,18	0,130	0,220
Ce	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	5,540	148,71	46,2560	38,3200	21,3900	58,1400	34,61	36,7500	113,265	100,730	148,710
Co	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	0,700	48,70	9,3514	4,9000	2,6000	10,5000	11,21	7,9000	22,35	25,000	48,700
Cr	(ppm)	1	35	35	100,0	Boxplot	2,000	80,00	16,8286	14,0000	9,0000	23,0000	15,17	14,0000	44	25,000	80,000
Cs	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,610	12,93	3,6523	2,8800	1,9100	3,9700	2,85	2,0600	7,06	7,600	12,930
Cu	(ppm)	0,5	35	35	100,0	Boxplot	2,200	120,00	25,3971	14,7000	6,4000	27,3000	29,66	20,9000	58,65	74,800	120,000
Fe	(%)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,820	10,86	3,7434	2,8500	2,0100	4,4700	2,59	2,4600	8,16	7,570	10,860
Ga	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	1,800	24,50	10,7029	8,4000	5,7000	13,5000	6,62	7,8000	25,2	22,400	24,500
Ge	(ppm)	0,1	35	1	2,9	Pontual	0,050	0,10	0,0514	0,0500	0,0500	0,0500	0,01	0,0000	0,05	0,050	0,100
Hf	(ppm)	0,05	35	21	60,0	Percentil	0,025	0,87	0,1680	0,0600	0,0250	0,2000	0,24	0,1750	0,4625	0,520	0,870
Hg	(ppm)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,020	0,19	0,0911	0,0900	0,0600	0,1200	0,05	0,0600	0,21	0,150	0,190
In	(ppm)	0,02	35	27	77,1	Boxplot	0,010	0,11	0,0431	0,0400	0,0300	0,0500	0,03	0,0200	0,08	0,080	0,110
K	(%)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,030	0,37	0,1420	0,1200	0,0800	0,2000	0,09	0,1200	0,38	0,280	0,370
La	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	2,500	60,40	13,9600	10,7000	6,8000	15,0000	12,11	8,2000	27,3	28,800	60,400
Li	(ppm)	1	35	35	100,0	Boxplot	3,000	29,00	10,4000	10,0000	6,0000	13,0000	6,27	7,0000	23,5	19,000	29,000
Lu	(ppm)	0,01	35	34	97,1	Boxplot	0,005	0,29	0,0879	0,0700	0,0300	0,1400	0,07	0,1100	0,305	0,180	0,290
Mg	(%)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,030	0,38	0,1406	0,1000	0,0800	0,2000	0,10	0,1200	0,38	0,280	0,380
Mn	(ppm)	5	35	35	100,0	Boxplot	76,000	1492,00	478,0857	319,0000	184,0000	757,0000	370,06	573,0000	1616,5	1097,000	1492,000
Mo	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,210	3,69	1,0300	0,9200	0,6300	1,2700	0,63	0,6400	2,23	1,630	3,690
Na	(%)	0,01	35	23	65,7	Percentil	0,005	0,04	0,0131	0,0100	0,0050	0,0200	0,01	0,0150	0,0425	0,020	0,040
Nb	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,340	3,95	1,5100	1,3200	0,6800	2,3200	0,94	1,6400	4,78	2,840	3,950

TABELA 21 (continuação)

Parâmetros estatísticos para solos superficiais (Top).

ELEMENTO	UNIDADE	LIMITE DE DETECÇÃO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	90	98
Ni	(ppm)	0,5	35	32	91,4	Boxplot	0,250	66,20	7,9357	4,6000	2,2000	9,2000	11,84	7,0000	19,7	14,100	66,200
P	(ppm)	50	35	35	100,0	Boxplot	104,000	815,00	398,0000	361,0000	240,0000	544,0000	203,66	304,0000	1000	770,000	815,000
Pb	(ppm)	0,2	35	35	100,0	Boxplot	3,400	38,00	17,2571	16,3000	15,0000	19,5000	7,48	4,5000	26,25	26,100	38,000
Rb	(ppm)	0,2	35	35	100,0	Boxplot	3,500	112,40	32,8657	30,5000	13,6000	41,3000	25,63	27,7000	82,85	68,300	112,400
S	(%)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,010	0,06	0,0280	0,0300	0,0200	0,0400	0,01	0,0200	0,07	0,050	0,060
Sb	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,060	0,76	0,2109	0,1600	0,1400	0,2800	0,14	0,1400	0,49	0,390	0,760
Sc	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	0,500	32,10	8,0457	5,5000	1,9000	8,5000	8,69	6,6000	18,4	19,600	32,100
Se	(ppm)	1	35	1	2,9	Pontual	0,500	1,00	0,5143	0,5000	0,5000	0,5000	0,08	0,0000	0,5	0,500	1,000
Sn	(ppm)	0,3	35	35	100,0	Boxplot	0,300	9,60	2,1914	1,8000	1,2000	2,7000	1,65	1,5000	4,95	3,700	9,600
Sr	(ppm)	0,5	35	35	100,0	Boxplot	1,000	40,10	10,2943	8,8000	4,8000	13,9000	7,51	9,1000	27,55	16,400	40,100
Tb	(ppm)	0,02	35	35	100,0	Boxplot	0,030	1,08	0,2829	0,2100	0,1600	0,3400	0,23	0,1800	0,61	0,730	1,080
Te	(ppm)	0,05	35	2	5,7	Pontual	0,025	0,07	0,0273	0,0250	0,0250	0,0250	0,01	0,0000	0,025	0,025	0,070
Th	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	0,200	23,00	8,0229	7,0000	3,6000	13,0000	5,73	9,4000	27,1	14,200	23,000
Ti	(%)	0,01	35	34	97,1	Boxplot	0,005	0,33	0,0913	0,0400	0,0200	0,1500	0,10	0,1300	0,345	0,290	0,330
Tl	(ppm)	0,02	35	35	100,0	Boxplot	0,030	0,91	0,3011	0,2800	0,1700	0,3600	0,18	0,1900	0,645	0,540	0,910
U	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,210	4,75	1,8346	1,6000	0,8800	2,8300	1,18	1,9500	5,755	3,550	4,750
V	(ppm)	1	35	35	100,0	Boxplot	8,000	396,00	91,8286	50,0000	28,0000	110,0000	106,59	82,0000	233	298,000	396,000
W	(ppm)	0,1	35	19	54,3	Percentil	0,050	0,60	0,1343	0,1000	0,0500	0,2000	0,13	0,1500	0,425	0,200	0,600
Y	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,810	27,14	7,1394	5,3600	3,4000	8,2000	6,07	4,8000	15,4	18,220	27,140
Yb	(ppm)	0,1	35	32	91,4	Boxplot	0,050	2,10	0,6271	0,5000	0,2000	1,0000	0,50	0,8000	2,2	1,200	2,100
Zn	(ppm)	1	35	35	100,0	Boxplot	11,000	101,00	48,6857	50,0000	22,0000	71,0000	26,17	49,0000	144,5	81,000	101,000
Zr	(ppm)	0,5	35	34	97,1	Boxplot	0,250	46,00	8,3929	3,0000	1,6000	9,7000	12,00	8,1000	21,85	27,200	46,000

TABELA 22

Parâmetros estatísticos para solos subsuperficiais (Sub).

ELEMENTO	UNIDADE	LIMITE DE DETECÇÃO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	90	98
Ag	(ppm)	0,01	35	8	22,9	Percentil	0,005	0,22	0,0219	0,0050	0,0050	0,0050	0,05	0,0000	0,005	0,0600	0,220
Al	(%)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,690	8,12	3,6560	3,3200	2,4100	4,8200	1,87	2,4100	8,435	6,2100	8,120
As	(ppm)	1	35	35	100,0	Boxplot	1,000	14,00	5,6857	6,00	3,0000	7,0000	3,00	4,0000	13	9,0000	14,000
Ba	(ppm)	5	35	34	97,1	Boxplot	2,500	240,00	73,79	57,00	23,0000	79,0000	66,01	56,0000	163	207,0000	240,000
Be	(ppm)	0,1	35	34	97,1	Boxplot	0,050	2,80	0,9214	0,7000	0,4000	1,6000	0,70	1,2000	3,4	1,8000	2,800
Bi	(ppm)	0,02	35	35	100,0	Boxplot	0,050	1,01	0,3306	0,2700	0,1800	0,4300	0,21	0,2500	0,805	0,6300	1,010
Ca	(%)	0,01	35	27	77,1	Boxplot	0,005	0,46	0,0497	0,0300	0,0100	0,0600	0,08	0,0500	0,135	0,1400	0,460
Cd	(ppm)	0,01	35	32	91,4	Boxplot	0,005	0,14	0,0419	0,0400	0,0200	0,0600	0,03	0,0400	0,12	0,0700	0,140
Ce	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	4,780	148,32	55,8806	48,2900	29,6200	75,7000	37,26	46,0800	144,82	101,2800	148,320
Co	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	0,500	40,00	7,9657	4,6000	2,2000	9,6000	9,40	7,4000	20,7	19,1000	40,000
Cr	(ppm)	1	35	34	97,1	Boxplot	0,500	157,00	21,6143	16,0000	9,0000	24,0000	26,16	15,0000	46,5	40,0000	157,000
Cs	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,640	14,37	4,4643	3,5200	2,3500	5,1200	3,29	2,7700	9,275	9,8200	14,370
Cu	(ppm)	0,5	35	35	100,0	Boxplot	2,000	178,10	31,2200	9,7000	6,1000	35,2000	44,15	29,1000	78,85	96,9000	178,100
Fe	(%)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	1,010	11,93	4,4520	3,5300	2,3700	4,8000	2,95	2,4300	8,445	9,6400	11,930
Ga	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	2,500	30,00	13,8943	11,2000	7,9000	19,1000	8,03	11,2000	35,9	27,6000	30,000
Ge	(ppm)	0,1	35	1	2,9	Pontual	0,050	0,10	0,0514	0,0500	0,0500	0,0500	0,01	0,0000	0,05	0,0500	0,100
Hf	(ppm)	0,05	35	28	80,0	Boxplot	0,025	1,15	0,2993	0,1600	0,1100	0,3600	0,32	0,2500	0,735	0,9400	1,150
Hg	(ppm)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,020	0,20	0,1034	0,1000	0,0600	0,1500	0,05	0,0900	0,285	0,1700	0,200
In	(ppm)	0,02	35	30	85,7	Boxplot	0,010	0,13	0,0554	0,0500	0,0300	0,0800	0,03	0,0500	0,155	0,1000	0,130
K	(%)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,020	0,74	0,1686	0,1100	0,0800	0,2000	0,14	0,1200	0,38	0,3200	0,740
La	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	2,200	36,10	12,9429	11,5000	6,8000	17,9000	8,32	11,1000	34,55	24,6000	36,100
Li	(ppm)	1	35	35	100,0	Boxplot	3,000	37,00	13,3429	13,0000	7,0000	16,0000	7,77	9,0000	29,5	21,0000	37,000
Lu	(ppm)	0,01	35	34	97,1	Boxplot	0,005	0,32	0,0950	0,0800	0,0400	0,1200	0,07	0,0800	0,24	0,1700	0,320
Mg	(%)	0,01	35	35	100,0	Boxplot	0,030	0,59	0,1463	0,1100	0,0700	0,1600	0,13	0,0900	0,295	0,2600	0,590
Mn	(ppm)	5	35	35	100,0	Boxplot	20,000	1227,00	316,4286	189,0000	111,0000	511,0000	306,60	400,0000	1111	685,0000	1227,000
Mo	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,130	1,76	1,0097	0,9600	0,6900	1,3300	0,43	0,6400	2,29	1,7100	1,760
Na	(%)	0,01	35	17	48,6	Percentil	0,005	0,05	0,0097	0,0050	0,0050	0,0100	0,01	0,0050	0,0175	0,0200	0,050
Nb	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,300	2,99	1,2920	1,0300	0,6200	2,1300	0,80	1,5100	4,395	2,3500	2,990

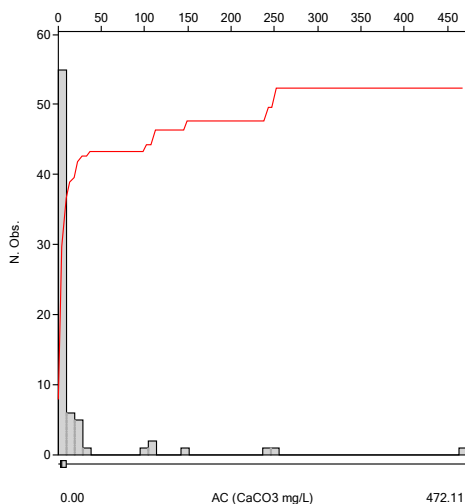
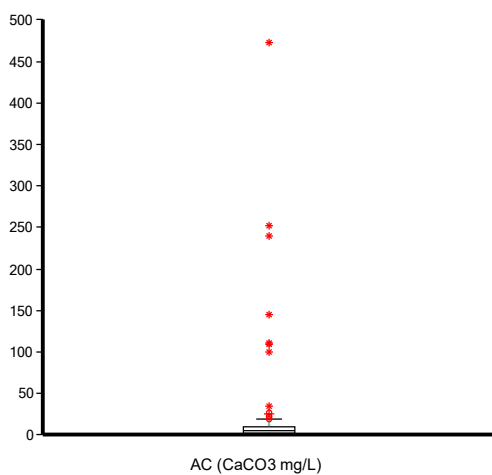
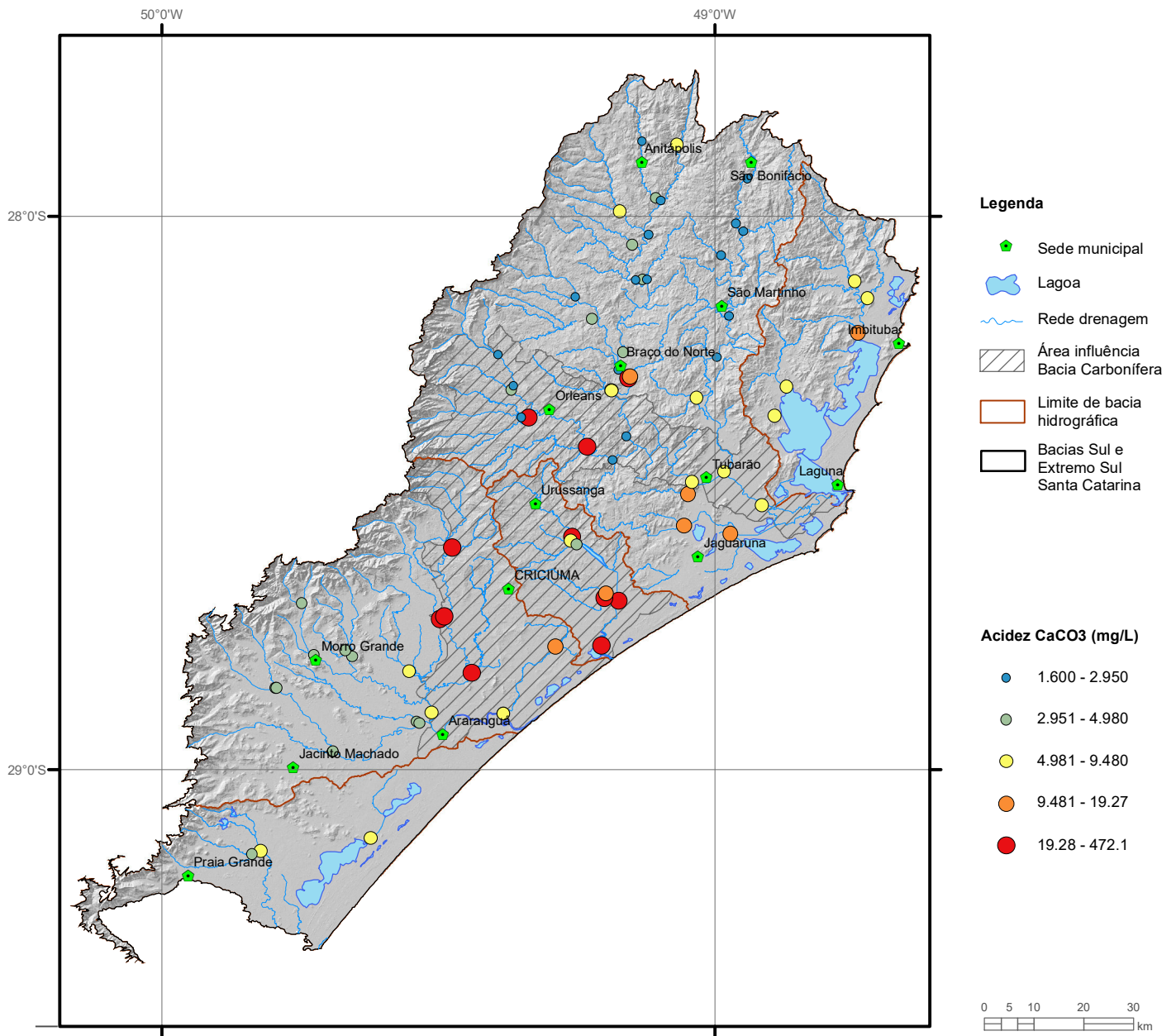
TABELA 22 (continuação)

Parâmetros estatísticos para solos subsuperficiais (Sub).

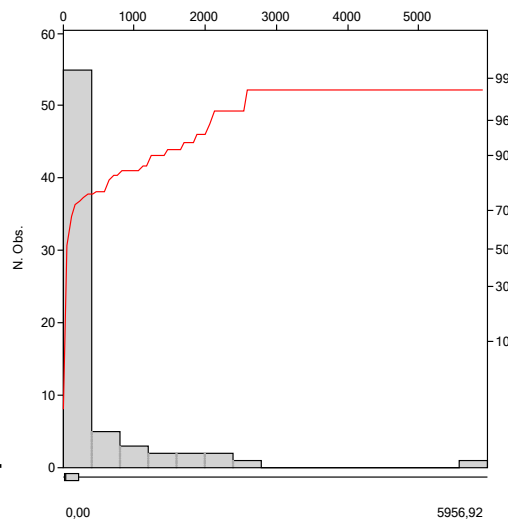
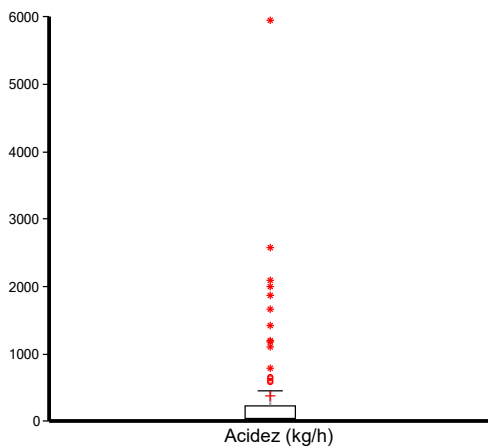
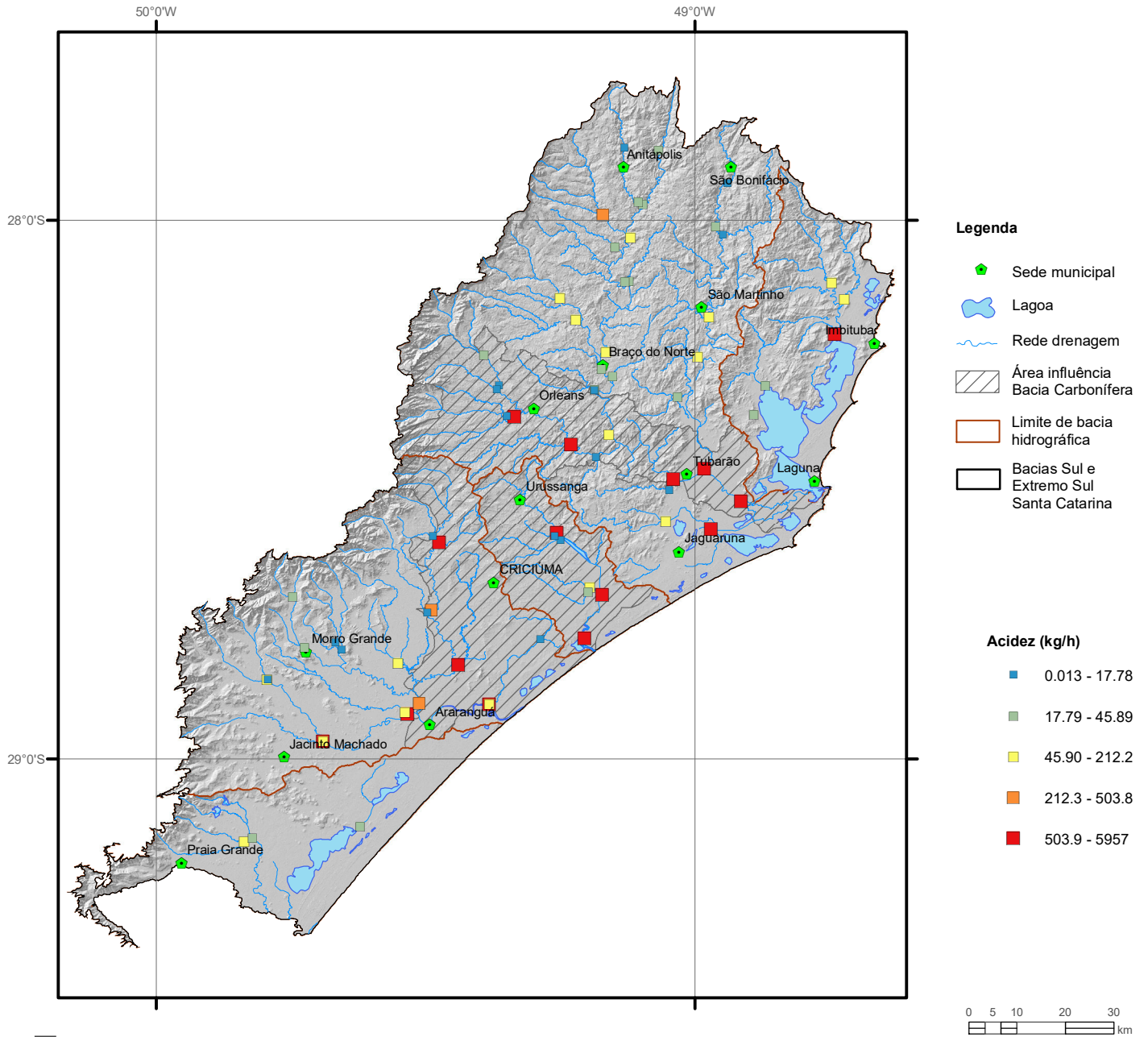
ELEMENTO	UNIDADE	LIMITE DE DETECÇÃO	NÚMERO DE MEDIDAS	MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	% MEDIDAS > LIMITE DETECÇÃO	CLASSES MAPA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	I QUARTIL	III QUARTIL	DESVIO PADRÃO	IQR	UIF = Q3 + 1,5 IQR	90	98
Ni	(ppm)	0,5	35	32	91,4	Boxplot	0,250	69,90	8,2329	4,7000	2,1000	8,0000	12,39	5,9000	16,85	19,2000	69,900
P	(ppm)	50	35	35	100,0	Boxplot	65,000	624,00	283,1429	231,0000	120,0000	406,0000	171,62	286,0000	835	550,0000	624,000
Pb	(ppm)	0,2	35	35	100,0	Boxplot	2,500	44,00	17,5571	16,9000	14,2000	20,4000	7,99	6,2000	29,7	26,9000	44,000
Rb	(ppm)	0,2	35	35	100,0	Boxplot	5,100	121,50	37,0886	27,3000	14,4000	47,4000	30,41	33,0000	96,9	83,2000	121,500
S	(%)	0,01	35	31	88,6	Boxplot	0,005	0,08	0,0226	0,0200	0,0100	0,0300	0,02	0,0200	0,06	0,0400	0,080
Sb	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,050	0,66	0,2346	0,1900	0,1300	0,3100	0,15	0,1800	0,58	0,3800	0,660
Sc	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	0,700	49,90	11,9171	7,0000	3,7000	13,3000	12,91	9,6000	27,7	34,5000	49,900
Se	(ppm)	1	35	2	5,7	Pontual	0,500	1,00	0,5286	0,5000	0,5000	0,5000	0,12	0,0000	0,5	0,5000	1,000
Sn	(ppm)	0,3	35	35	100,0	Boxplot	0,400	12,20	2,6286	2,2000	1,4000	3,2000	2,13	1,8000	5,9	4,5000	12,200
Sr	(ppm)	0,5	35	35	100,0	Boxplot	0,800	52,70	8,9457	6,2000	4,5000	11,1000	9,14	6,6000	21	17,1000	52,700
Tb	(ppm)	0,02	35	35	100,0	Boxplot	0,040	0,89	0,2923	0,2600	0,1500	0,3900	0,19	0,2400	0,75	0,6300	0,890
Te	(ppm)	0,05	35	1	2,9	Pontual	0,025	0,07	0,0263	0,0250	0,0250	0,0250	0,01	0,0000	0,025	0,0250	0,070
Th	(ppm)	0,1	35	35	100,0	Boxplot	0,800	35,40	11,1143	8,4000	4,8000	18,3000	8,55	13,5000	38,55	23,3000	35,400
Ti	(%)	0,01	35	34	97,1	Boxplot	0,005	0,32	0,0941	0,0500	0,0200	0,1400	0,10	0,1200	0,32	0,2700	0,320
Tl	(ppm)	0,02	35	35	100,0	Boxplot	0,030	1,18	0,3857	0,3100	0,2400	0,4800	0,26	0,2400	0,84	0,7700	1,180
U	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,230	5,34	2,1249	1,7400	0,9600	3,5800	1,52	2,6200	7,51	4,4700	5,340
V	(ppm)	1	35	35	100,0	Boxplot	13,000	411,00	107,6571	62,0000	34,0000	129,0000	108,70	95,0000	271,5	303,0000	411,000
W	(ppm)	0,1	35	16	45,7	Percentil	0,050	0,50	0,1071	0,0500	0,0500	0,1000	0,10	0,0500	0,175	0,2000	0,500
Y	(ppm)	0,05	35	35	100,0	Boxplot	0,880	26,02	7,2129	6,3400	3,4100	8,7700	5,67	5,3600	16,81	13,8500	26,020
Yb	(ppm)	0,1	35	33	94,3	Boxplot	0,050	2,30	0,6771	0,6000	0,3000	0,8000	0,52	0,5000	1,55	1,2000	2,300
Zn	(ppm)	1	35	35	100,0	Boxplot	5,000	95,00	44,3429	40,0000	24,0000	70,0000	25,91	46,0000	139	85,0000	95,000
Zr	(ppm)	0,5	35	33	94,3	Boxplot	0,250	55,30	14,6000	8,6000	4,2000	15,7000	15,23	11,5000	32,95	45,0000	55,300



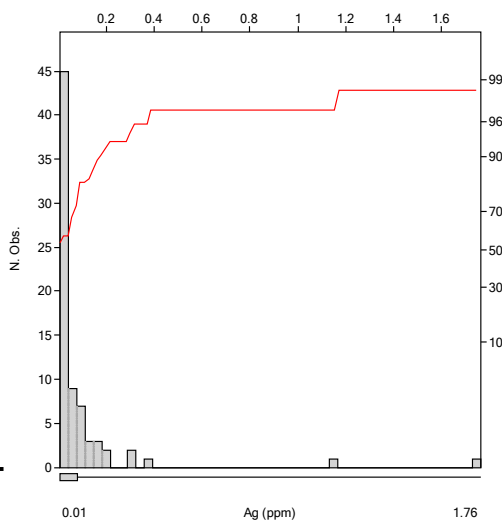
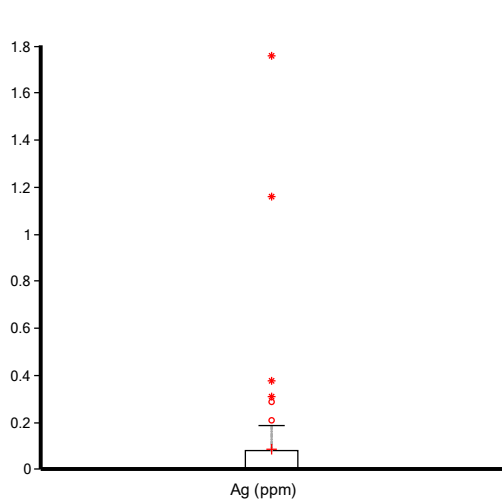
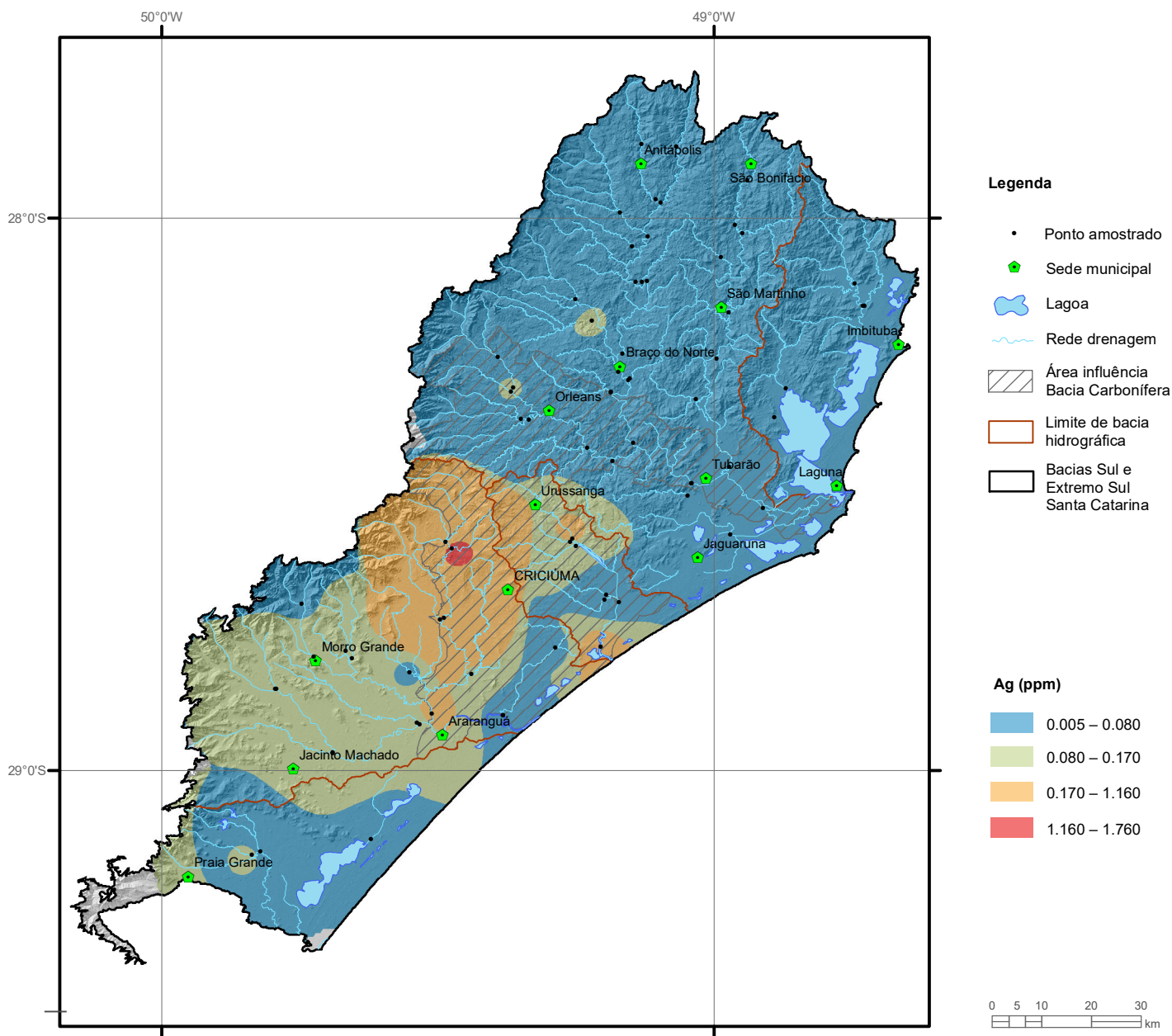
MAPAS GEOQUÍMICOS



Elemento	AC (mg/L)
Limite de Quantificação	1
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	1.60
Valor Máximo	472.1
Média	25.4
Desvio Padrão	69.97
Quartil Superior	9.480
Mediana	4.980
Quartil Inferior	2.950
CONAMA 357/2005	-
Portaria MS 2914/2011	-



Estatística Descritiva	
Elemento	Acidez (kg/h)
Número de dados	74
Valor Mínimo	0.013
Valor Máximo	5957
Média	378.6
Desvio Padrão	870.1
Quartil Superior	212.2
Mediana	45.89
Quartil Inferior	17.78

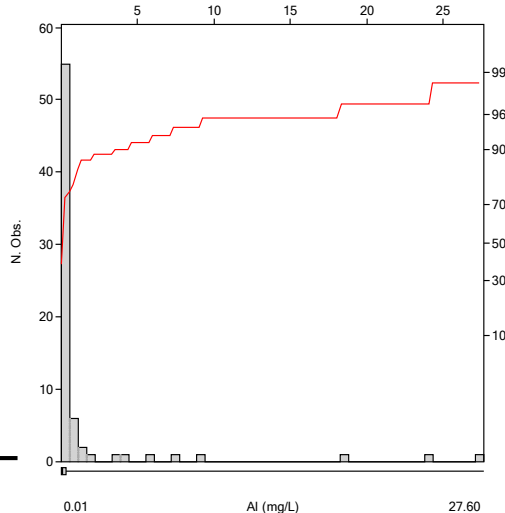
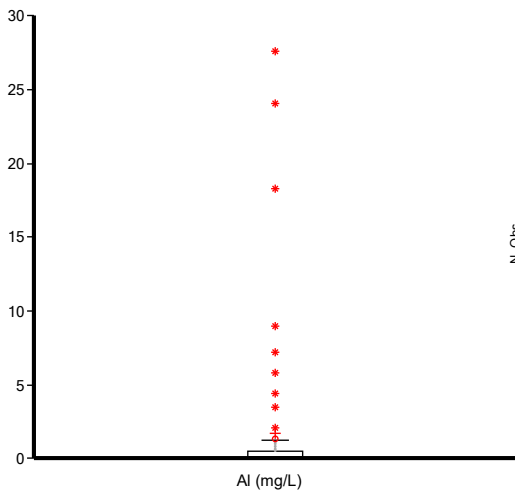
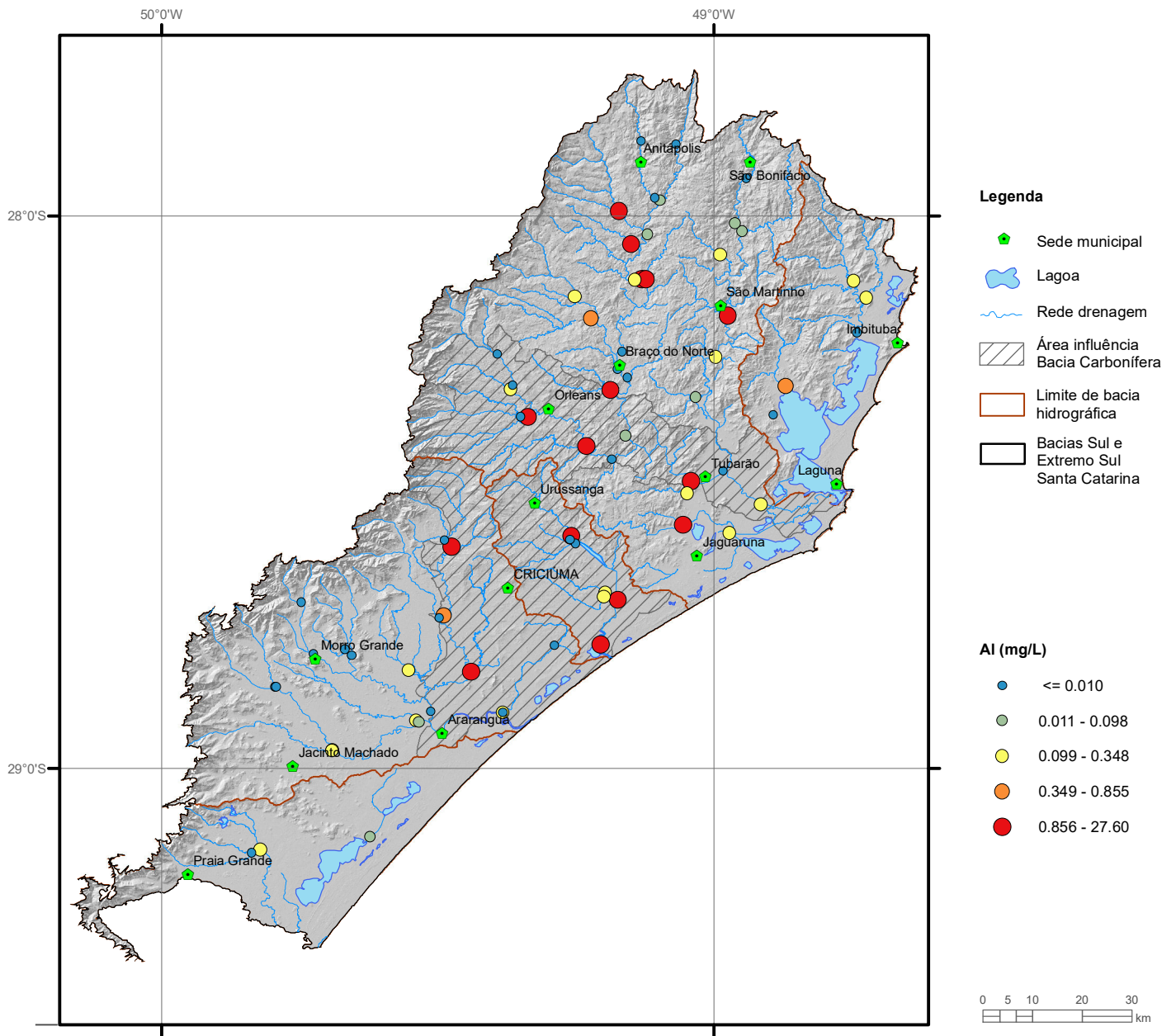


Elemento	Ag (ppm)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	34
Valor Mínimo	0.005
Valor Máximo	1.760
Média	0.089
Desvio Padrão	0.248
Quartil Superior	0.080
Mediana	0.005
Quartil Inferior	0.005
Clarke	0.08
NOAA/2008 (LEL)	0.5

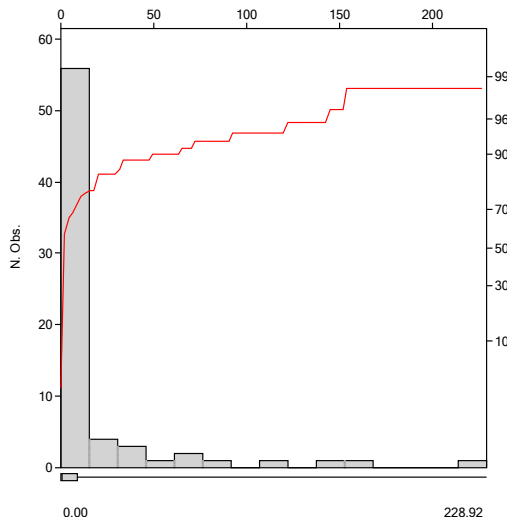
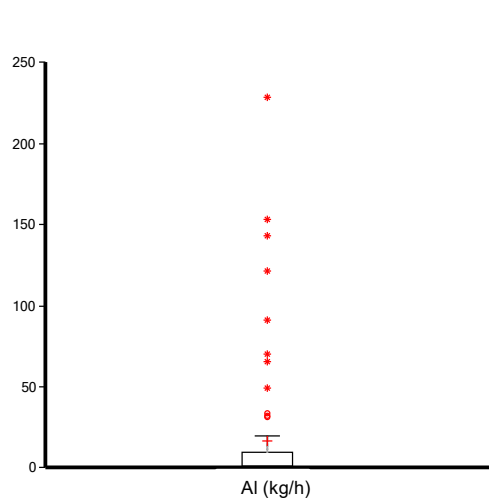
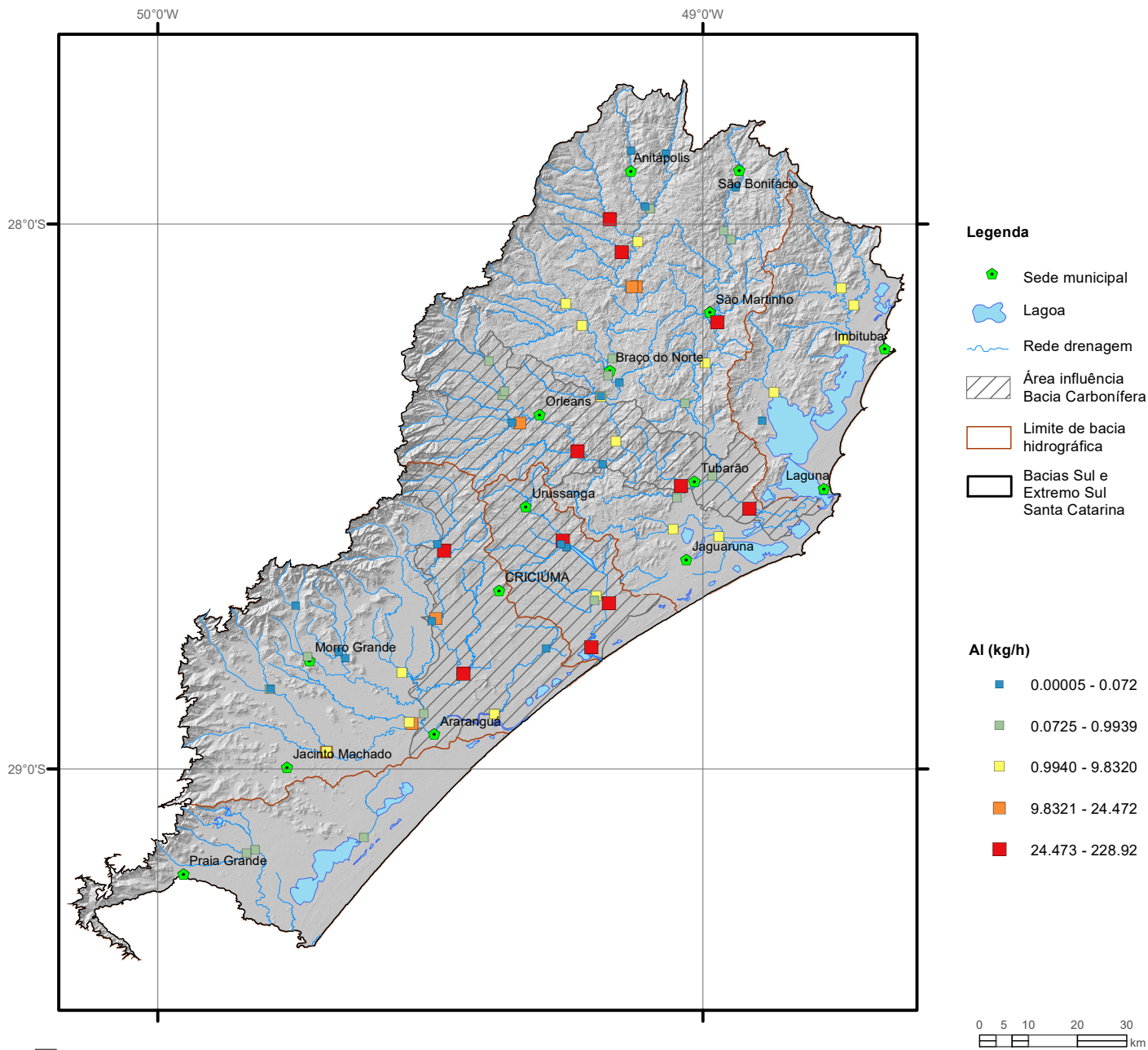
ALUMÍNIO

Al

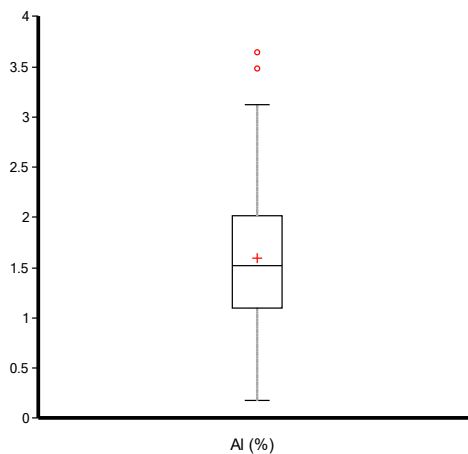
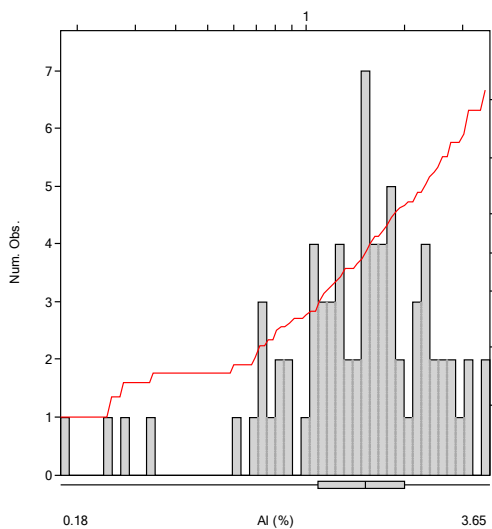
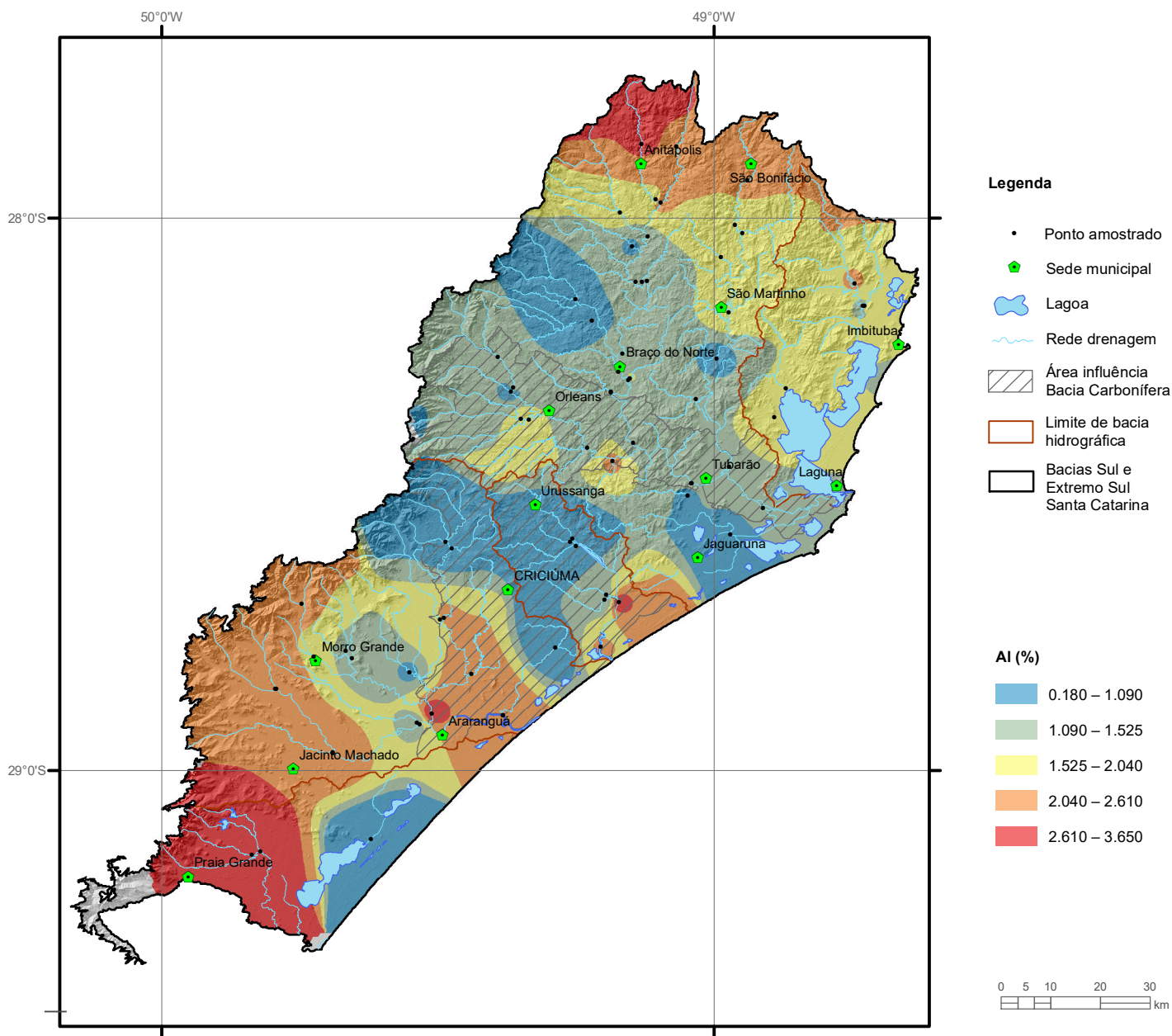
Água Superficial



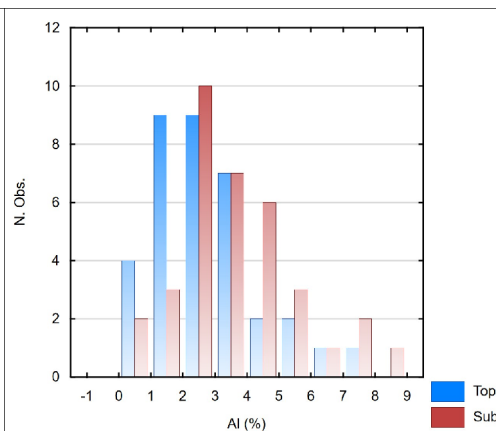
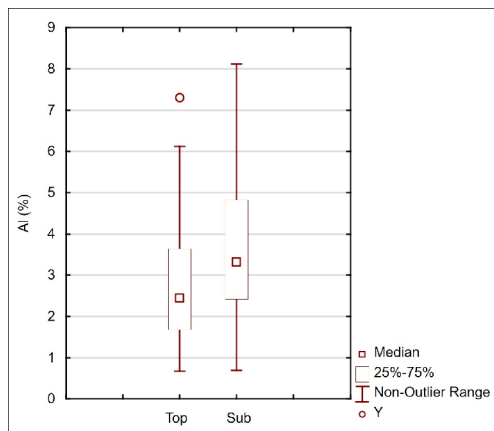
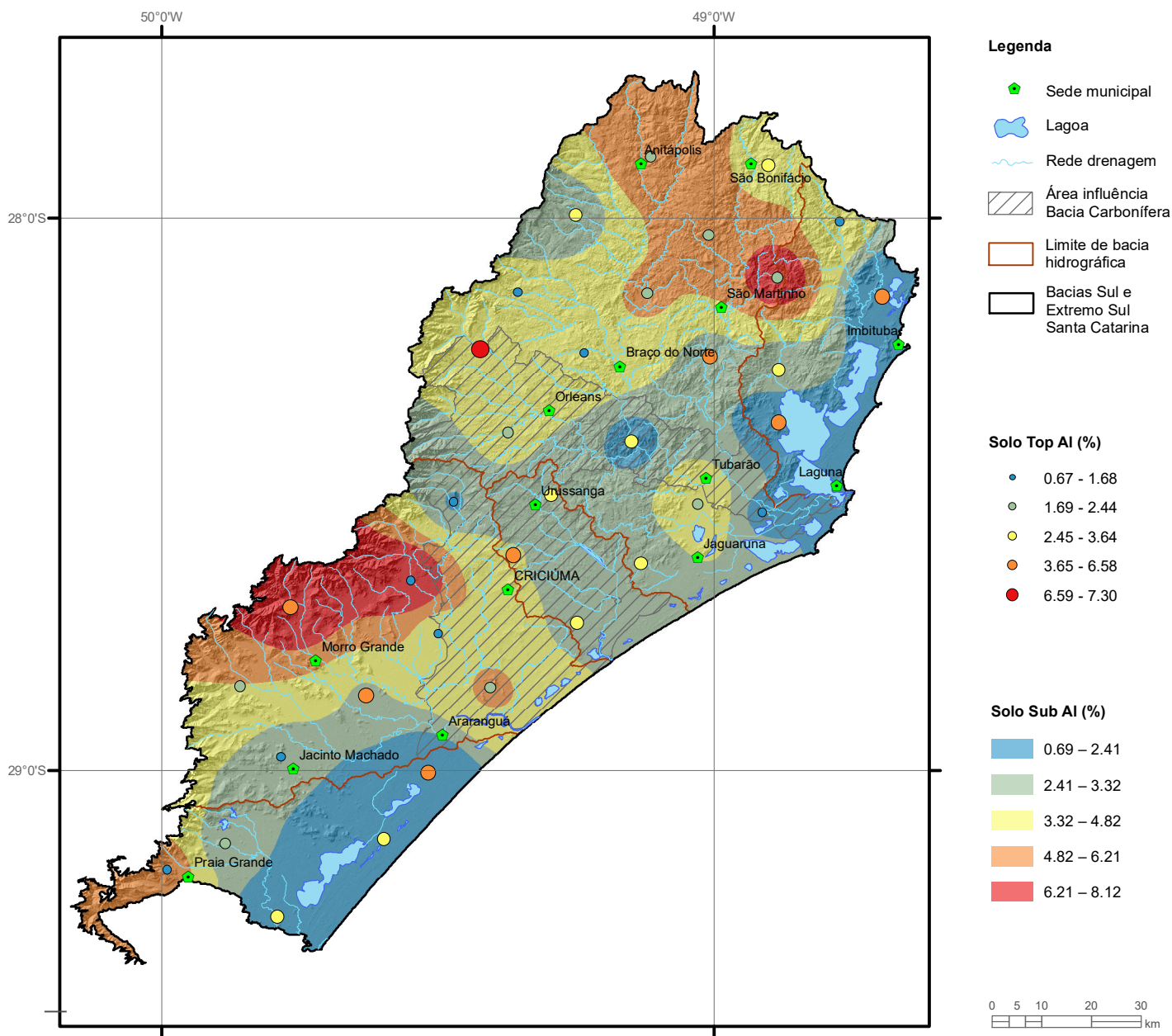
Elemento	Al (mg/L)
Limite de Quantificação	0.01
Número de dados	72
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	0.010
Valor Máximo	27.60
Média	1.584
Desvio Padrão	4.91
Quartil Superior	0.348
Mediana	0.098
Quartil Inferior	0.010
CONAMA 357/2005 (II)	0.1
Portaria MS 2914/2011	0.2



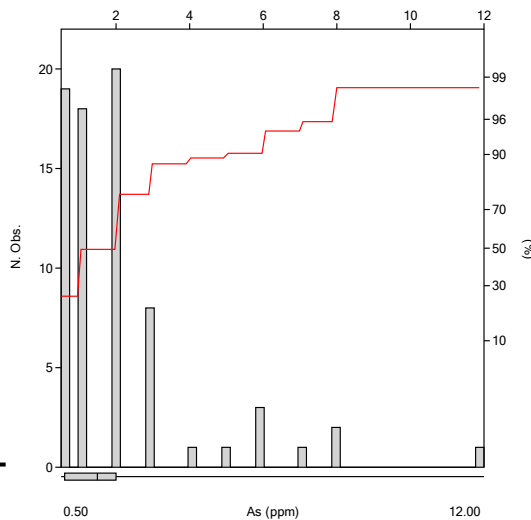
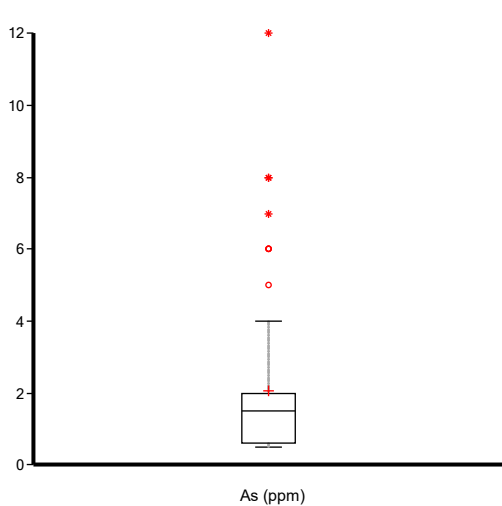
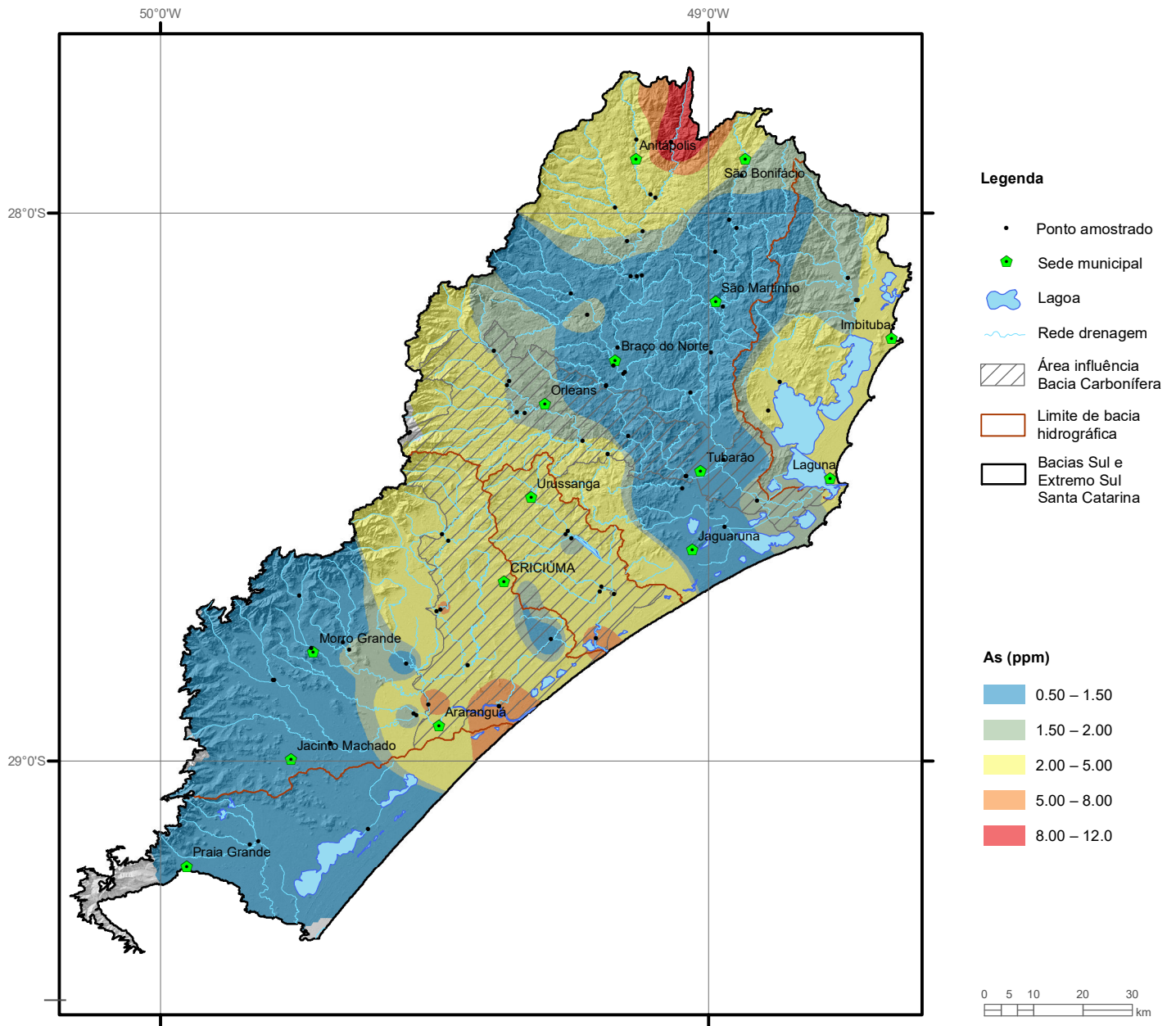
Estatística Descritiva	
Elemento	AI (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.00005
Valor Máximo	228.92
Média	19.977
Desvio Padrão	40.471
Quartil Superior	9.8320
Mediana	0.9939
Quartil Inferior	0.0724



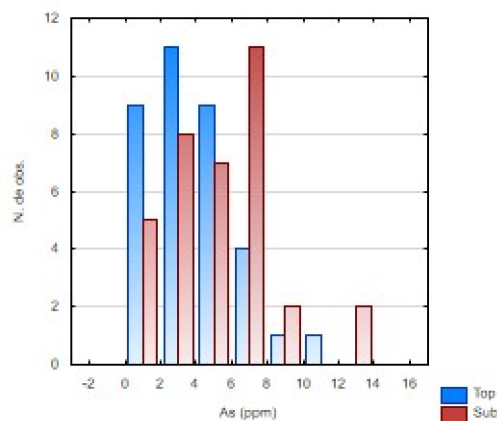
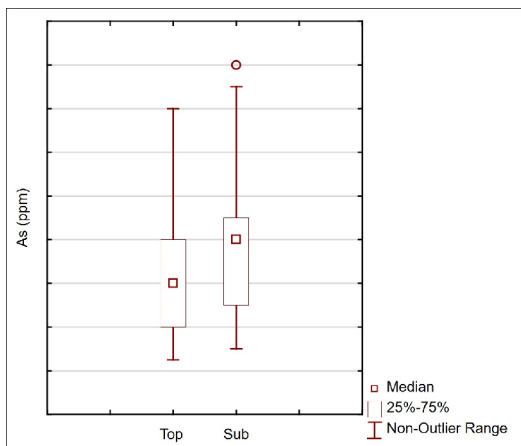
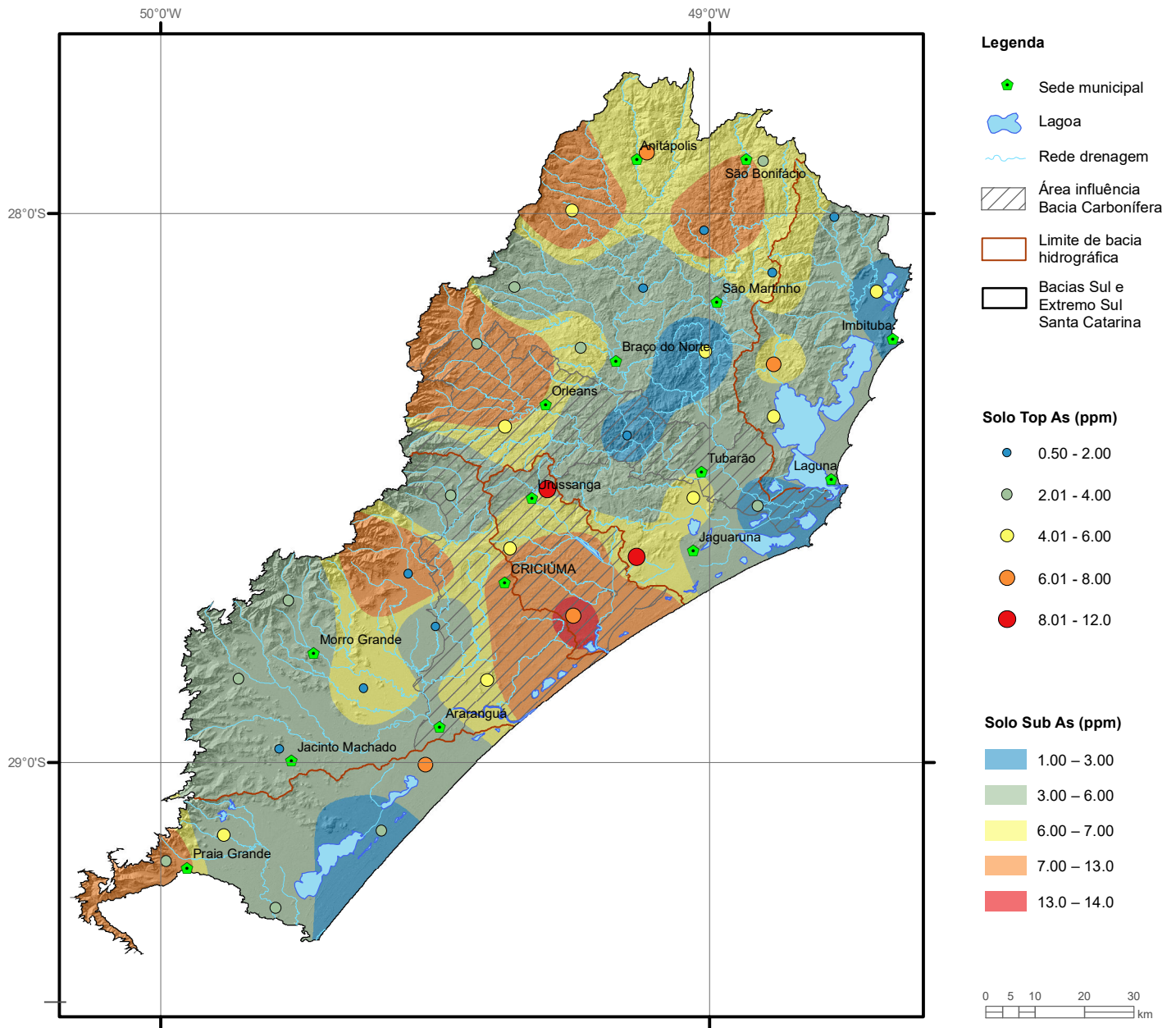
Elemento	Al (%)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.18
Valor Máximo	3.65
Média	1.60
Desvio Padrão	0.76
Quartil Superior	2.04
Mediana	1.525
Quartil Inferior	1.09
Clarke	8.15
NOAA/2008 (TEL)	2.50



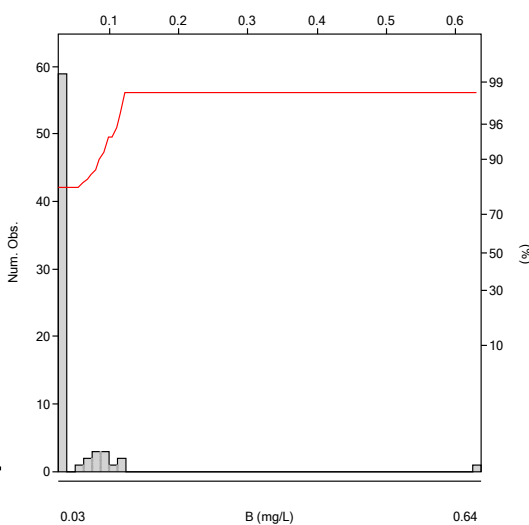
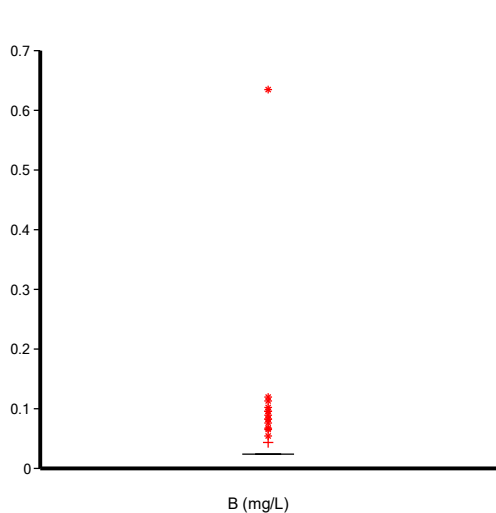
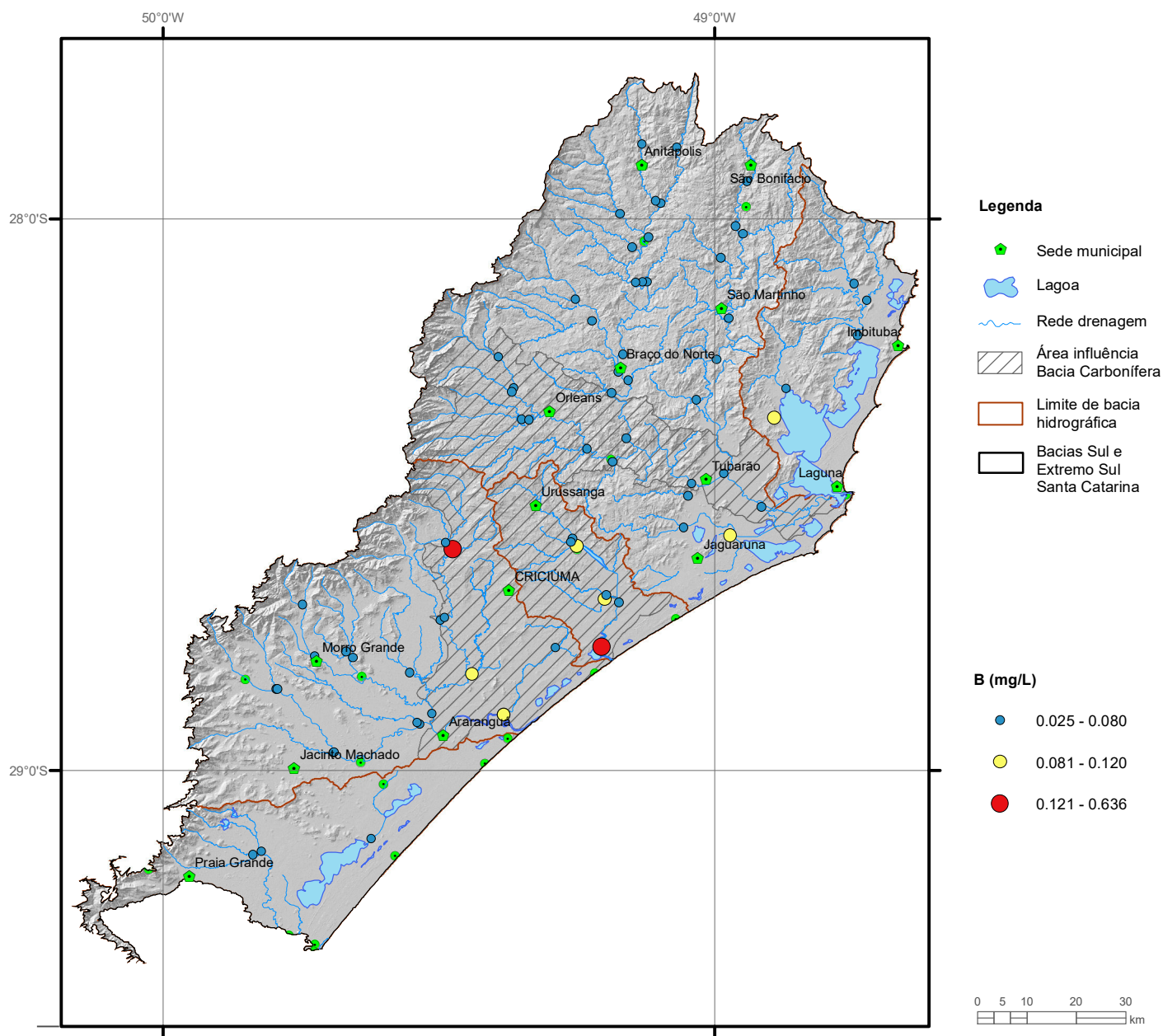
Elemento	AI (%)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.67	0.69
Valor Máximo	7.30	8.12
Média	2.757	3.656
Desvio Padrão	1.54	1.87
Quartil Superior	3.64	4.82
Mediana	2.44	3.32
Quartil Inferior	1.68	2.41
CONAMA 420/2009 (VP)		-
NOAA/2008 (Eco-SSL)		5.00



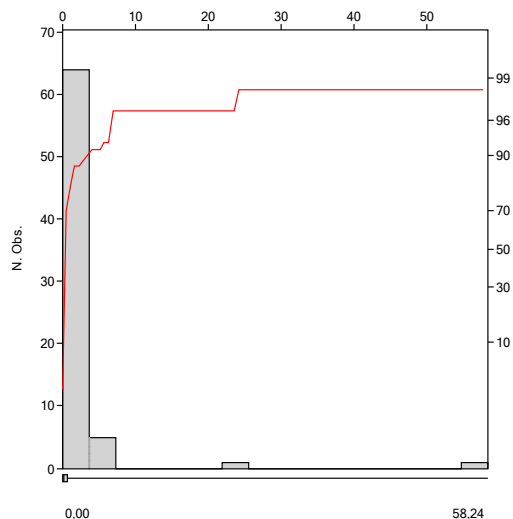
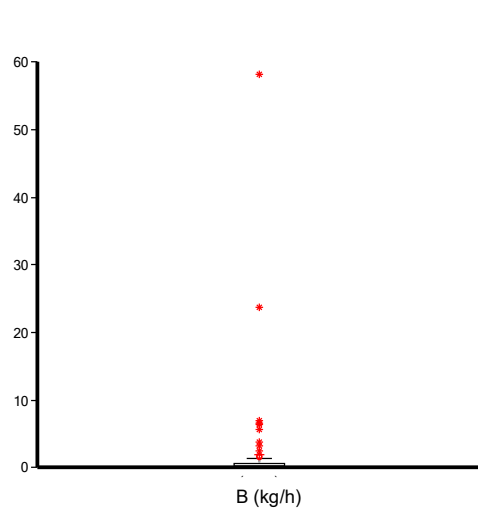
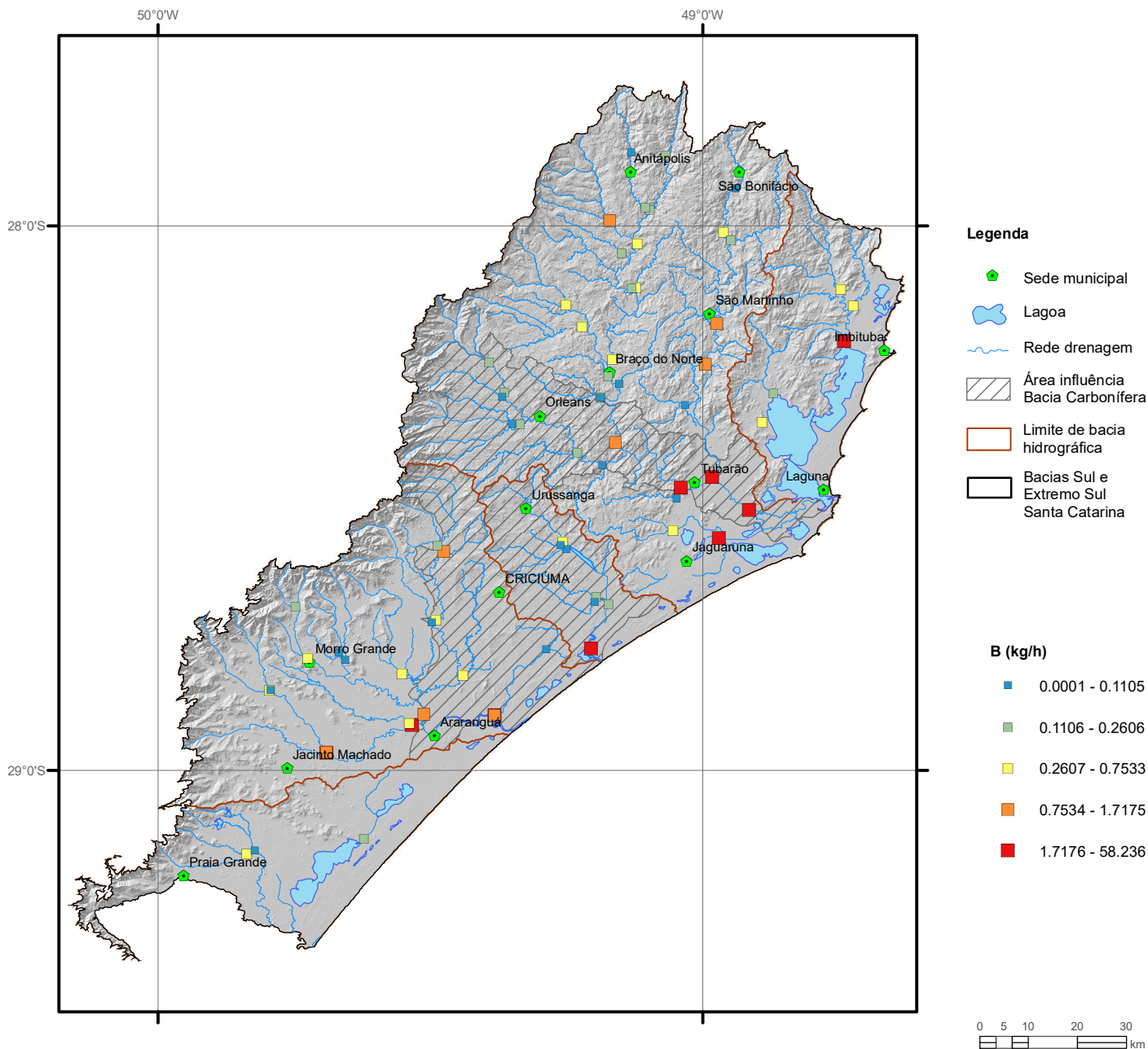
Elemento	As (ppm)
Limite de Detecção	1
Número de dados	74
Número de dados > LD	55
Valor Mínimo	0.50
Valor Máximo	12.00
Média	2.07
Desvio Padrão	2.11
Quartil Superior	2.00
Mediana	1.50
Quartil Inferior	0.50
Clarke	1.8
CONAMA 454/2012 (N1)	5.9



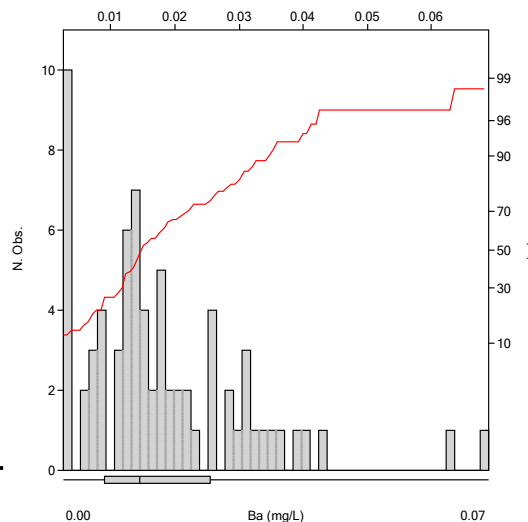
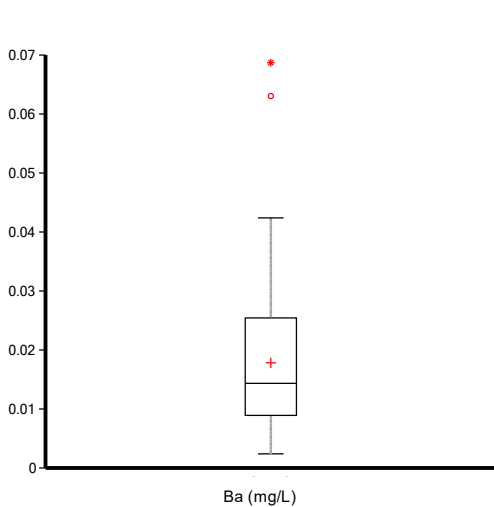
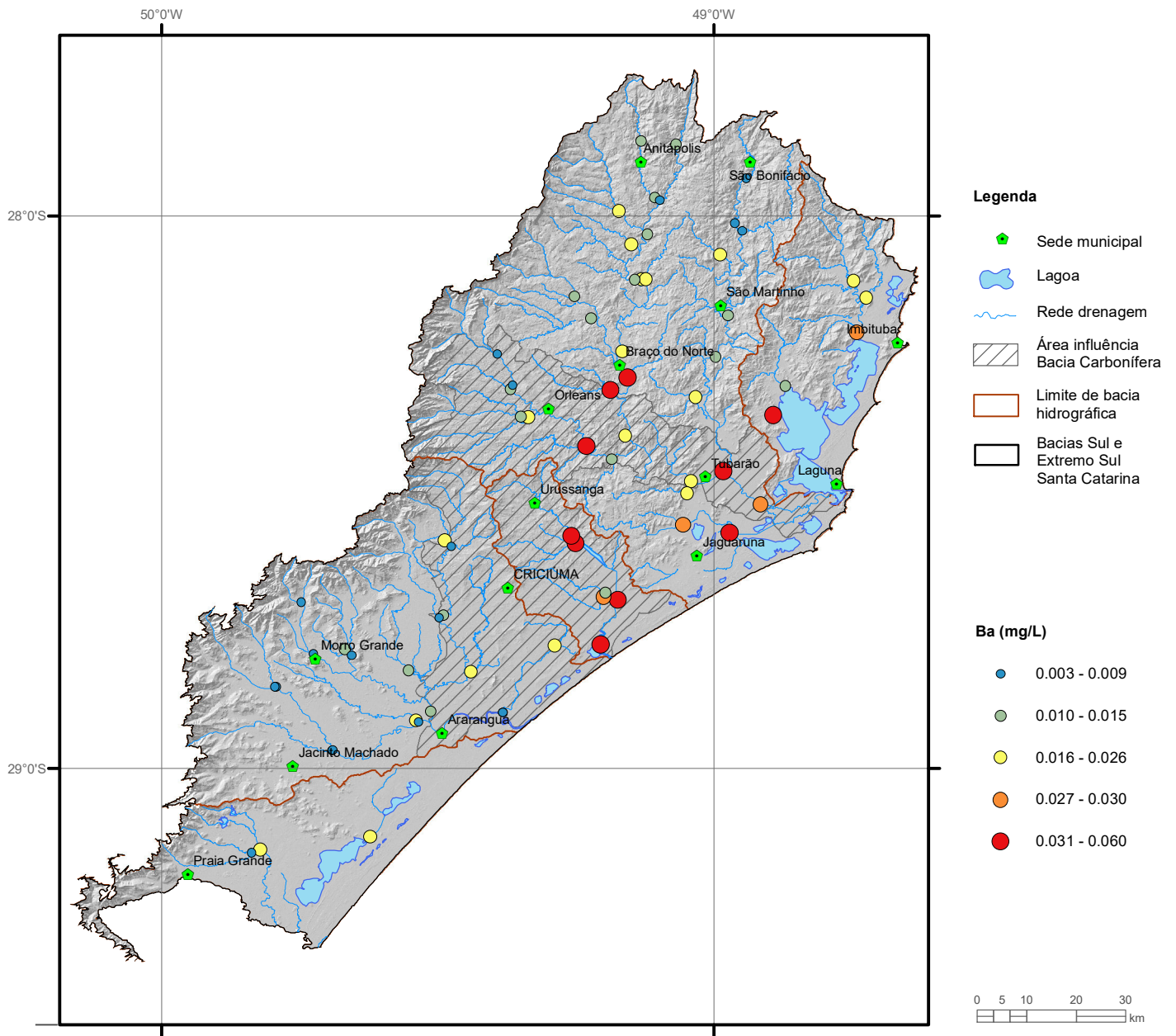
Elemento	As (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	1	1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	34	35
Valor Mínimo	0.50	1.00
Valor Máximo	12.00	14.00
Média	4.39	5.69
Desvio Padrão	2.51	3.00
Quartil Superior	6.00	7.00
Mediana	4.00	6.00
Quartil Inferior	2.00	3.00
CONAMA 420/2009 (VP)		15
NOAA/2008 (Eco-SSL)		-



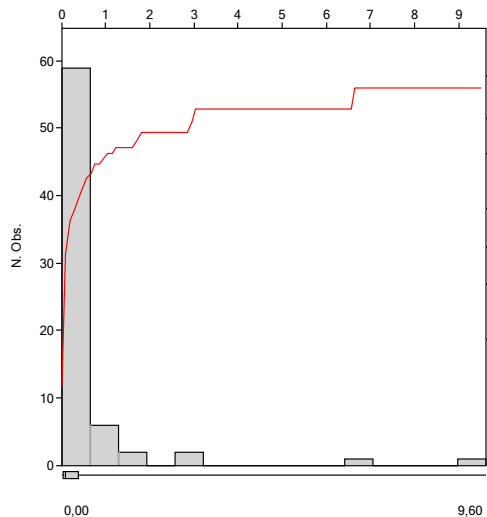
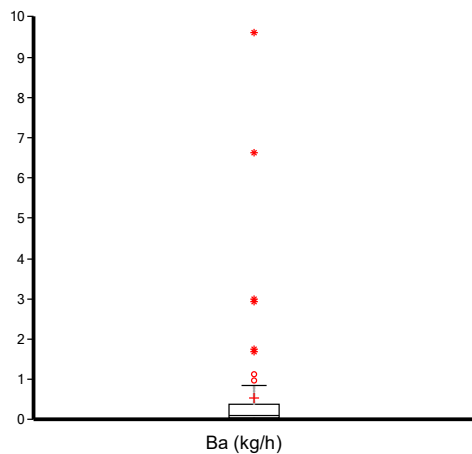
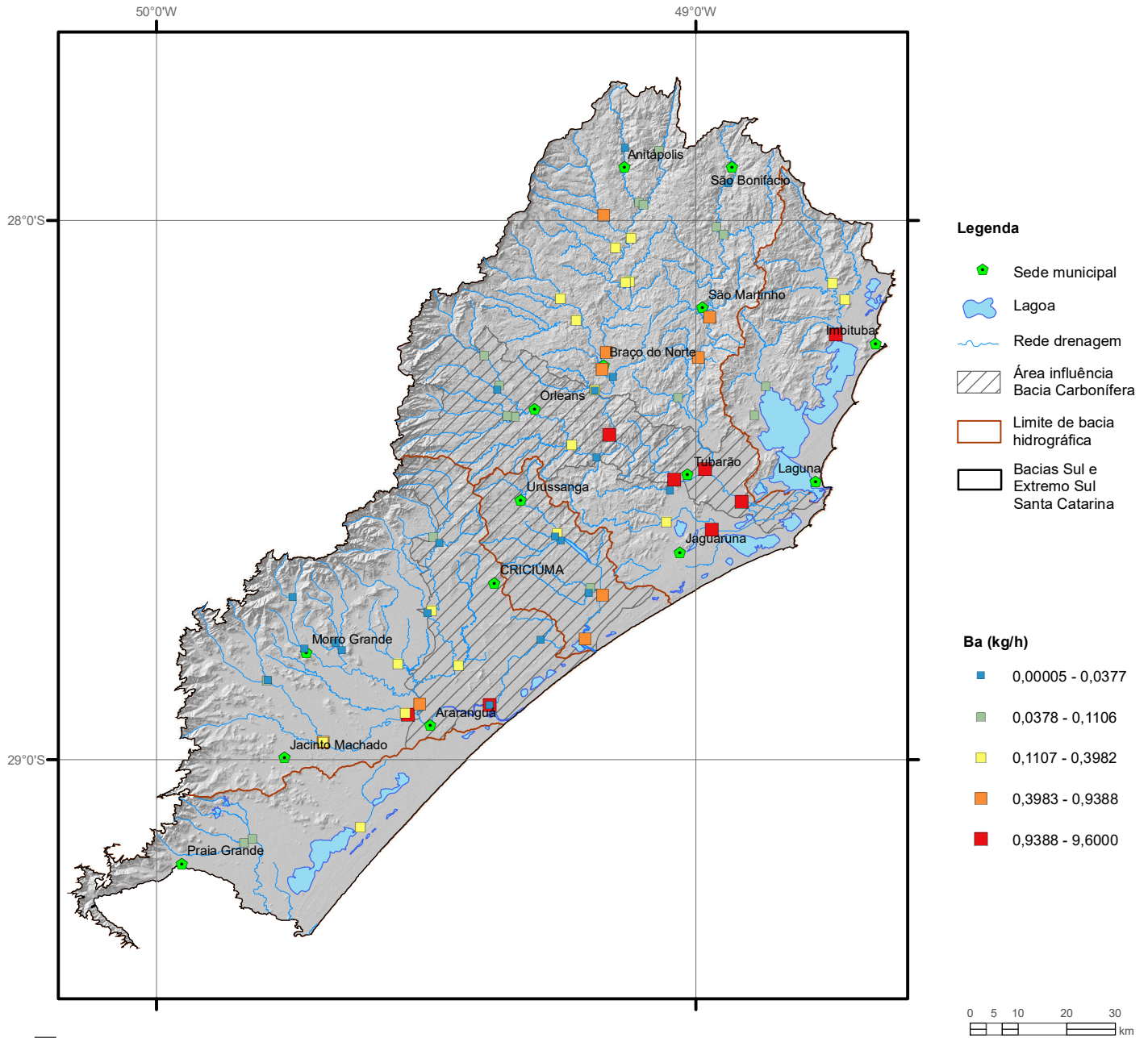
Elemento	B (mg/L)
Limite de Quantificação	0.05
Número de dados	72
Número de dados > LD	13
Valor Mínimo	0.025
Valor Máximo	0.636
Média	0.044
Desvio Padrão	0.07
Quartil Superior	0.025
Mediana	0.025
Quartil Inferior	0.025
CONAMA 357/2005 (II)	0.5
WHO (2011)	2.4



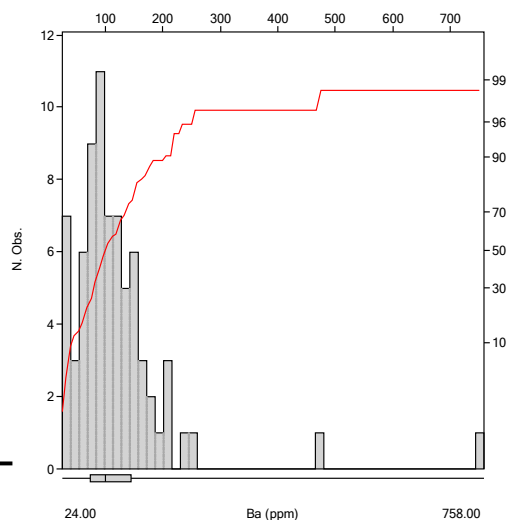
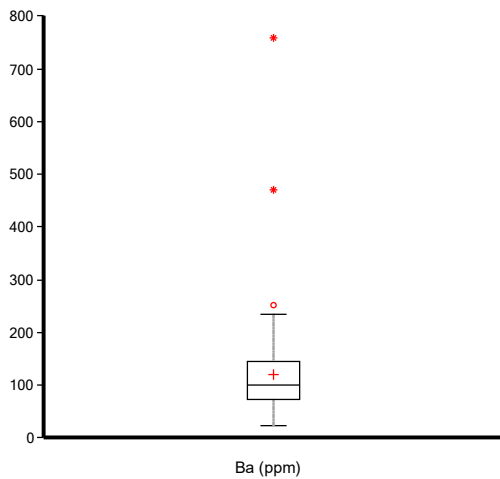
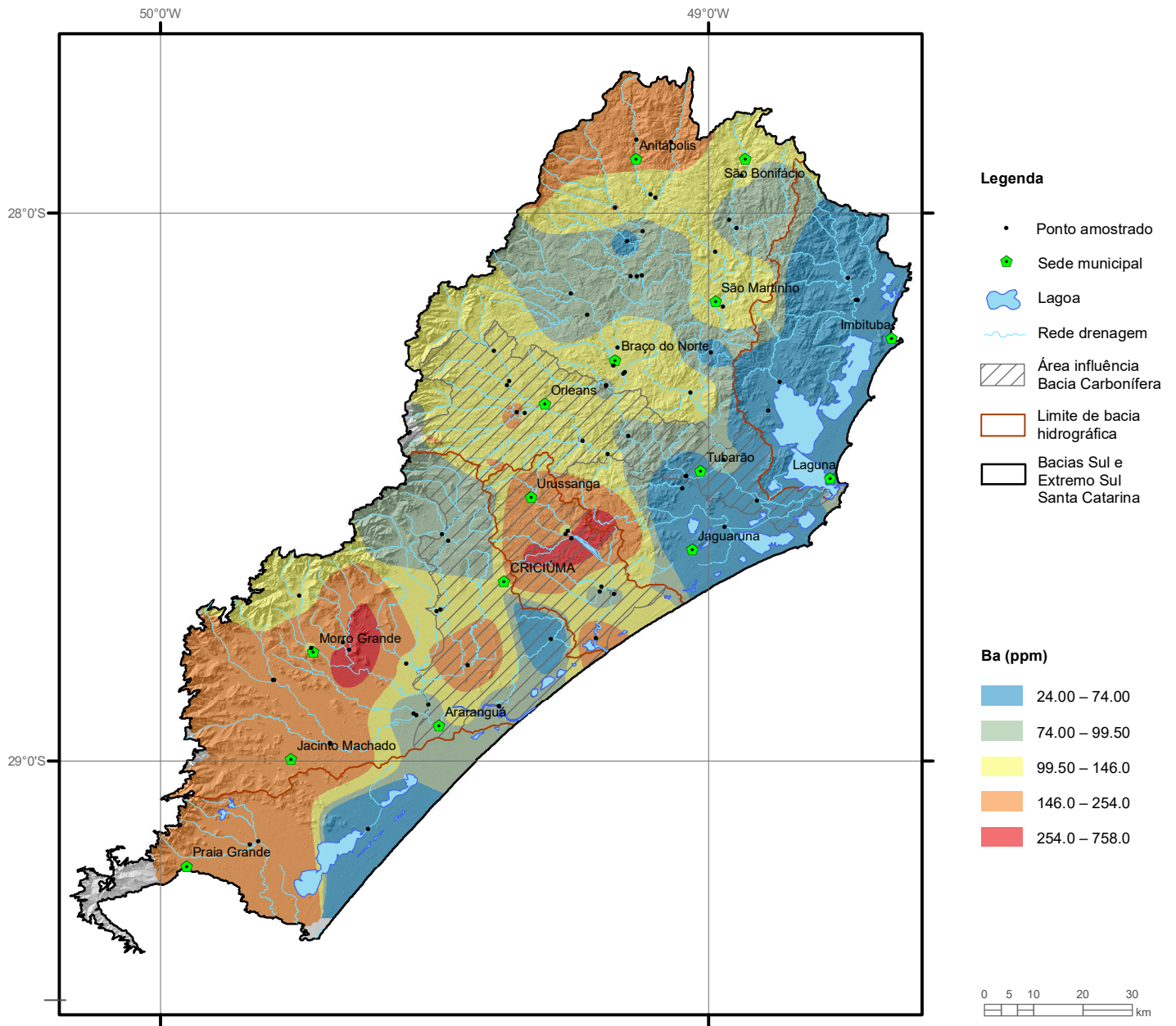
Estatística Descritiva	
Elemento	B (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.0001
Valor Máximo	58.236
Média	19.552
Desvio Padrão	7.4108
Quartil Superior	0.7533
Mediana	0.2606
Quartil Inferior	0.1105



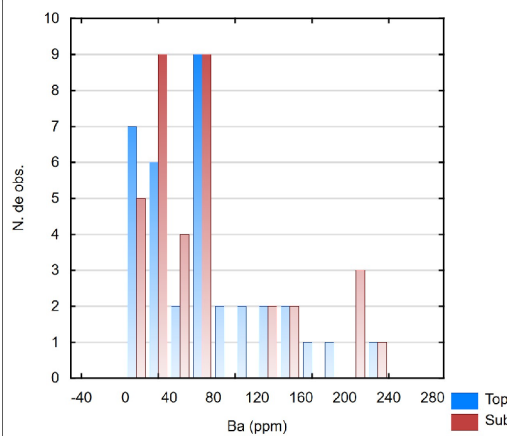
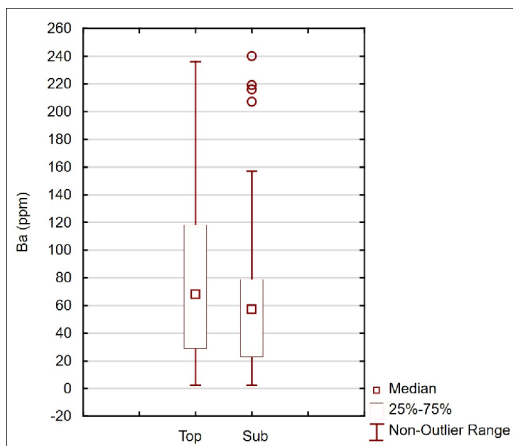
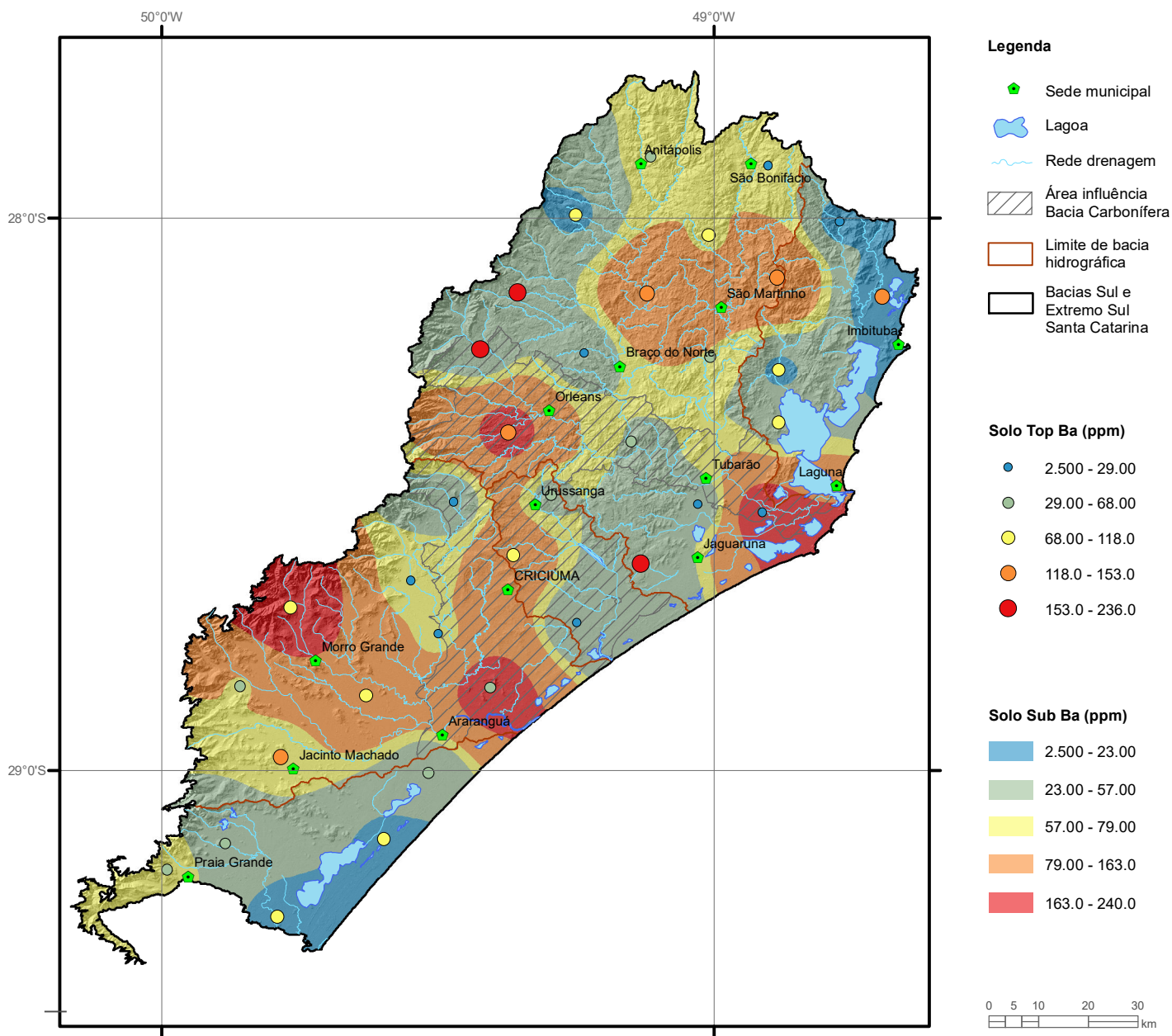
Elemento	Ba (mg/L)
Limite de Quantificação	0.005
Número de dados	72
Número de dados > LD	63
Valor Mínimo	0.003
Valor Máximo	0.07
Média	0.018
Desvio Padrão	0.01
Quartil Superior	0.026
Mediana	0.015
Quartil Inferior	0.009
CONAMA 357/2005 (II)	0.7
Portaria MS 2914/2011	0.7



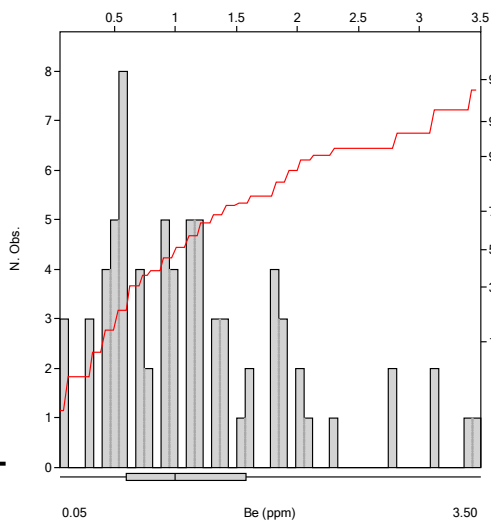
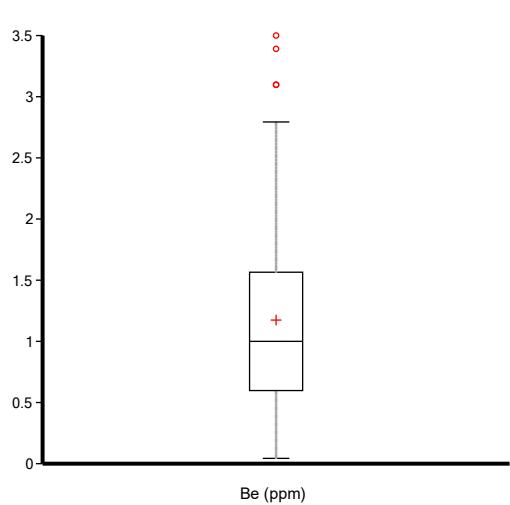
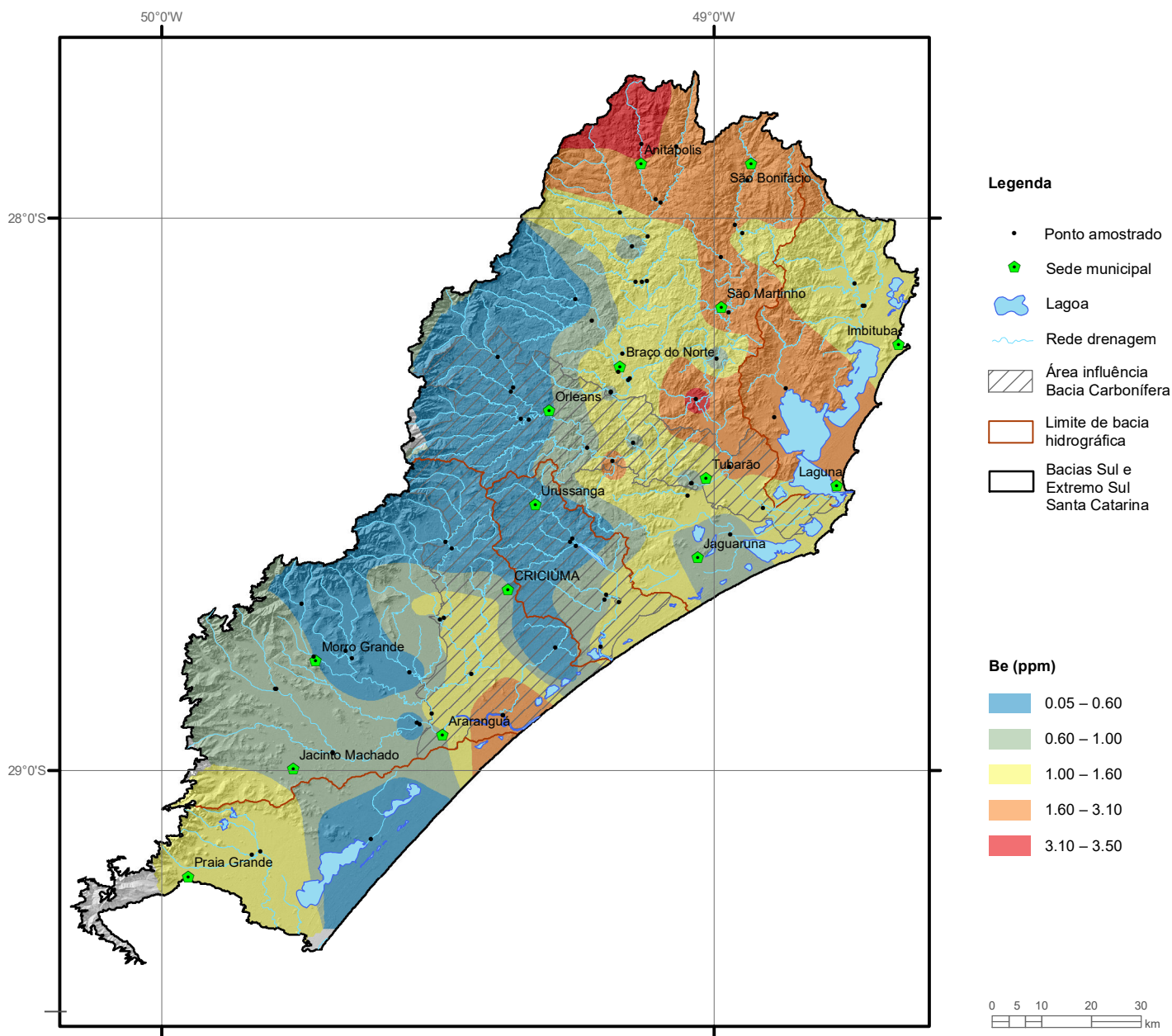
Estatística Descritiva	
Elemento	Ba (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.00005
Valor Máximo	9.60000
Média	0.55296
Desvio Padrão	1.43266
Quartil Superior	0.39816
Mediana	0.11055
Quartil Inferior	0.03771



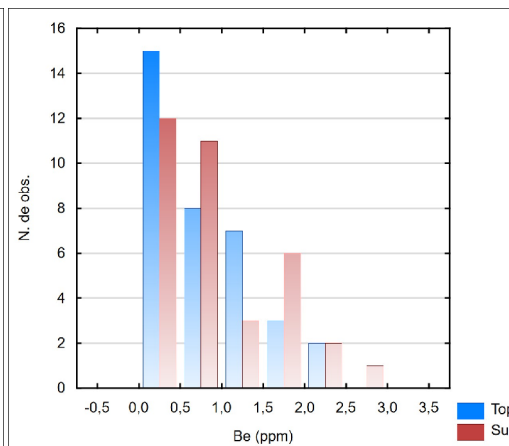
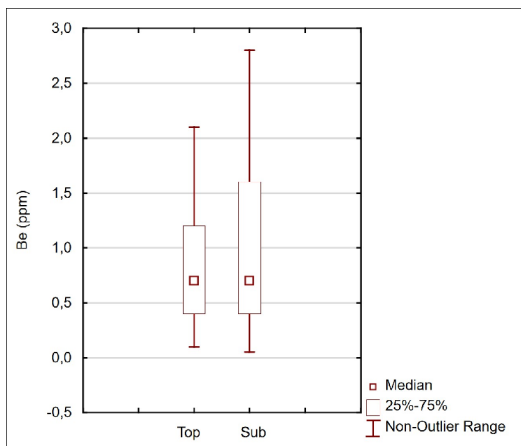
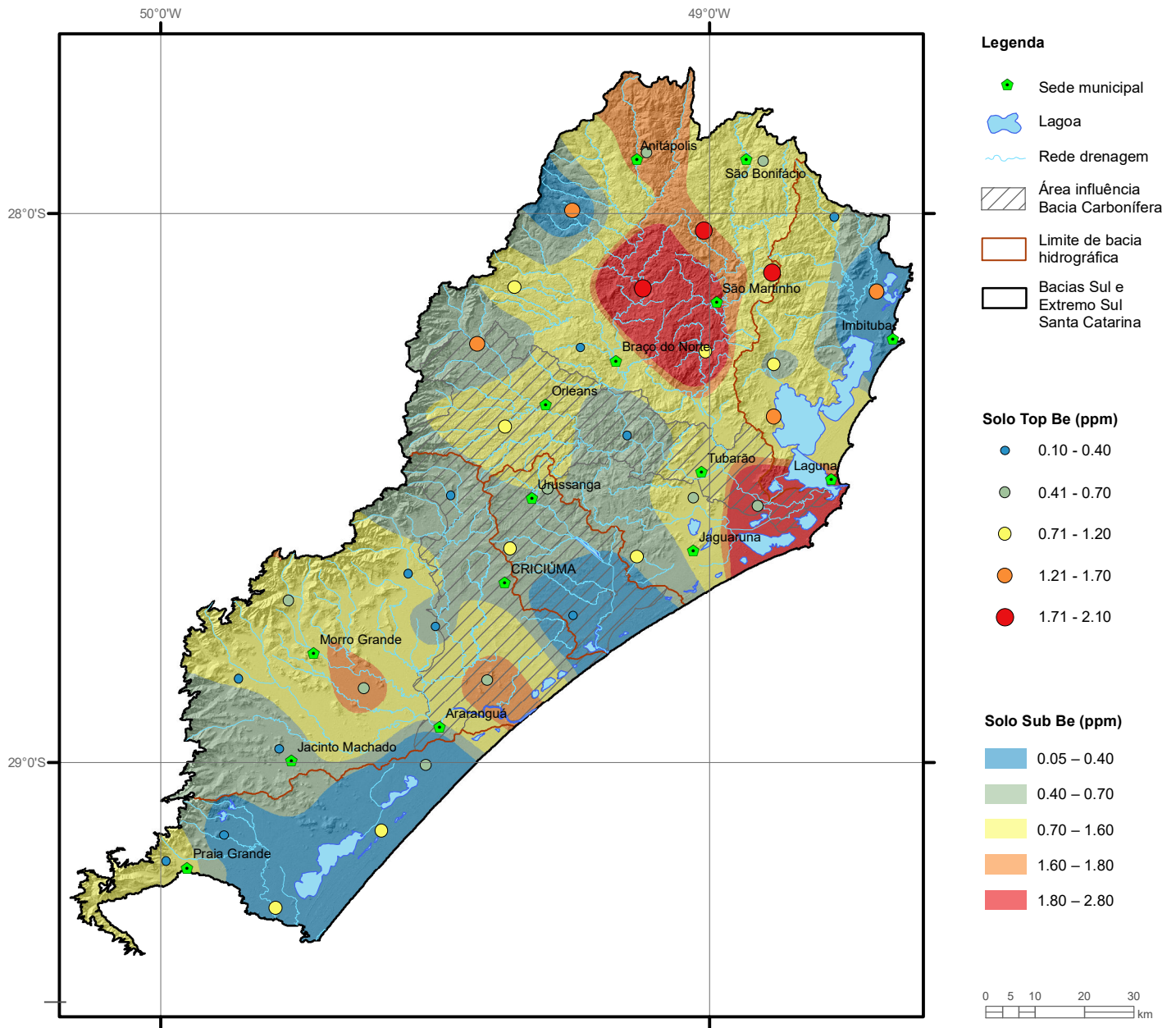
Elemento	Ba (ppm)
Limite de Detecção	5
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	24.0
Valor Máximo	758.0
Média	121.0
Desvio Padrão	100.2
Quartil Superior	146.0
Mediana	99.5
Quartil Inferior	74.0
Clarke	390
NOAA/2008 (Background)	700



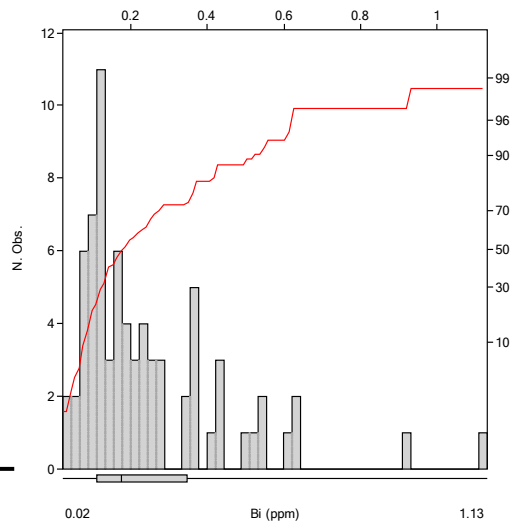
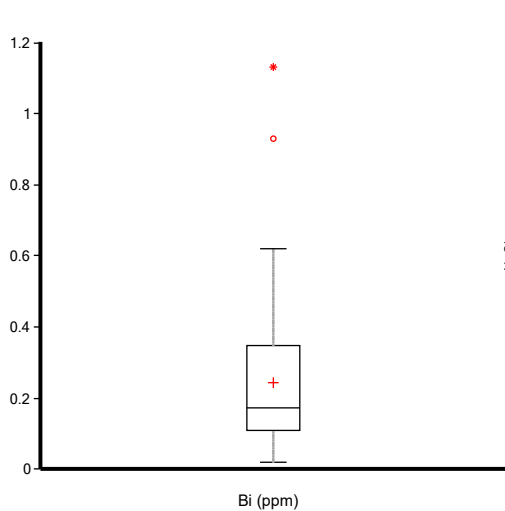
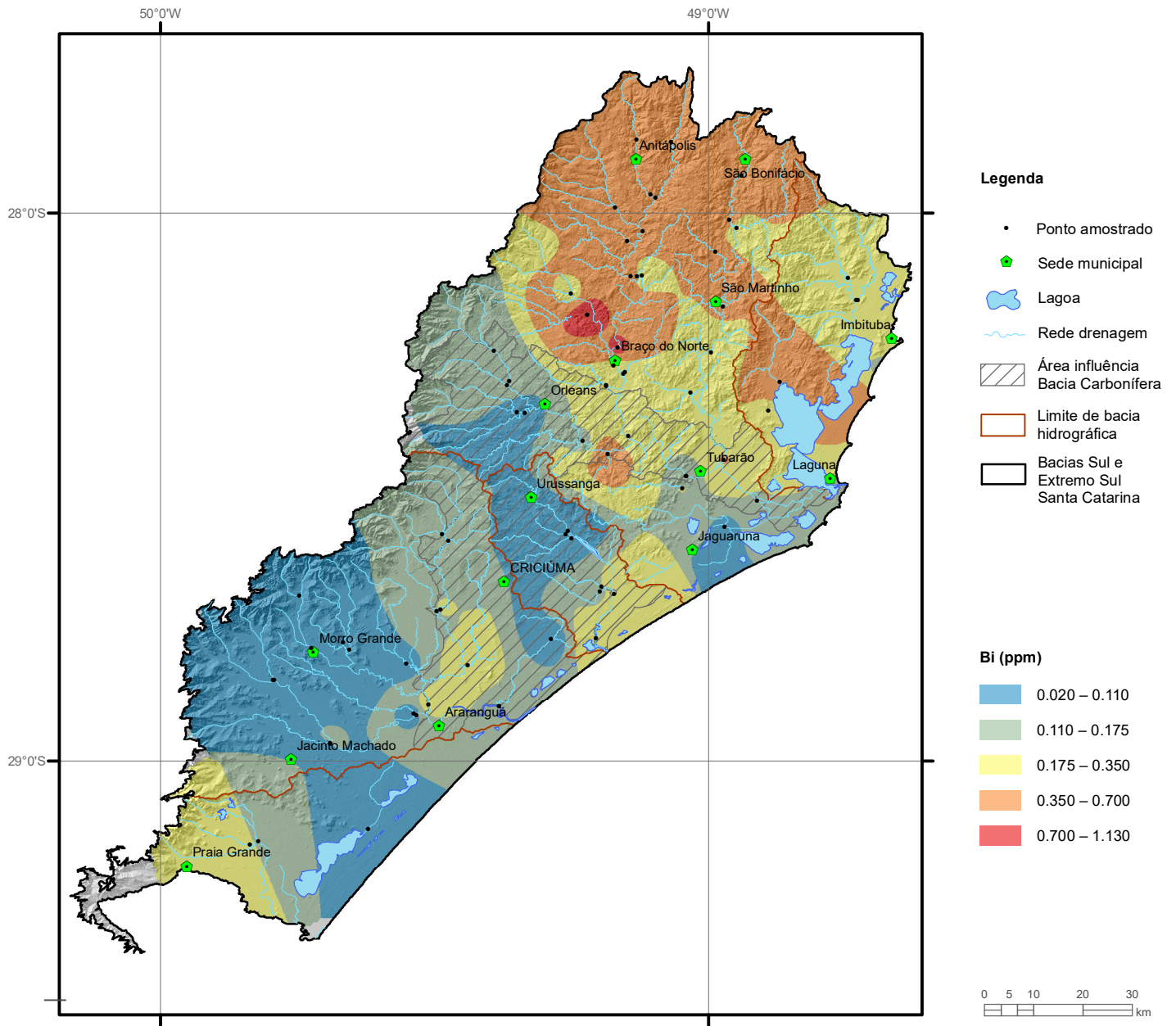
Elemento	Ba (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	5	5
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	33	34
Valor Mínimo	2.50	2.50
Valor Máximo	236.0	240.0
Média	74.00	73.79
Desvio Padrão	56.18	66.01
Quartil Superior	118.0	79.0
Mediana	68.0	57.0
Quartil Inferior	29.0	23.0
CONAMA 420/2009 (VP)		150
NOAA/2008 (Target)		160



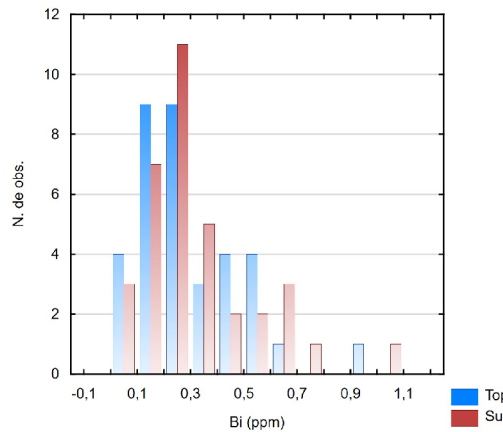
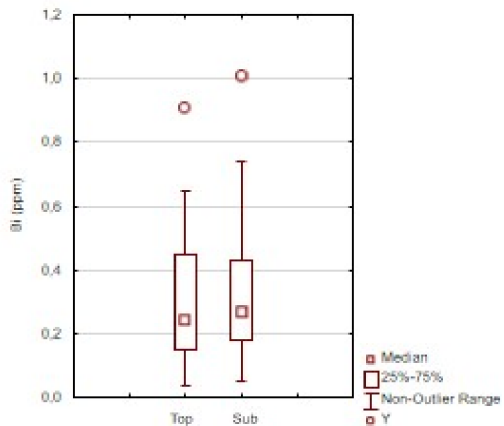
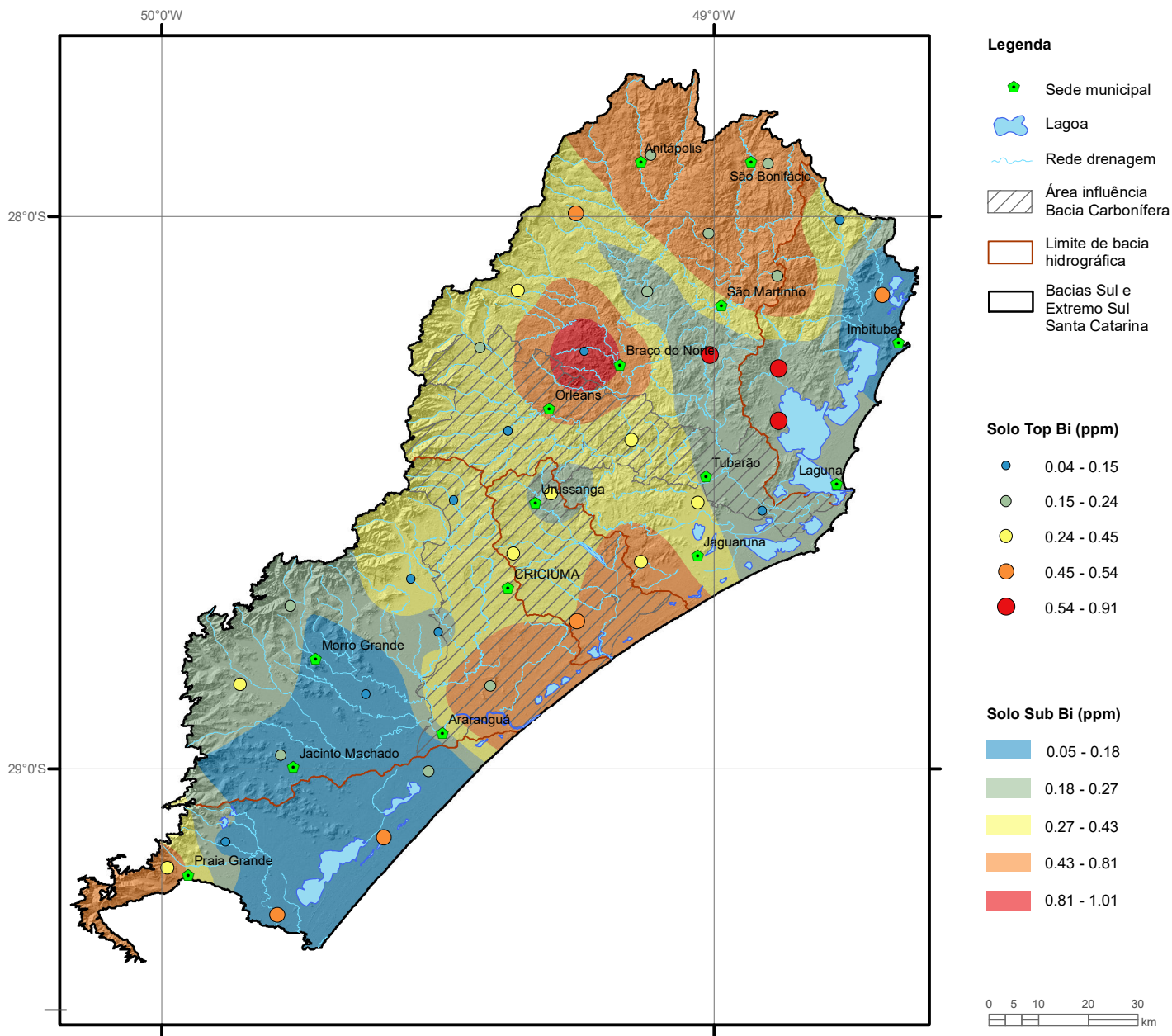
Elemento	Be (ppm)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	74
Número de dados > LD	73
Valor Mínimo	0.05
Valor Máximo	3.50
Média	1.18
Desvio Padrão	0.79
Quartil Superior	1.60
Mediana	1.00
Quartil Inferior	0.60
Clarke	2
CONAMA 454/2012	-



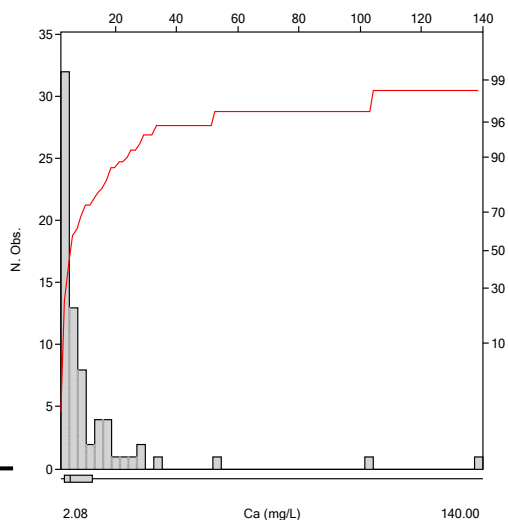
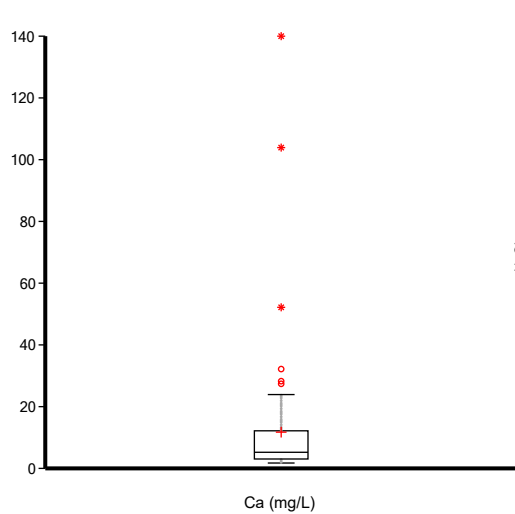
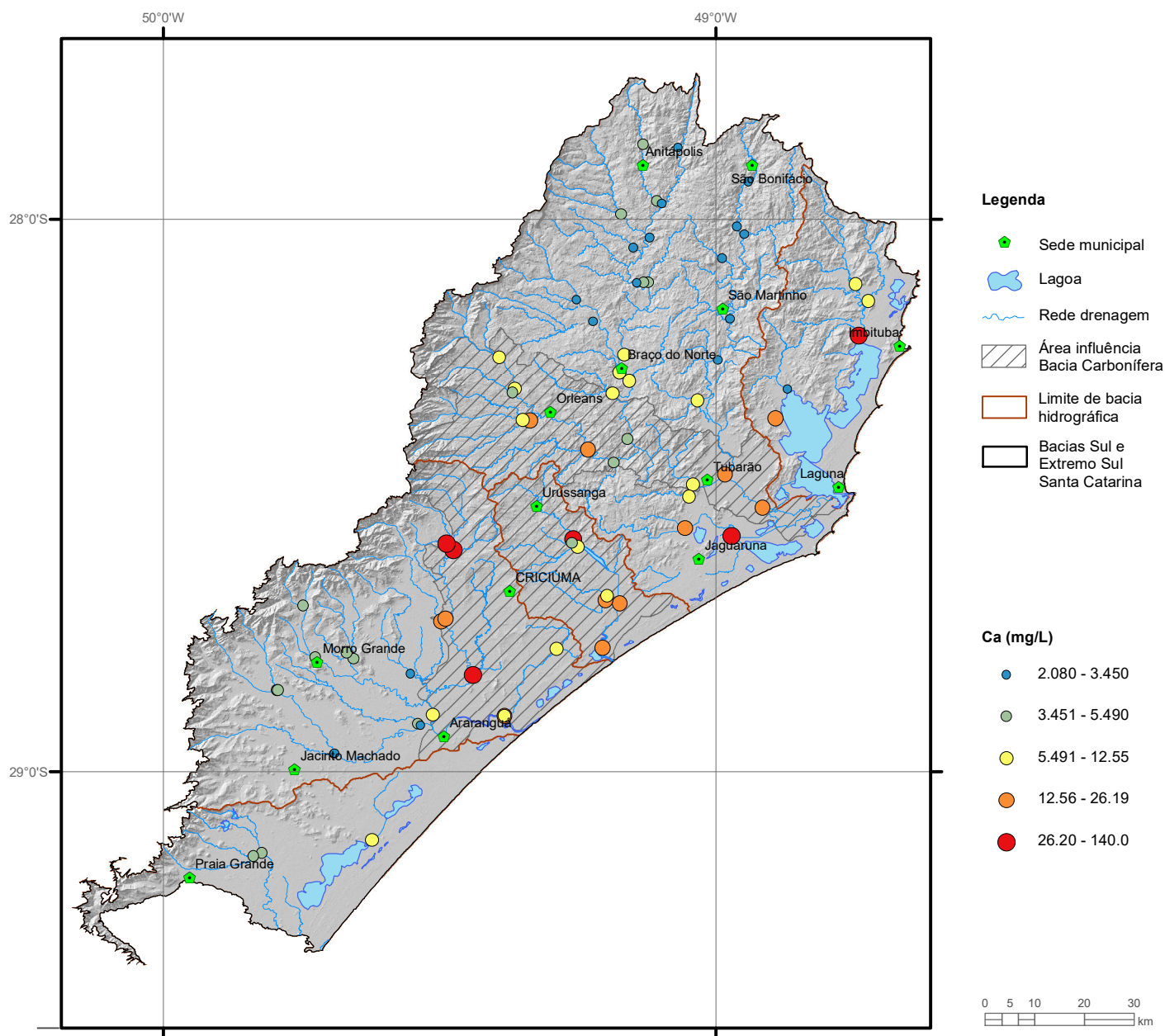
Elemento	Be (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.1	0.1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	34
Valor Mínimo	0.10	0.05
Valor Máximo	2.10	2.80
Média	0.83	0.92
Desvio Padrão	0.59	0.70
Quartil Superior	1.20	1.60
Mediana	0.70	0.70
Quartil Inferior	0.40	0.40
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008 (Target)		1.1



Elemento	Bi (ppm)
Limite de Detecção	0.02
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.020
Valor Máximo	1.130
Média	0.245
Desvio Padrão	0.202
Quartil Superior	0.350
Mediana	0.175
Quartil Inferior	0.110
Clarke	0.0082
CONAMA 454/2012	-



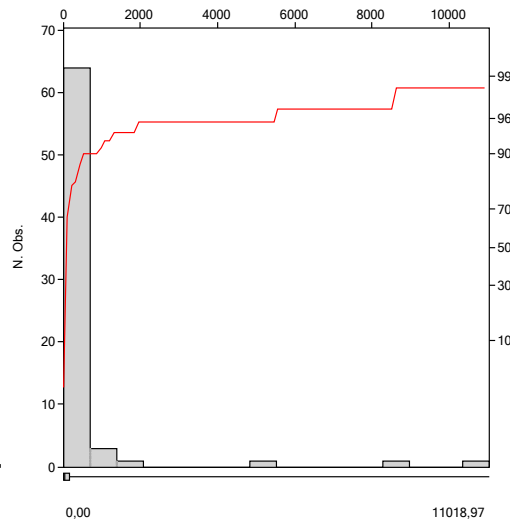
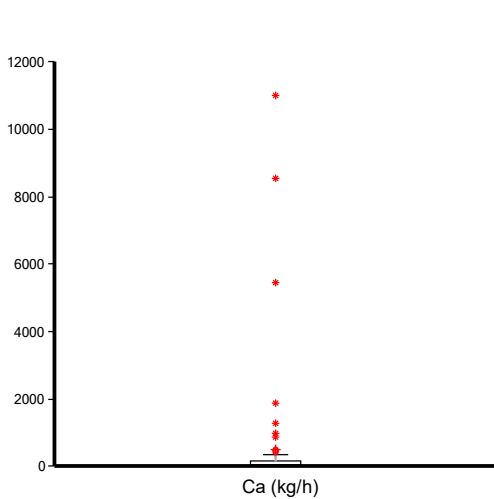
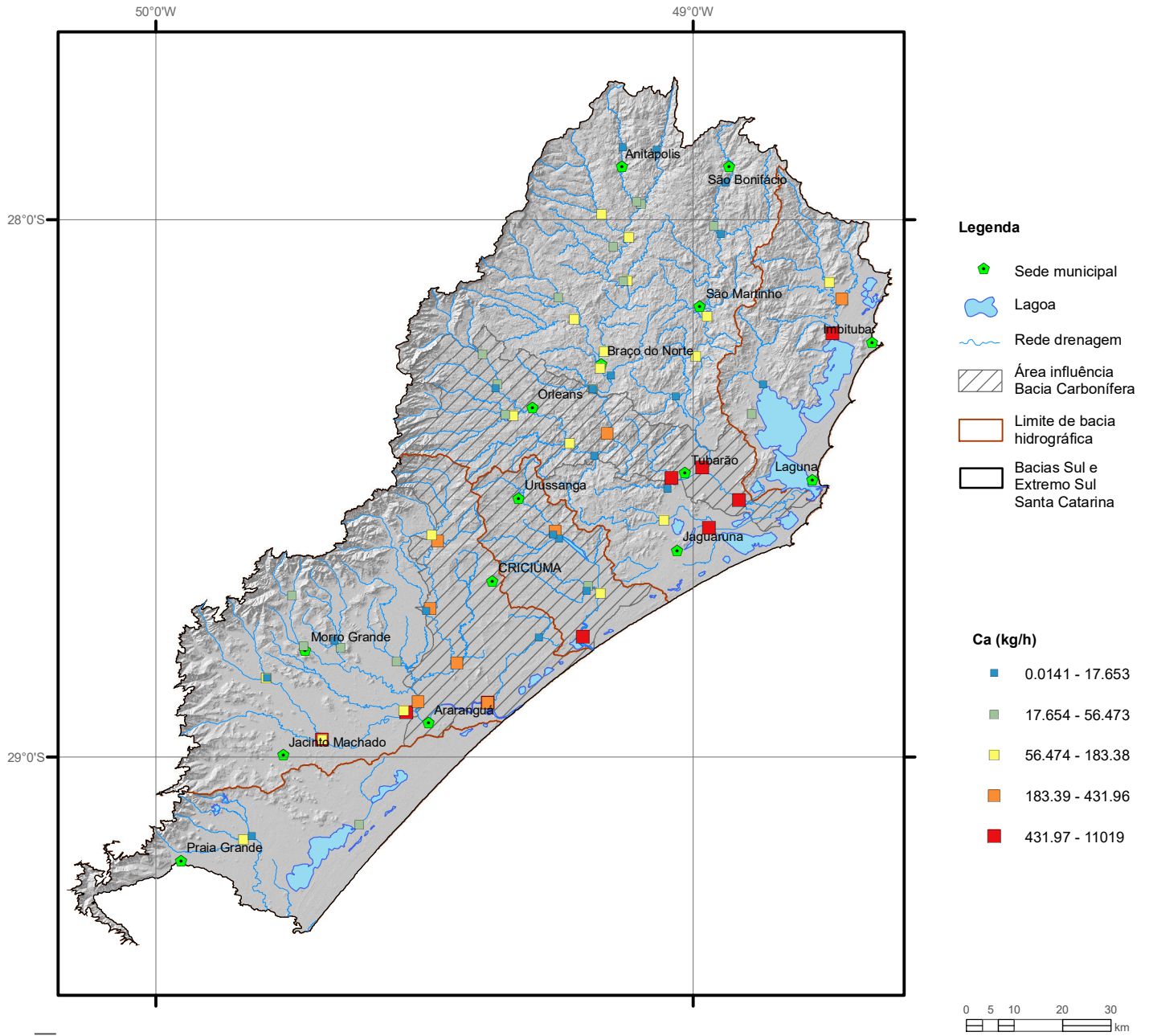
Elemento	Bi (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.02	0.02
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.04	0.05
Valor Máximo	0.91	1.01
Média	0.30	0.33
Desvio Padrão	0.20	0.21
Quartil Superior	0.45	0.43
Mediana	0.24	0.27
Quartil Inferior	0.15	0.18
CONAMA 420/2009	-	-
NOAA/2008	-	-



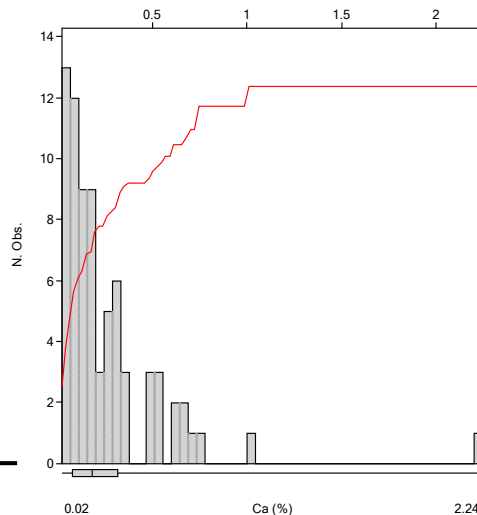
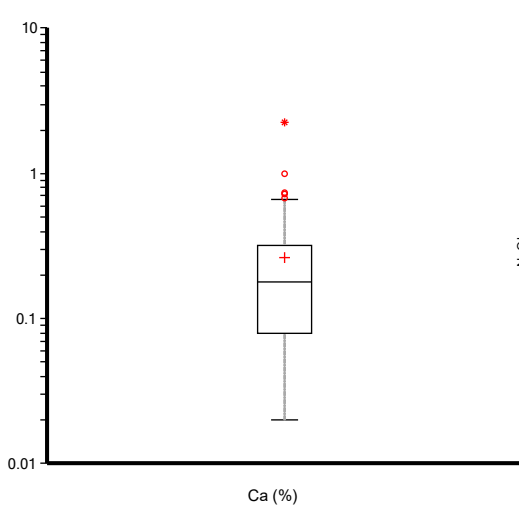
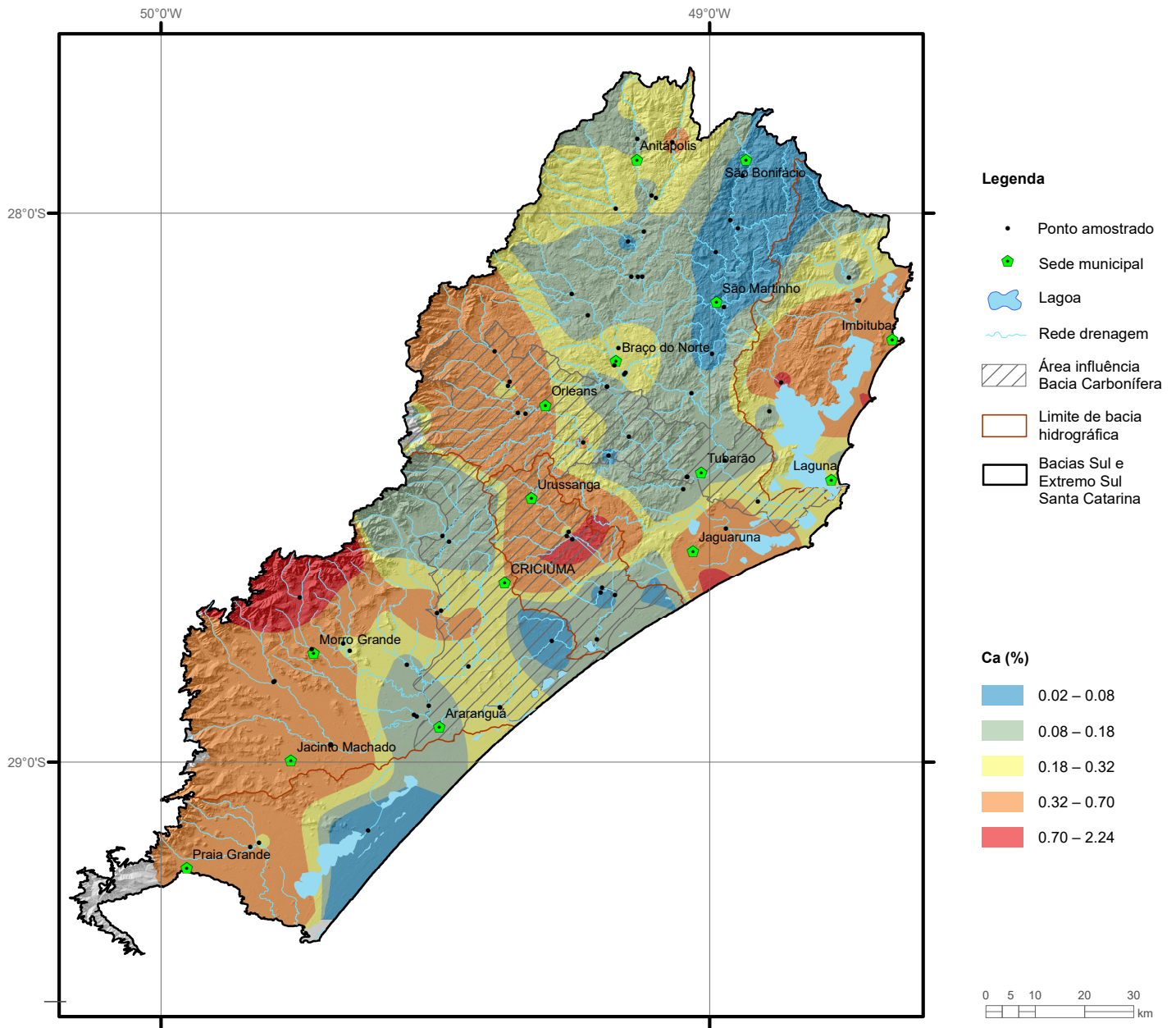
Elemento	Ca (mg/L)
Limite de Detecção	0.025
Número de dados	72
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	2.080
Valor Máximo	140.0
Média	11.99
Desvio Padrão	20.85
Quartil Superior	12.55
Mediana	5.490
Quartil Inferior	3.450
CONAMA 357/2005	-
NOAA/2008	-

CÁLCIO

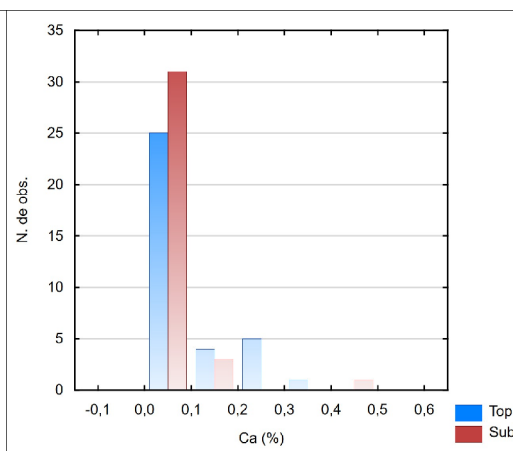
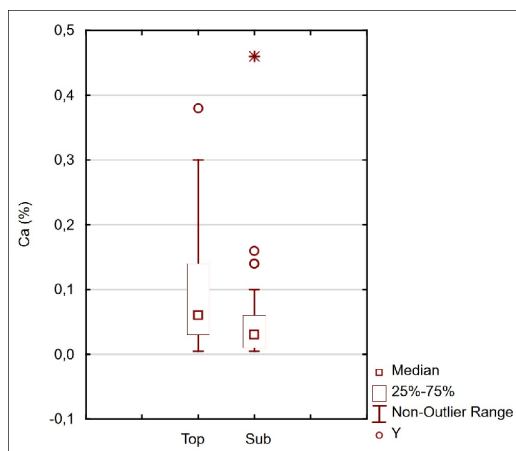
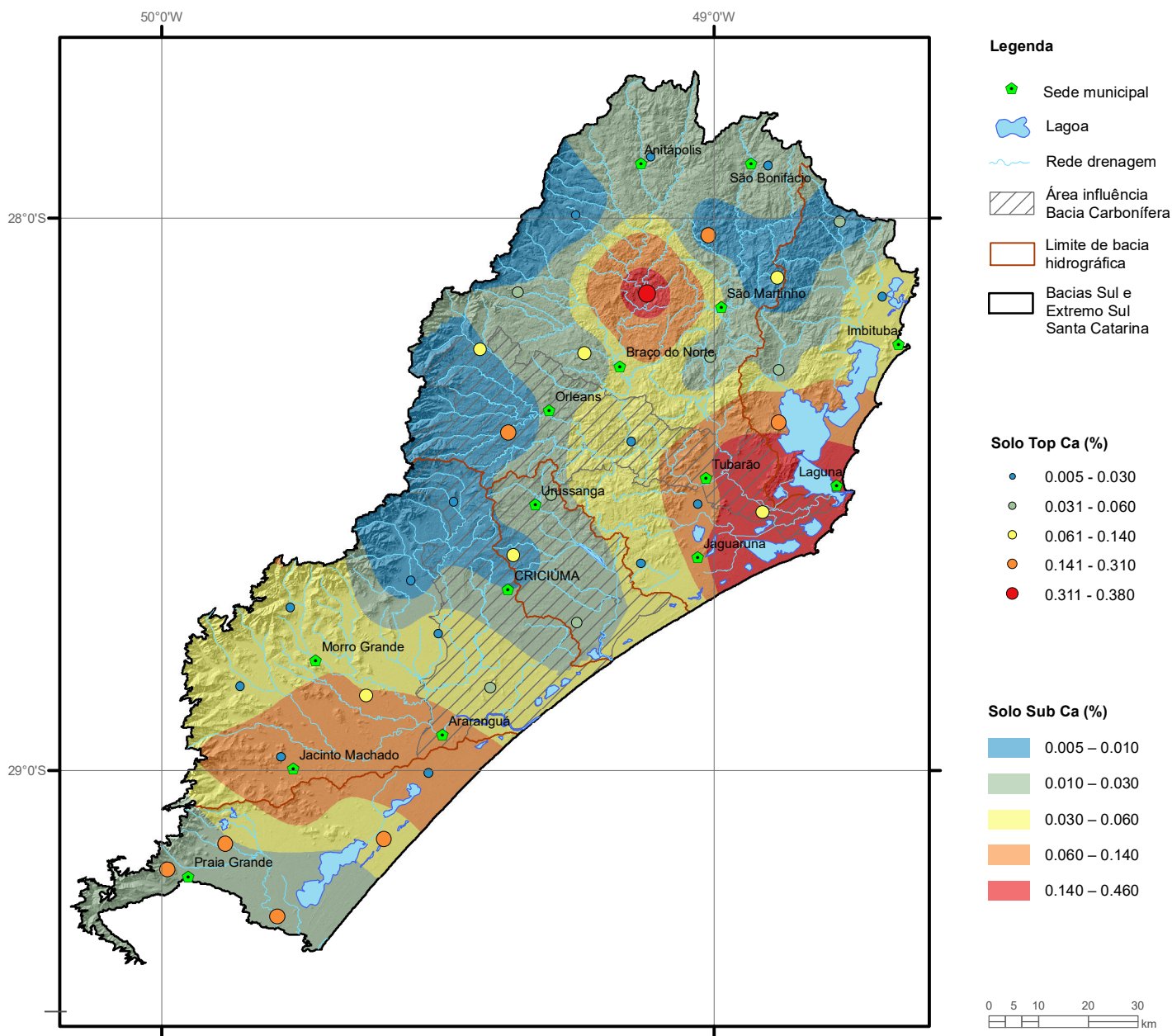
Ca Carga



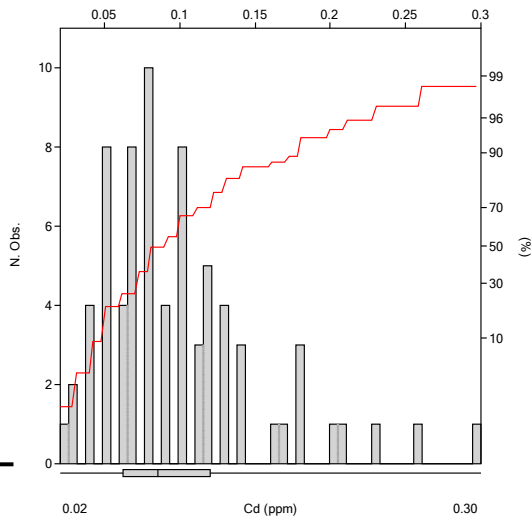
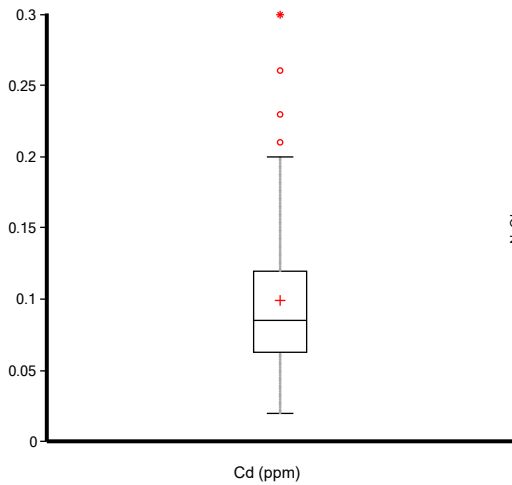
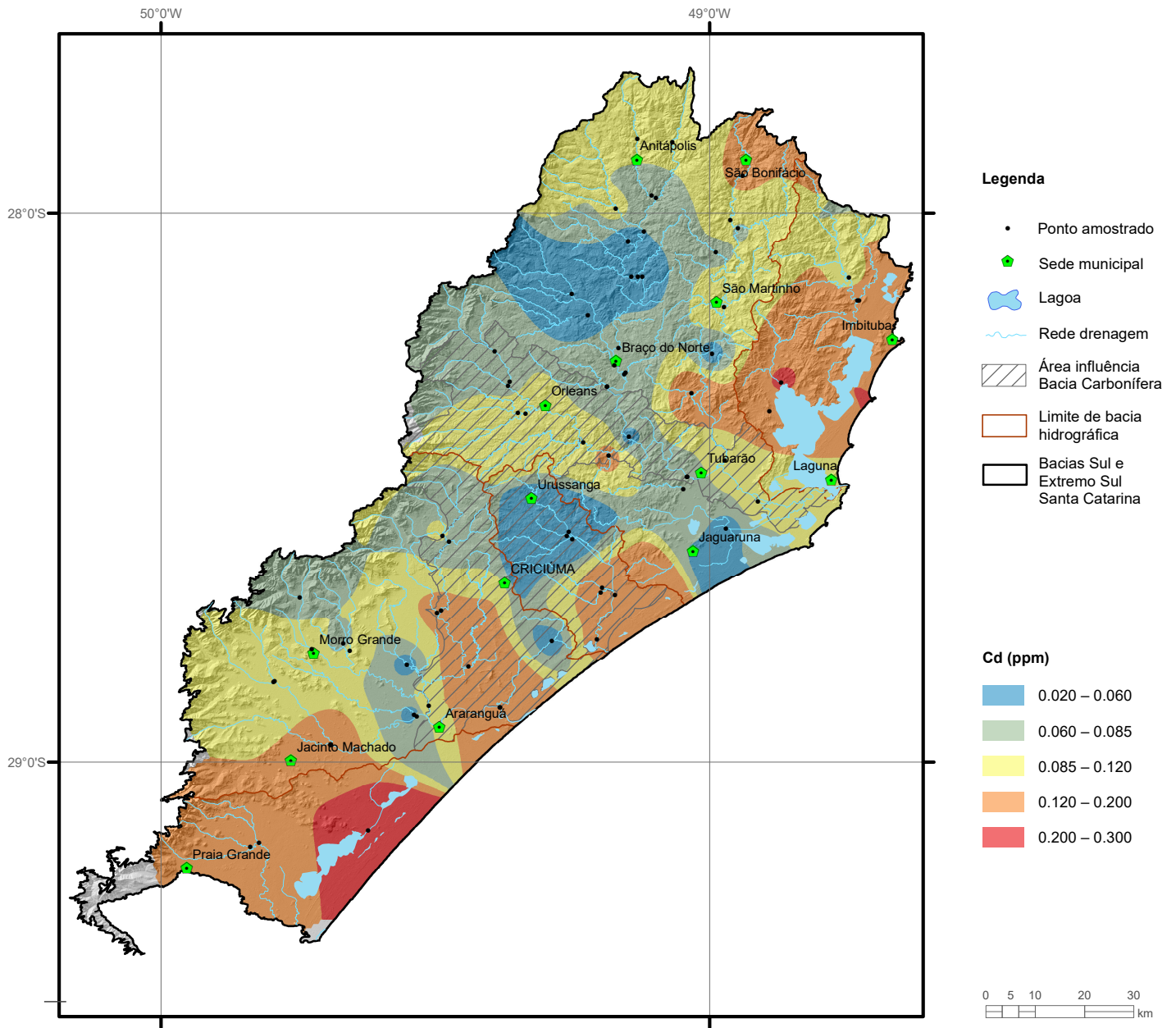
Estatística Descritiva	
Elemento	Ca (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.0141
Valor Máximo	11019
Média	506.25
Desvio Padrão	1738.7
Quartil Superior	183.38
Mediana	56.473
Quartil Inferior	17.653



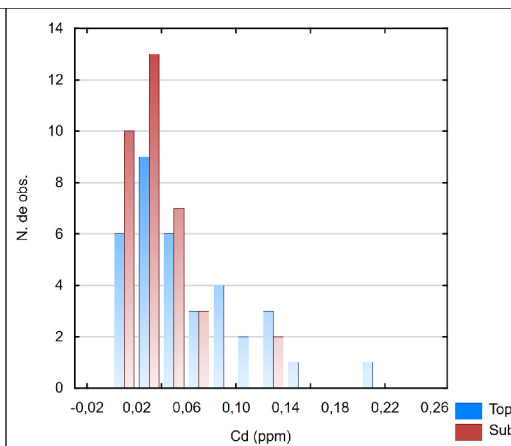
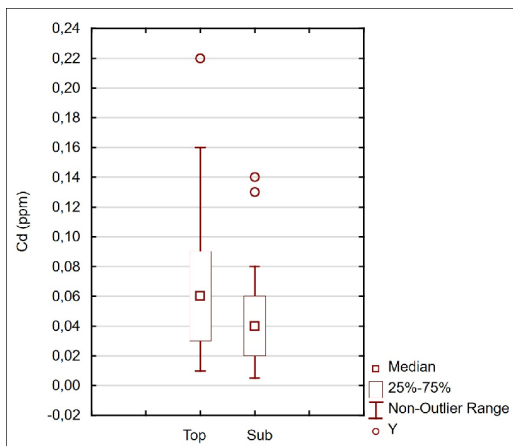
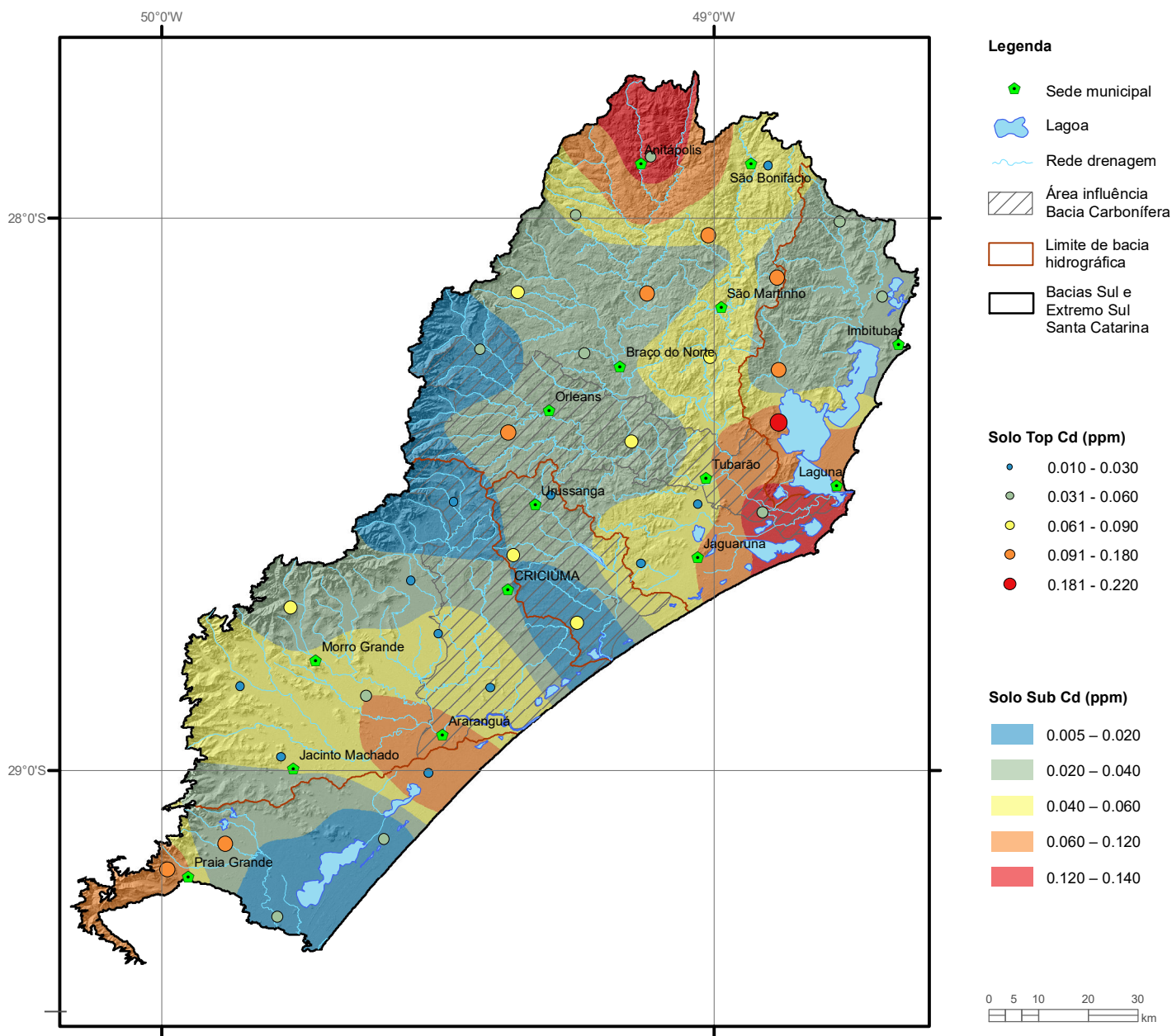
Estatística Descritiva	
Elemento	Ca (%)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
% > LD	100
Valor Mínimo	0.020
Valor Máximo	2.24
Média	0.265
Desvio Padrão	0.31
Coefficiente de Variação	1.174
Quartil Superior	0.32
Mediana	0.180
Quartil Inferior	0.08
Clarke	4.6



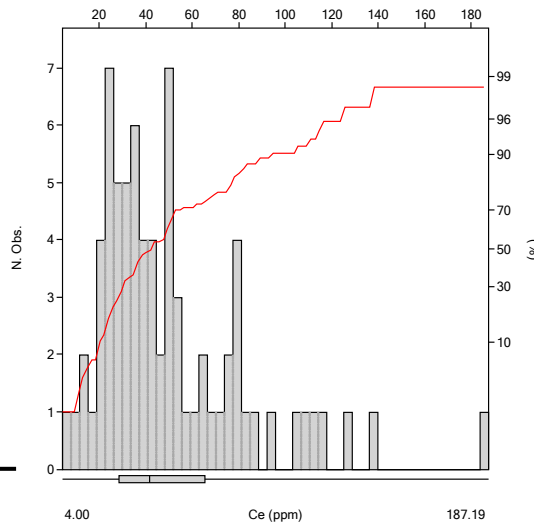
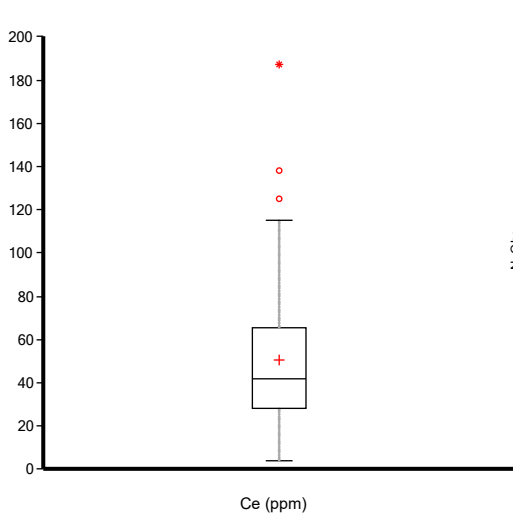
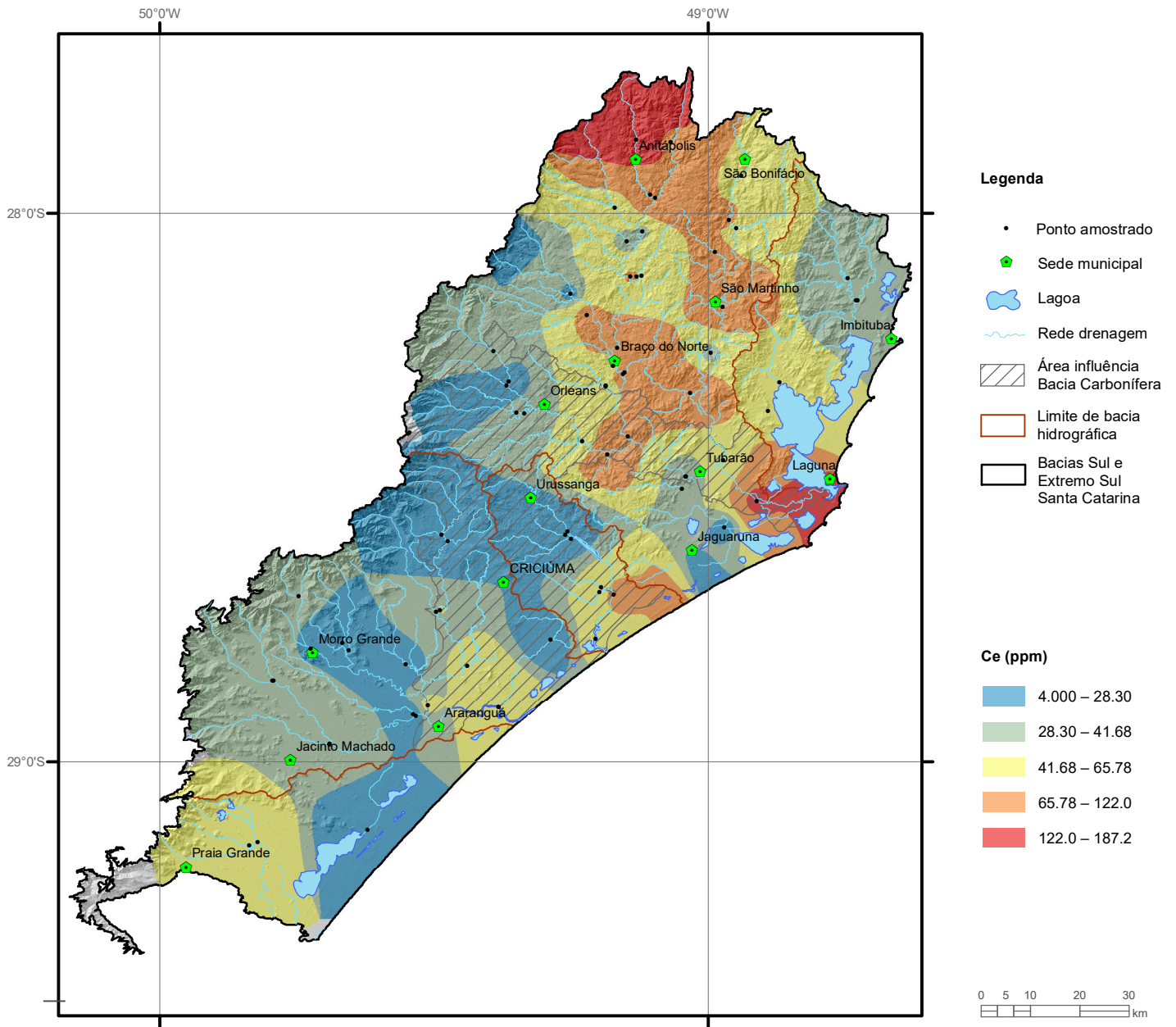
Elemento	Ca (%)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	33	27
Valor Mínimo	0.005	0.005
Valor Máximo	0.38	0.46
Média	0.093	0.050
Desvio Padrão	0.10	0.08
Quartil Superior	0.140	0.060
Mediana	0.060	0.030
Quartil Inferior	0.030	0.010
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



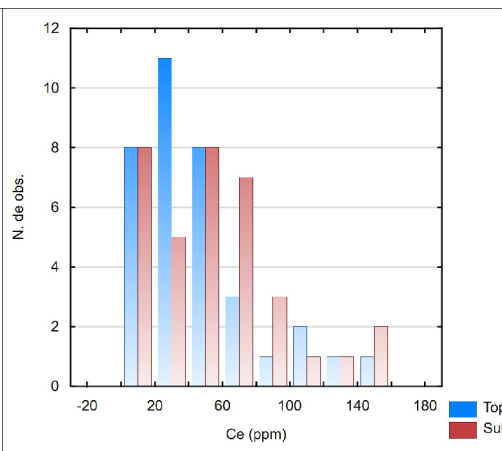
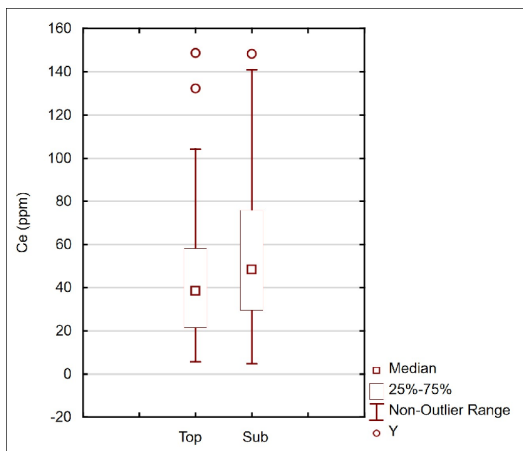
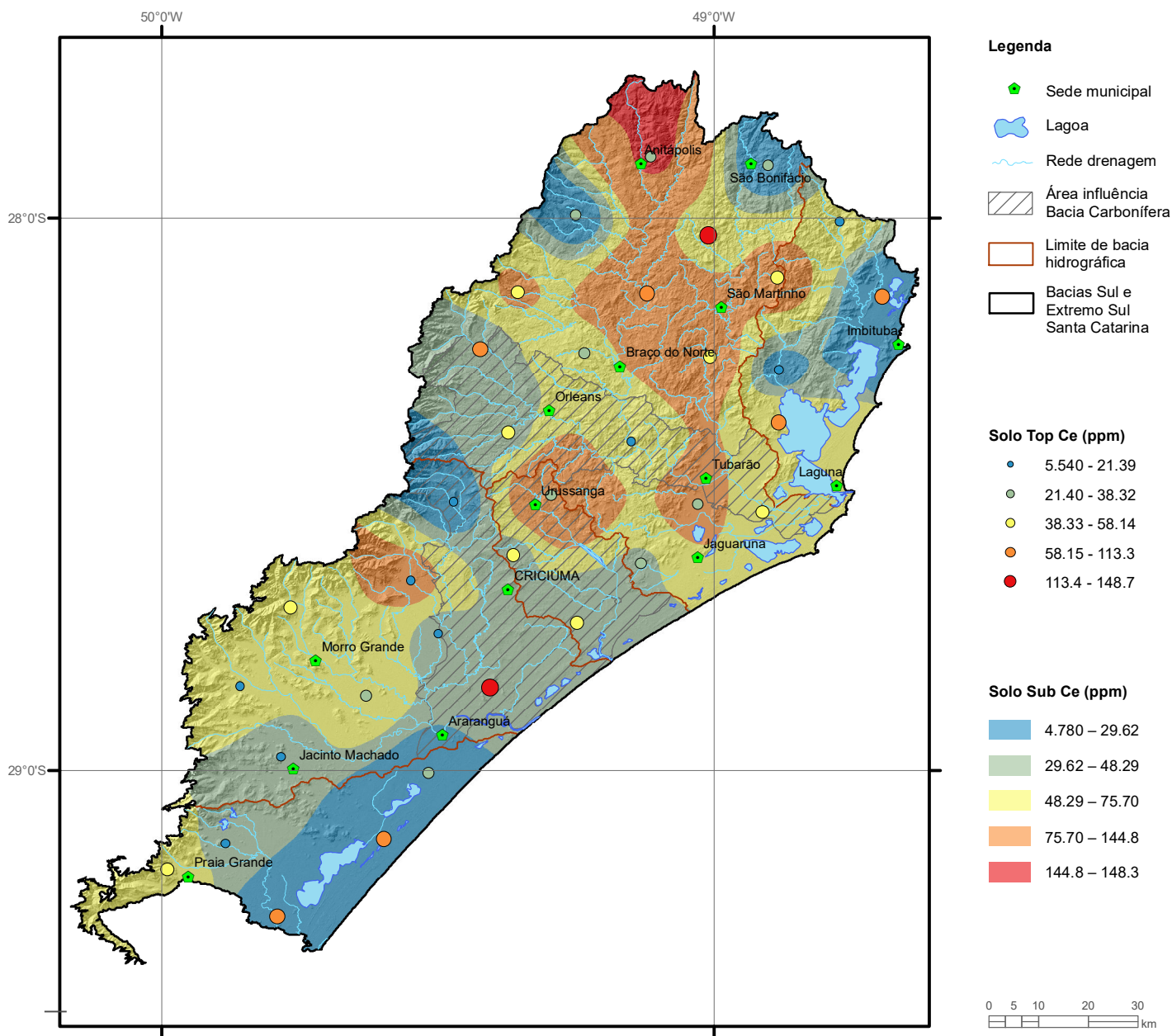
Elemento	Cd (ppm)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.020
Valor Máximo	0.30
Média	0.099
Desvio Padrão	0.05
Quartil Superior	0.12
Mediana	0.085
Quartil Inferior	0.06
Clarke	0.16
CONAMA 454/2012 (N1)	0.6



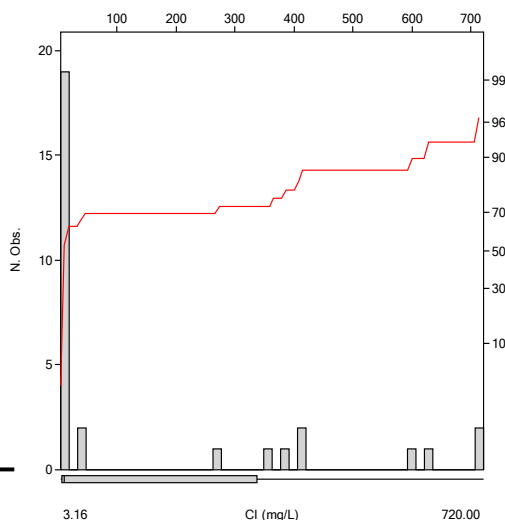
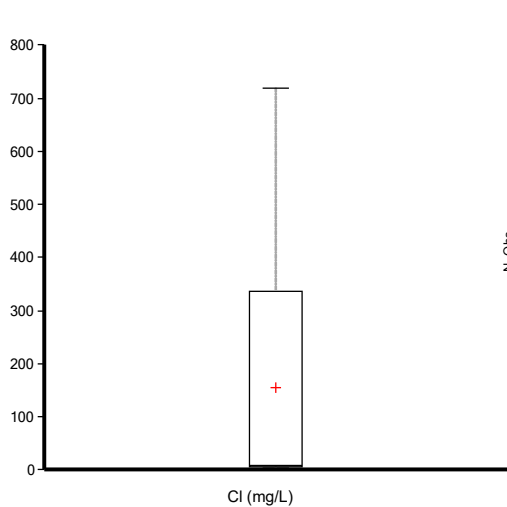
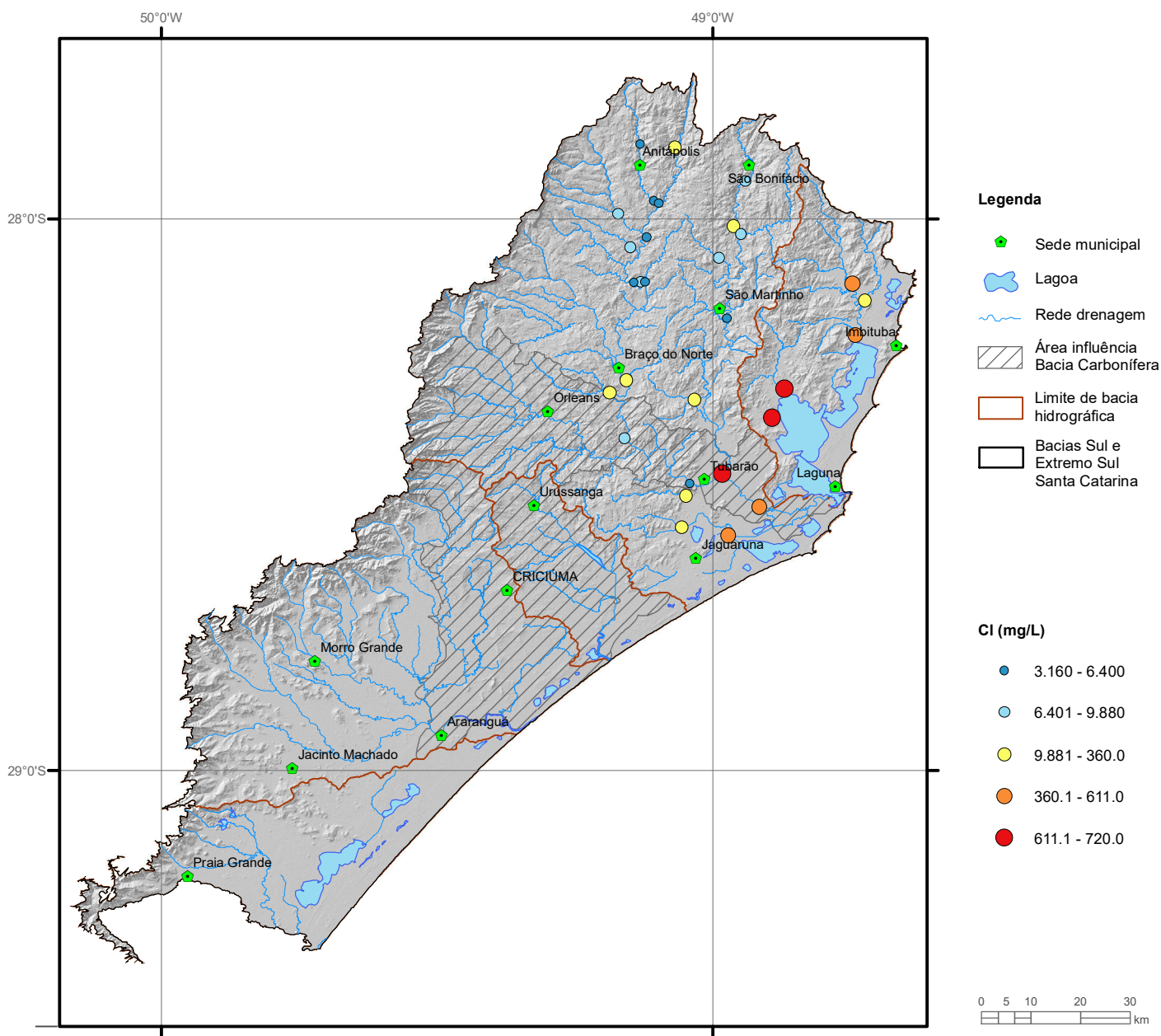
Elemento	Cd (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	32
Valor Mínimo	0.010	0.005
Valor Máximo	0.22	0.14
Média	0.067	0.042
Desvio Padrão	0.05	0.03
Quartil Superior	0.090	0.060
Mediana	0.060	0.040
Quartil Inferior	0.030	0.020
CONAMA 420/2009 (VP)		1.3
NOAA/2008		-



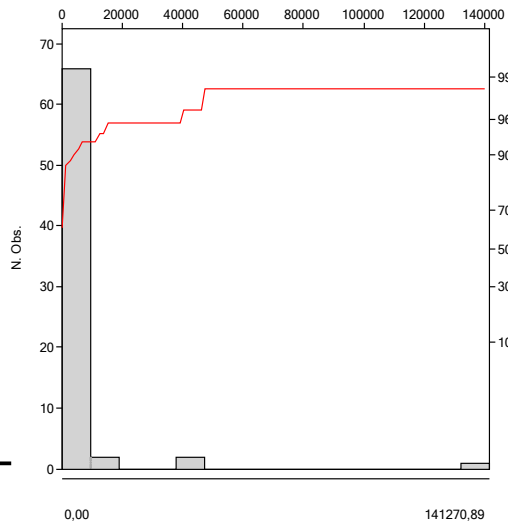
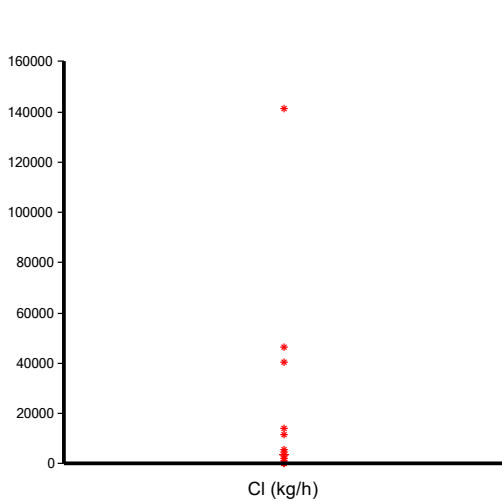
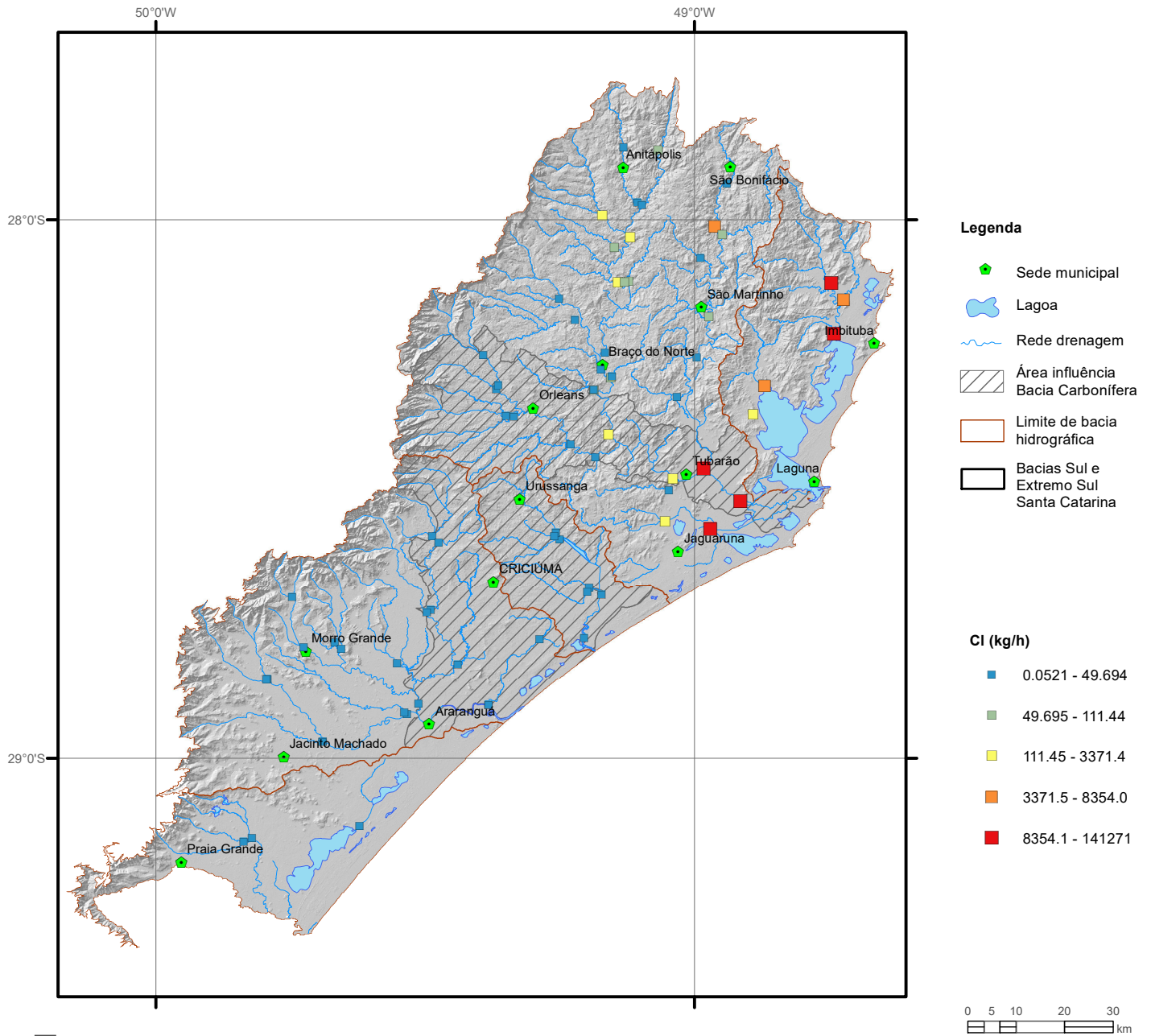
Elemento	Ce (ppm)
Limite de Detecção	0.05
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	4.00
Valor Máximo	187.2
Média	50.60
Desvio Padrão	33.08
Quartil Superior	65.78
Mediana	41.68
Quartil Inferior	28.30
Clarke	66.4
CONAMA 454/2012	-



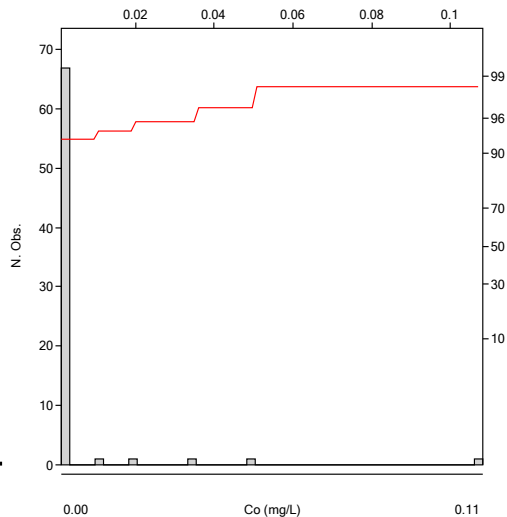
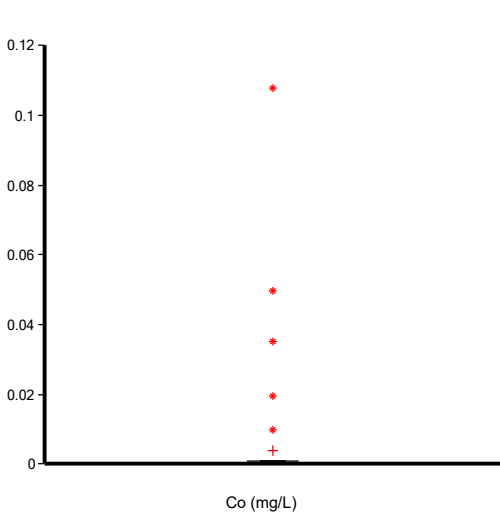
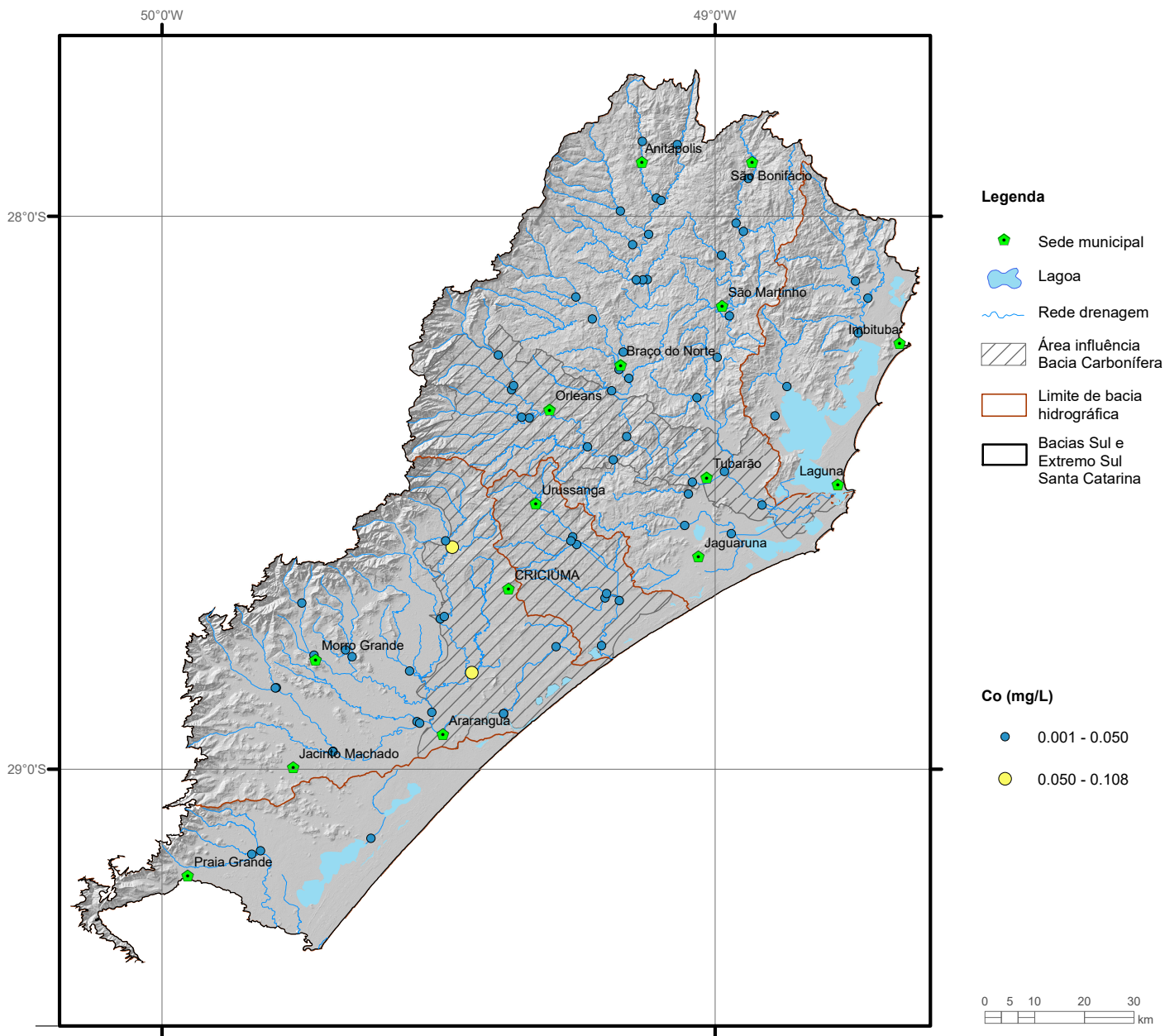
Elemento	Ce (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.05	0.05
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	5.54	4.78
Valor Máximo	148.7	148.3
Média	46.3	55.9
Desvio Padrão	34.61	37.26
Quartil Superior	58.1	75.7
Mediana	38.3	48.3
Quartil Inferior	21.4	29.6
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



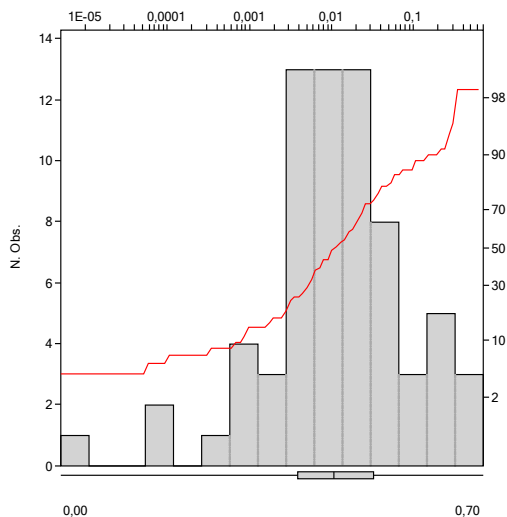
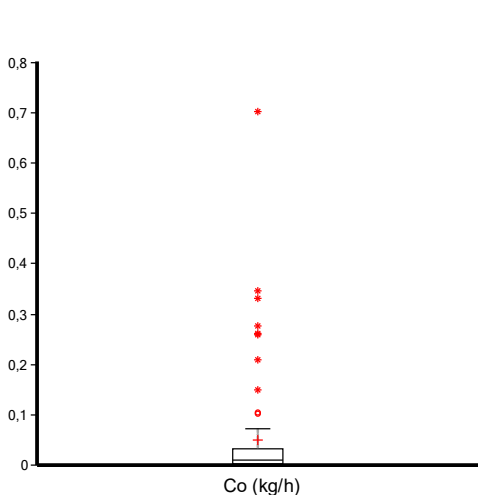
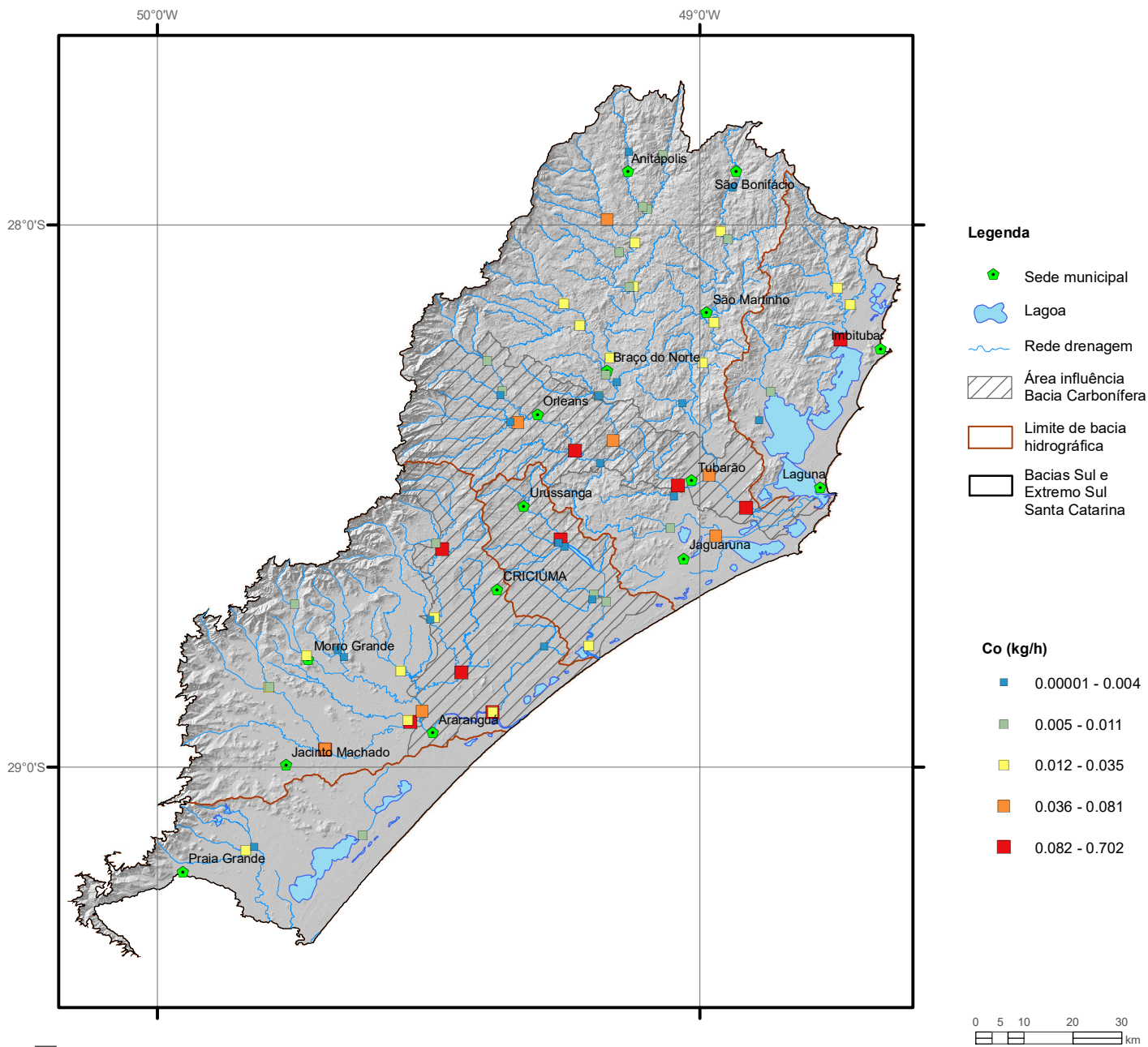
Elemento	Cl ⁻ (mg/L)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	30
Número de dados > LD	30
Valor Mínimo	3.16
Valor Máximo	720.0
Média	156.5
Desvio Padrão	243.5
Quartil Superior	360.0
Mediana	9.88
Quartil Inferior	6.40
CONAMA 357/2005 (II)	250
Portaria MS 2914/2011	250



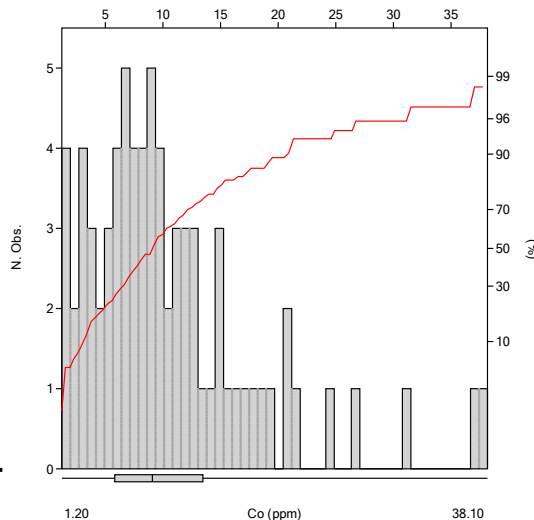
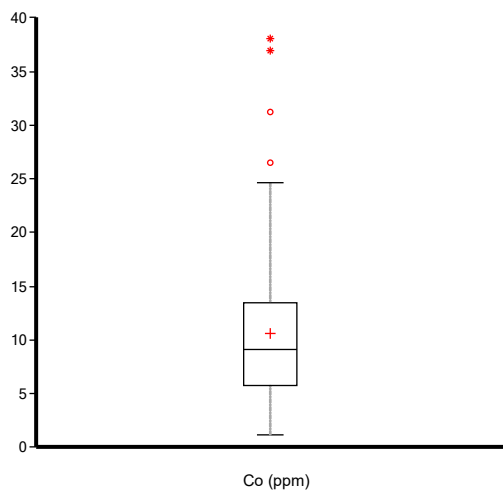
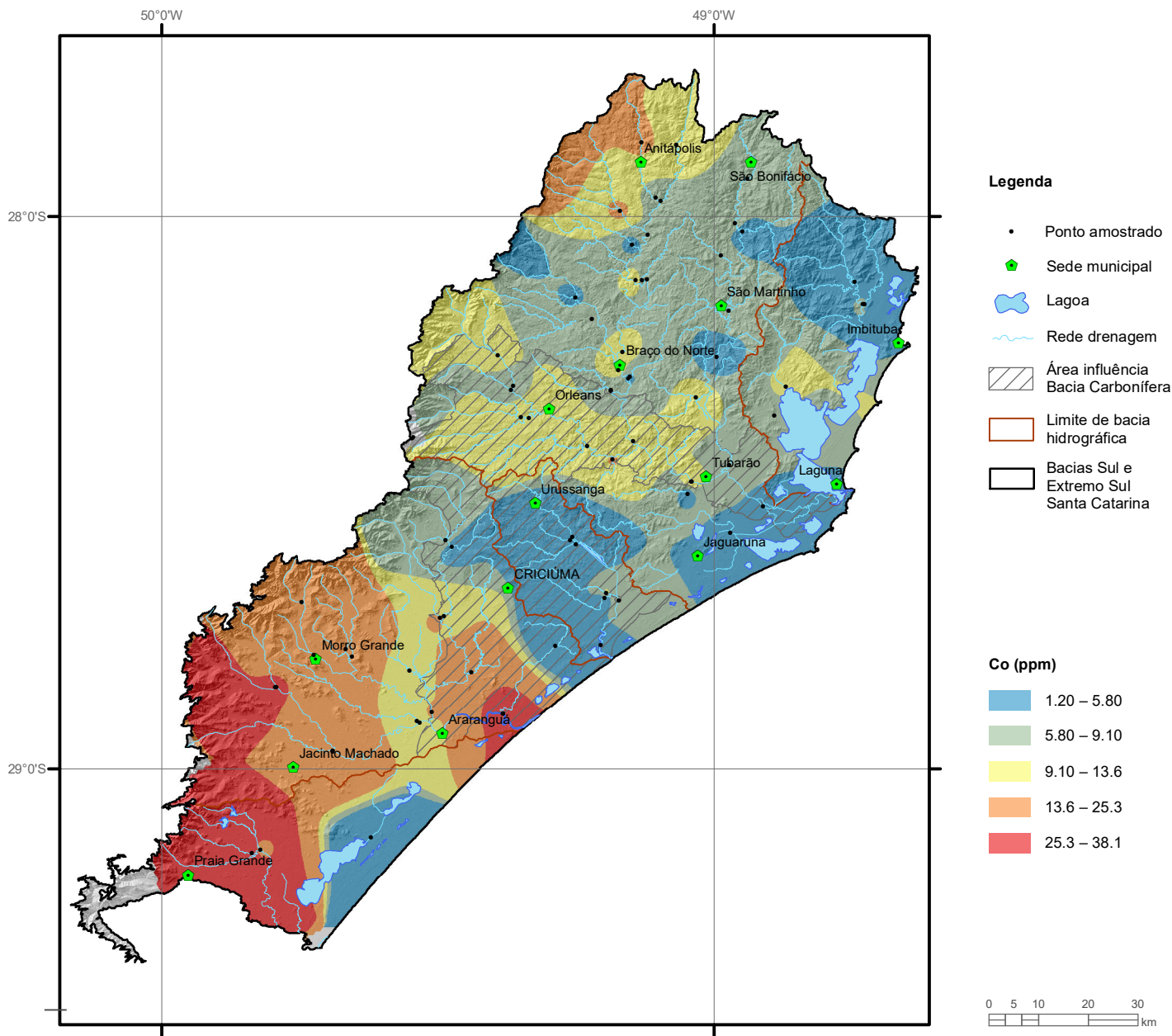
Estatística Descritiva	
Elemento	CI (kg/h)
Número de dados	30
Valor Mínimo	0.0521
Valor Máximo	141271
Média	9121.3
Desvio Padrão	27340
Quartil Superior	3371.4
Mediana	111.44
Quartil Inferior	49.694



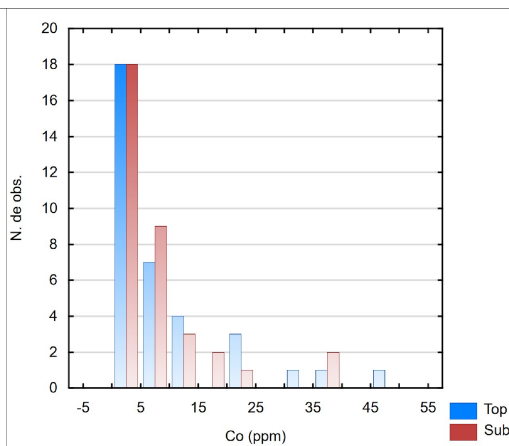
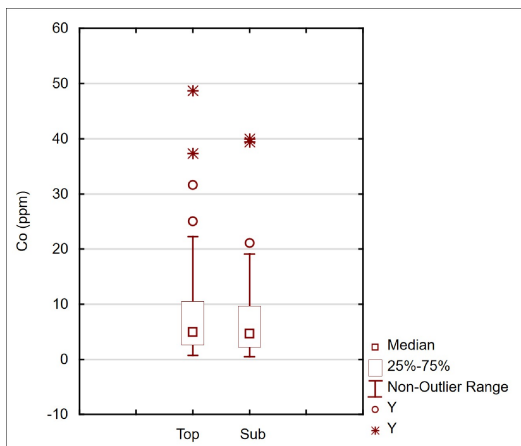
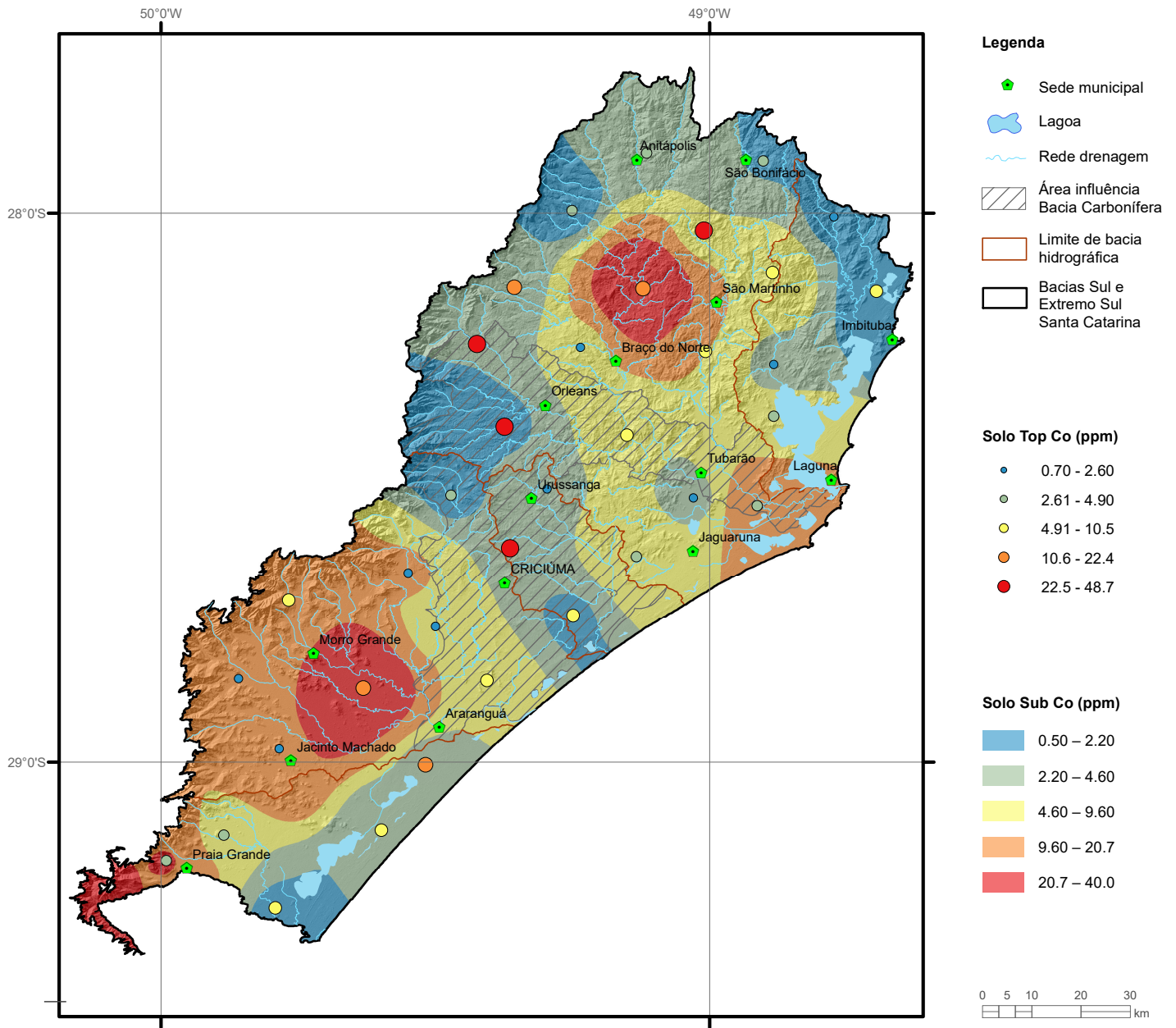
Elemento	Co (mg/L)
Limite de Detecção	0.002
Número de dados	72
Número de dados > LD	5
Valor Mínimo	0.001
Valor Máximo	0.108
Média	0.004
Desvio Padrão	0.01
Quartil Superior	0.001
Mediana	0.001
Quartil Inferior	0.001
CONAMA 357/2005 (II)	0.05
NOAA/2008 (Chronic)	3.0



Estatística Descritiva	
Elemento	Co (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.00001
Valor Máximo	0.702
Média	0.051
Desvio Padrão	0.110
Quartil Superior	0.035
Mediana	0.011
Quartil Inferior	0.004

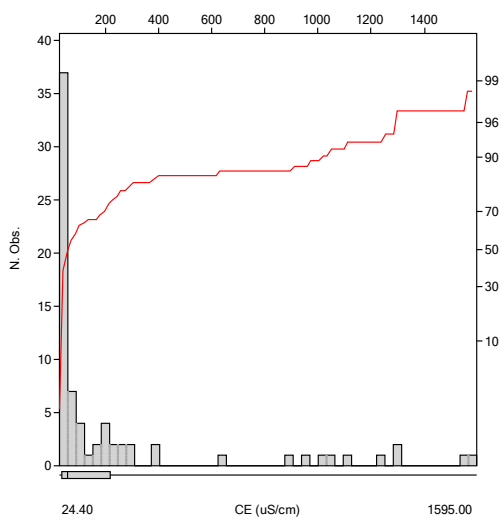
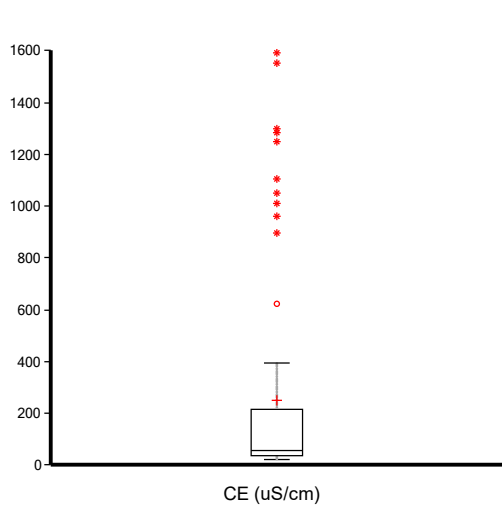
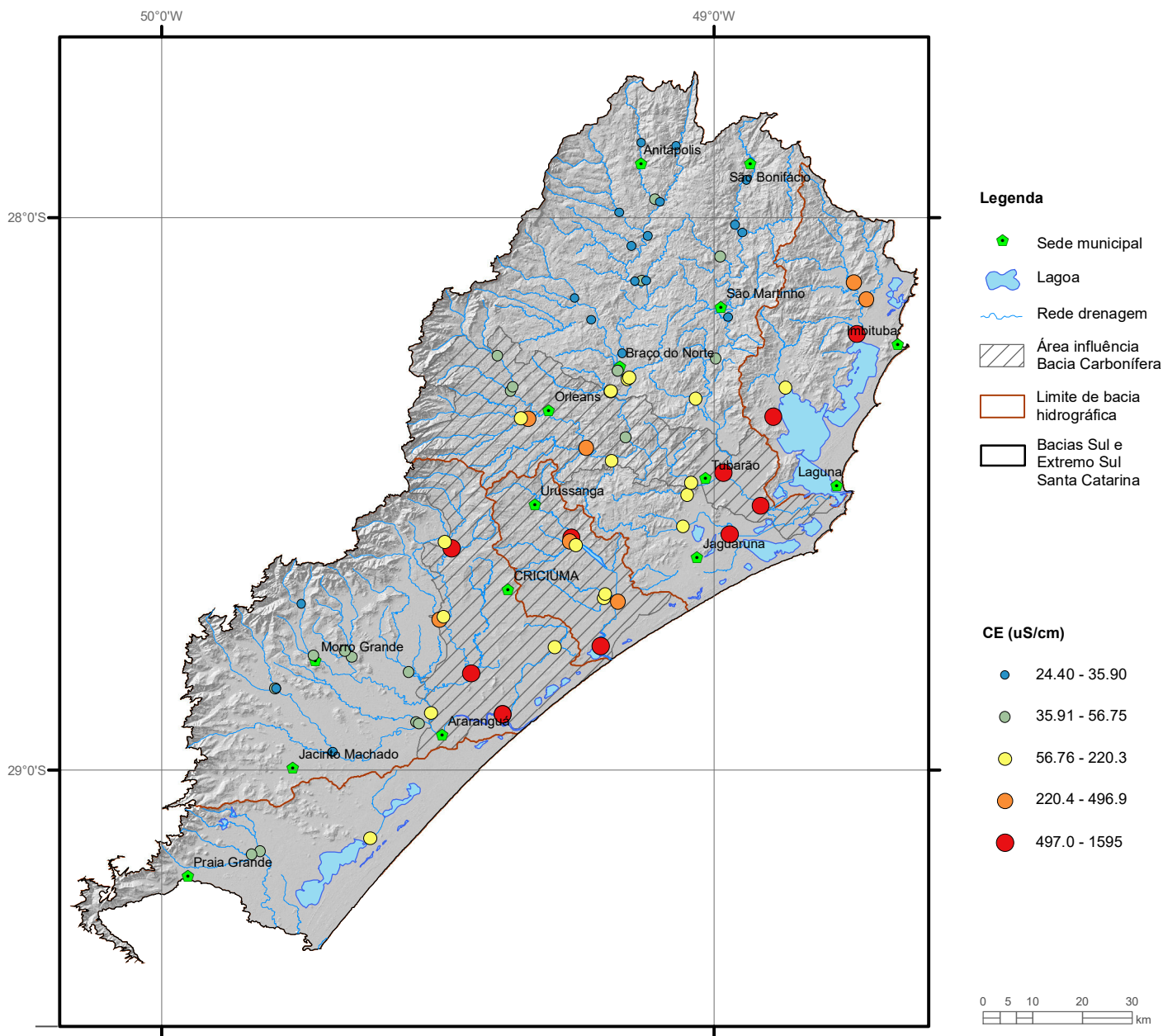


Elemento	Co (ppm)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	1.20
Valor Máximo	38.10
Média	10.66
Desvio Padrão	7.65
Quartil Superior	13.60
Mediana	9.10
Quartil Inferior	5.80
Clarke	29
NOAA/2008 (LEL)	50

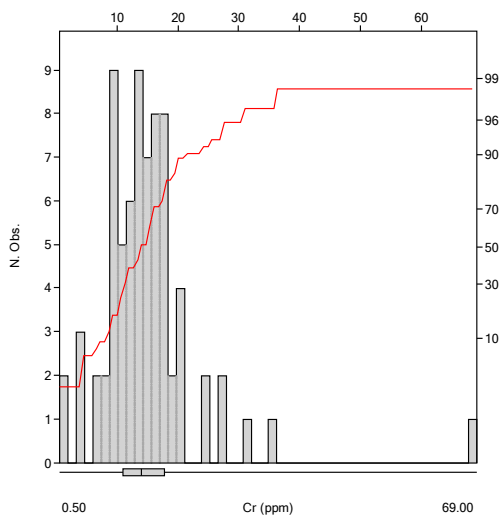
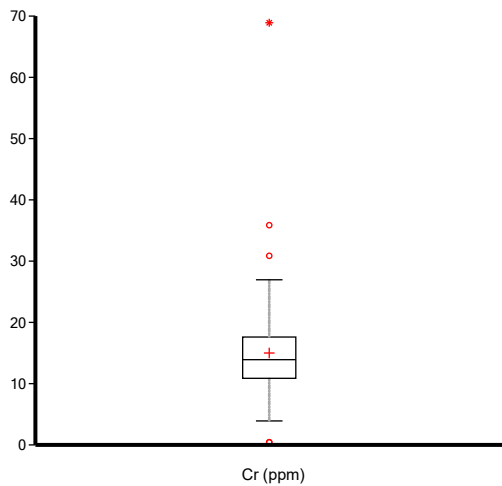
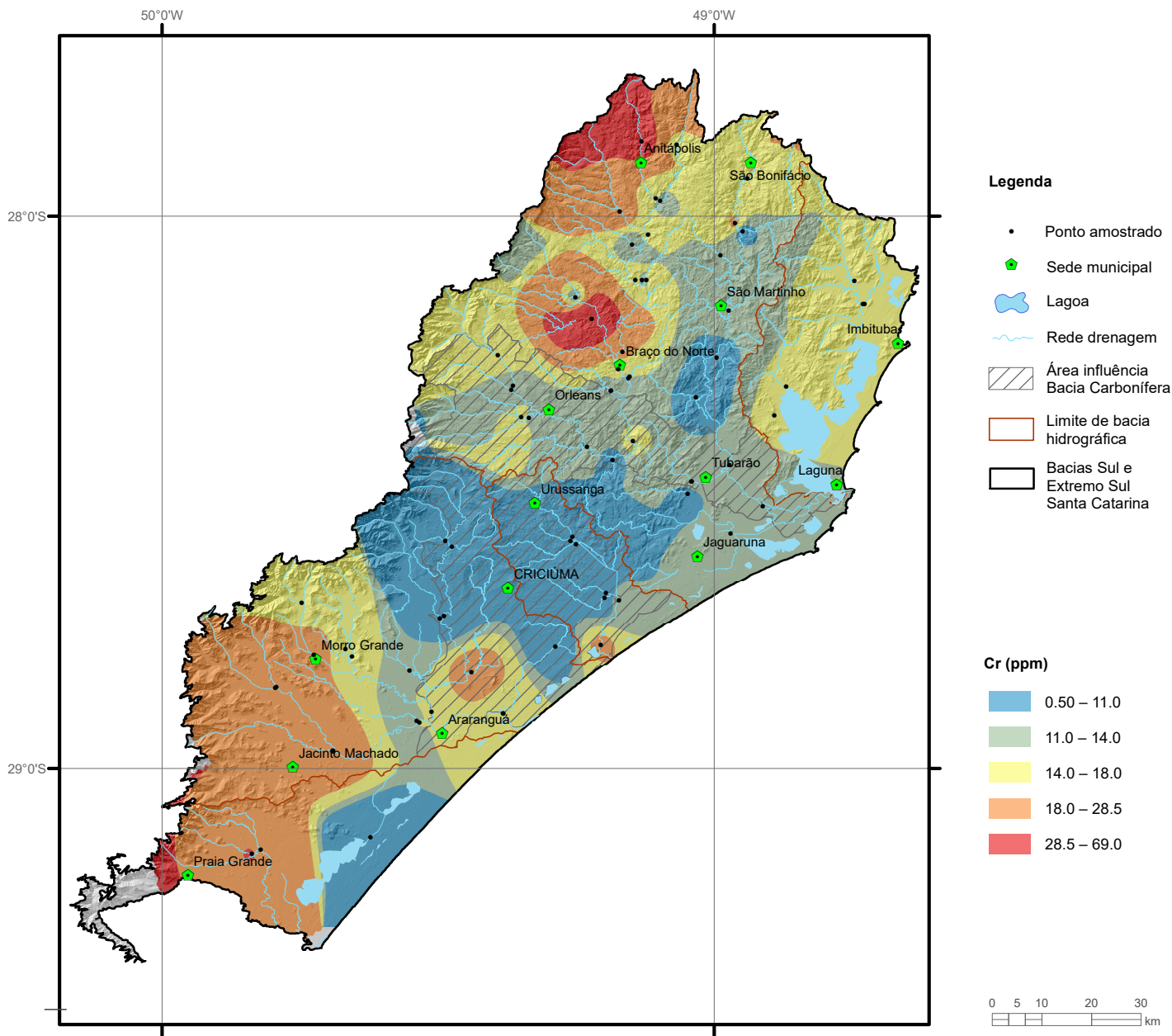


Elemento	Co (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.1	0.1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.70	0.50
Valor Máximo	48.7	40.0
Média	9.3514	7.966
Desvio Padrão	11.21	9.4
Quartil Superior	10.50	9.60
Mediana	4.90	4.60
Quartil Inferior	2.60	2.20
CONAMA 420/2009 (VP)		25
NOAA/2008 (Eco-SSL)		13

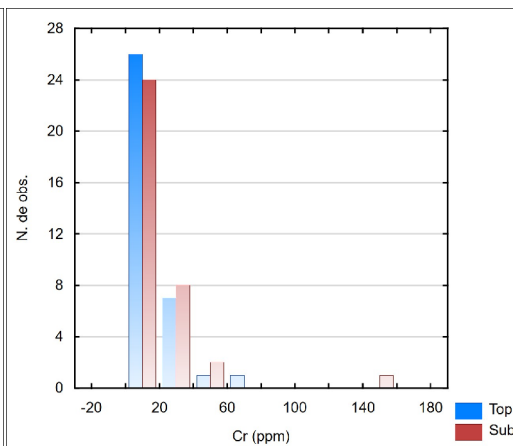
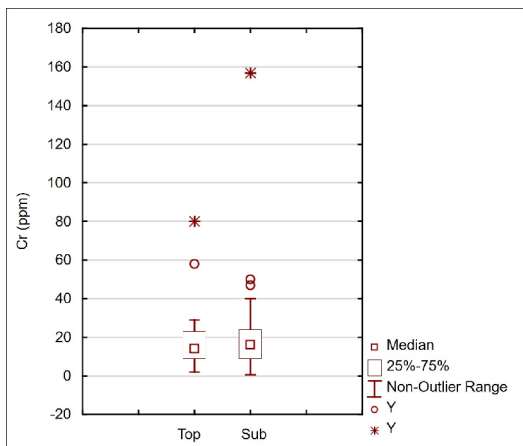
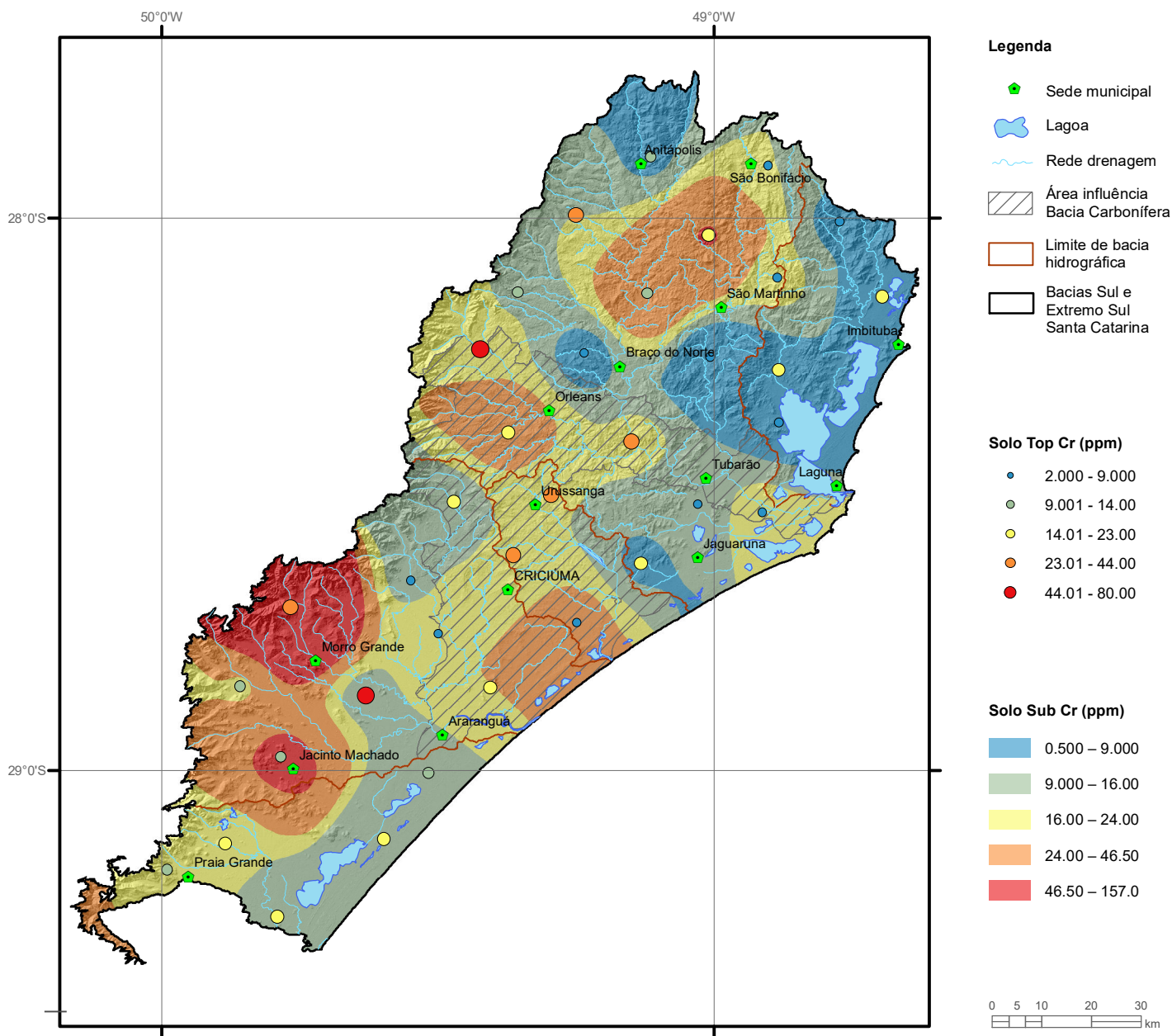
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA **CE** Água Superficial



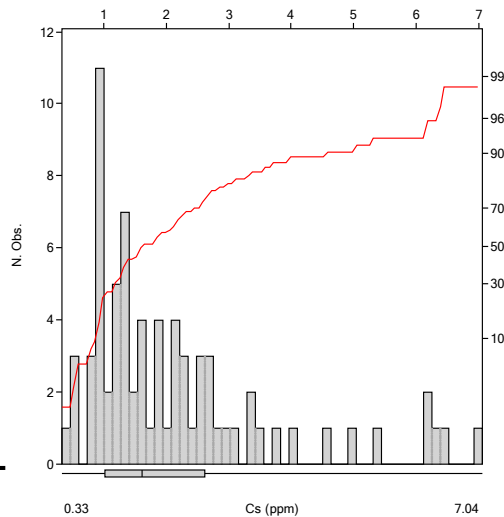
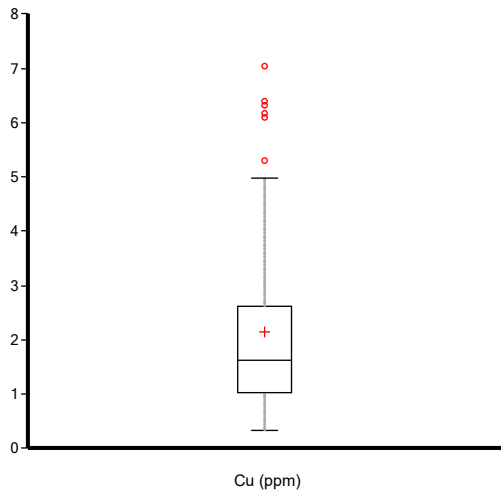
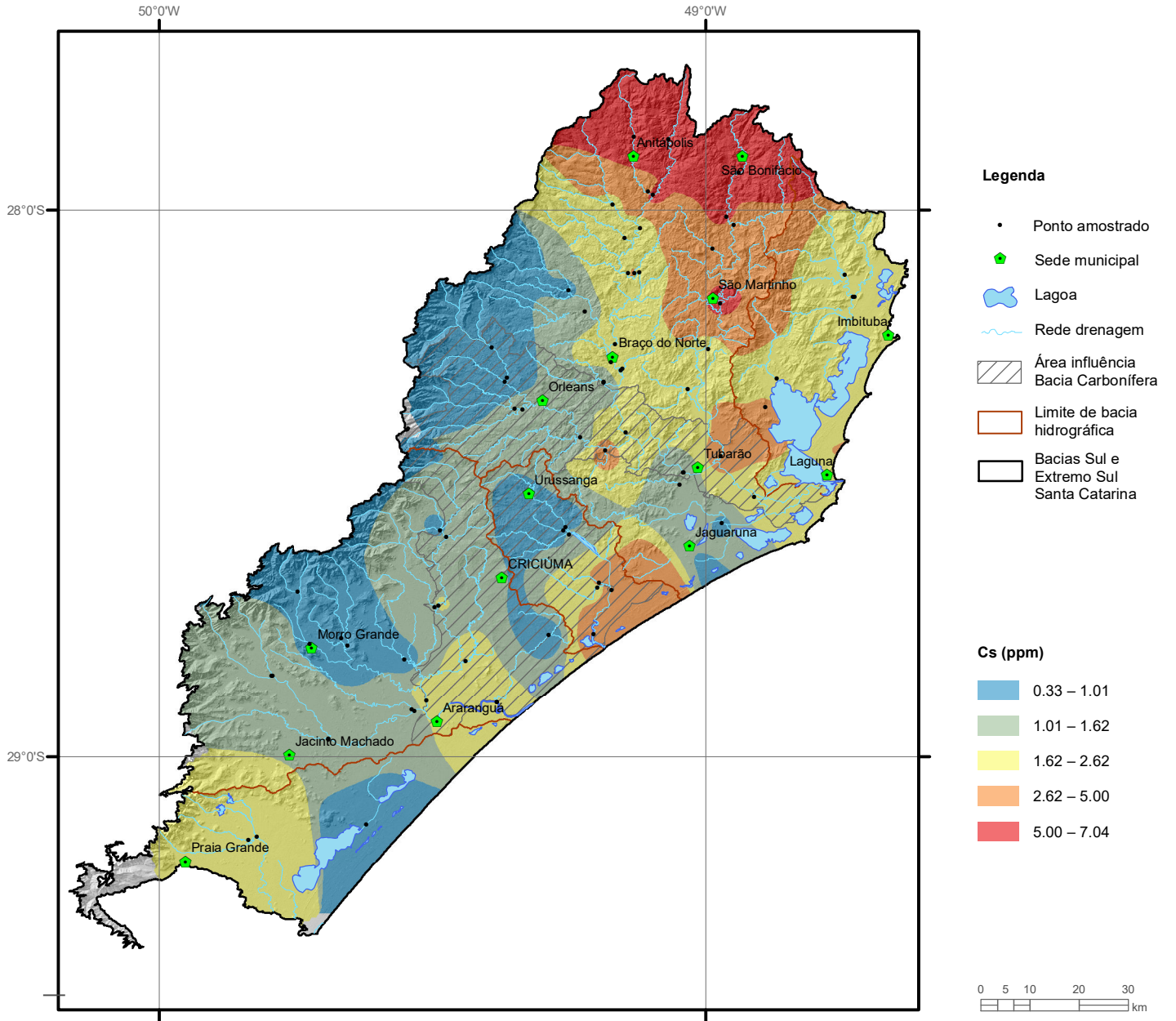
Elemento	CE(uS/cm)
Limite de Detecção	5.0
Número de dados	74.0
Número de dados > LD	74.0
Valor Mínimo	24.4
Valor Máximo	1595.0
Média	249.6
Desvio Padrão	401.5
Quartil Superior	220.3
Mediana	56.8
Quartil Inferior	35.9
CONAMA 357/2005 (II)	-
Portaria MS 2914/2011	-



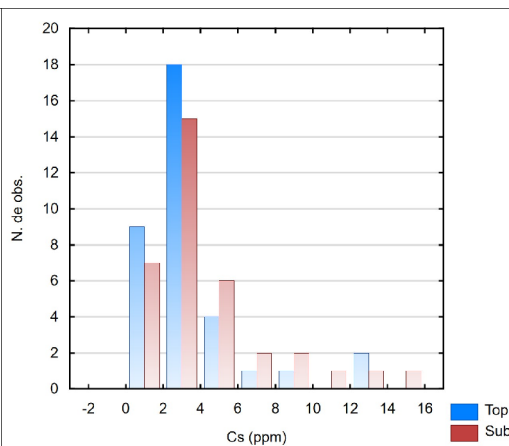
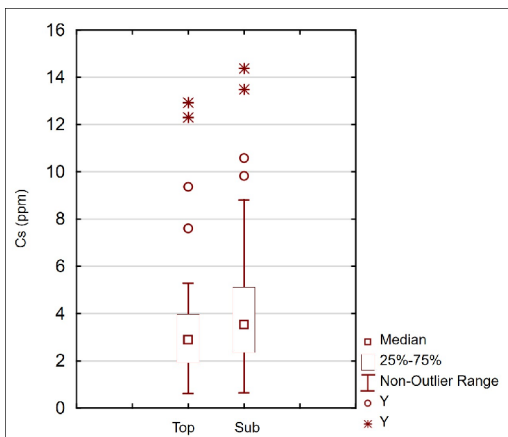
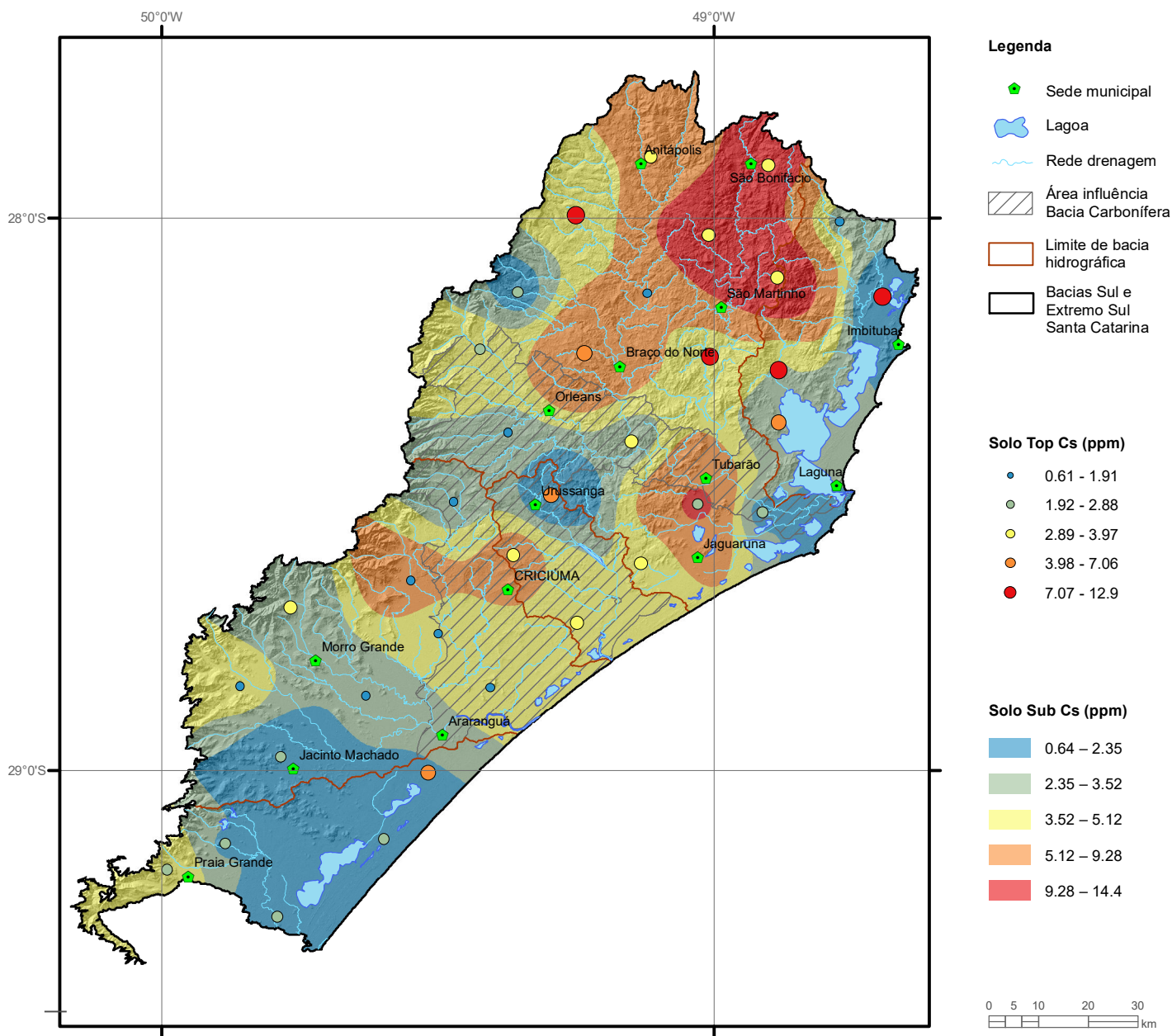
Elemento	Cr (ppm)
Limite de Detecção	1
Número de dados	74
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	0.500
Valor Máximo	69.00
Média	15.01
Desvio Padrão	8.87
Quartil Superior	18.0
Mediana	14.0
Quartil Inferior	11.0
Clarke	122
CONAMA 454/2012 (N1)	37.3



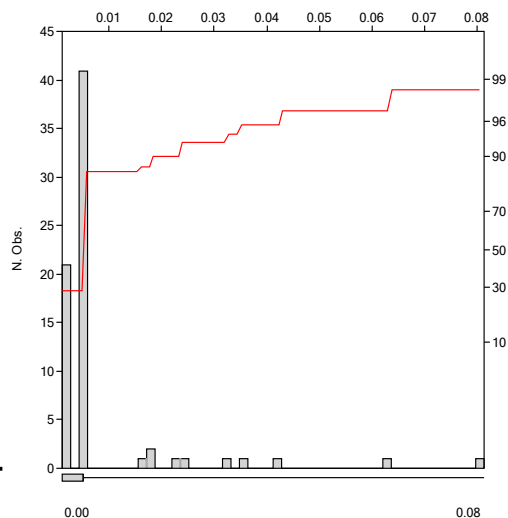
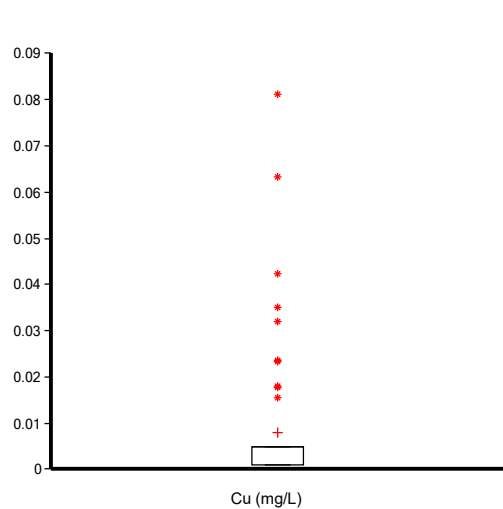
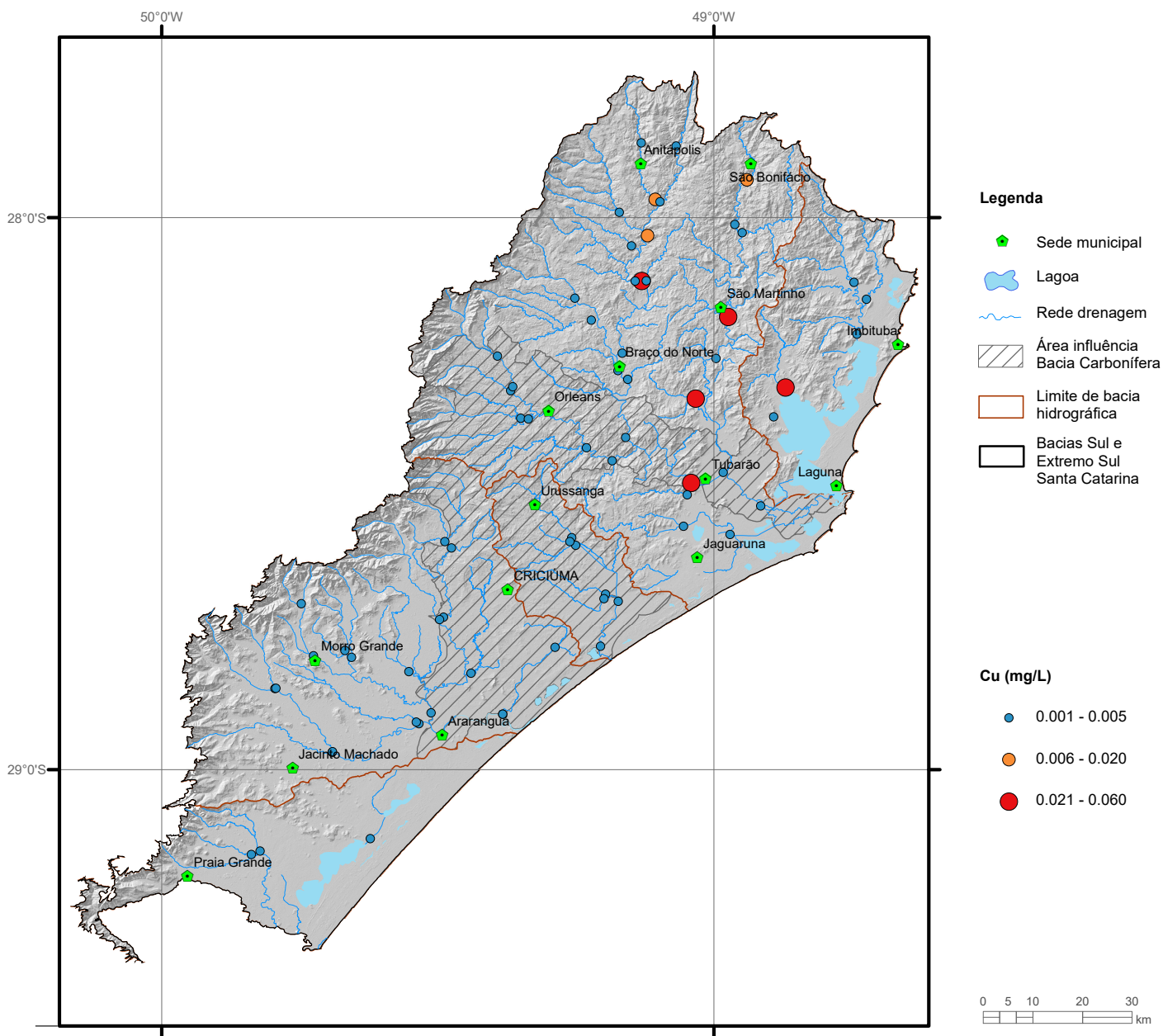
Elemento	Cr (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	1	1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	34
Valor Mínimo	2.00	0.50
Valor Máximo	80.0	157.0
Média	16.83	21.61
Desvio Padrão	15.17	26.16
Quartil Superior	23.00	24.00
Mediana	14.00	16.00
Quartil Inferior	9.00	9.00
CONAMA 420/2009 (VP)		75
NOAA/2008 (Eco-SSL)		26



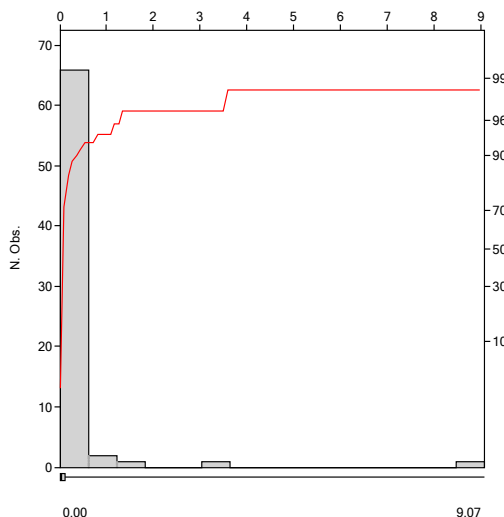
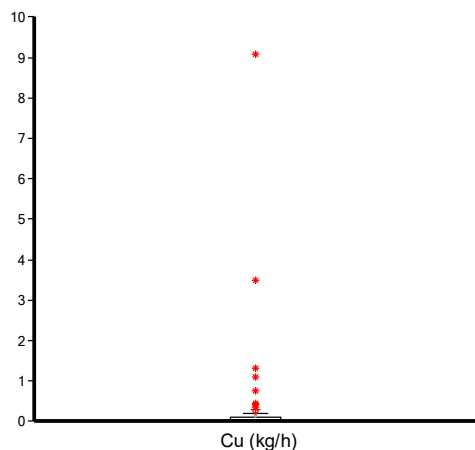
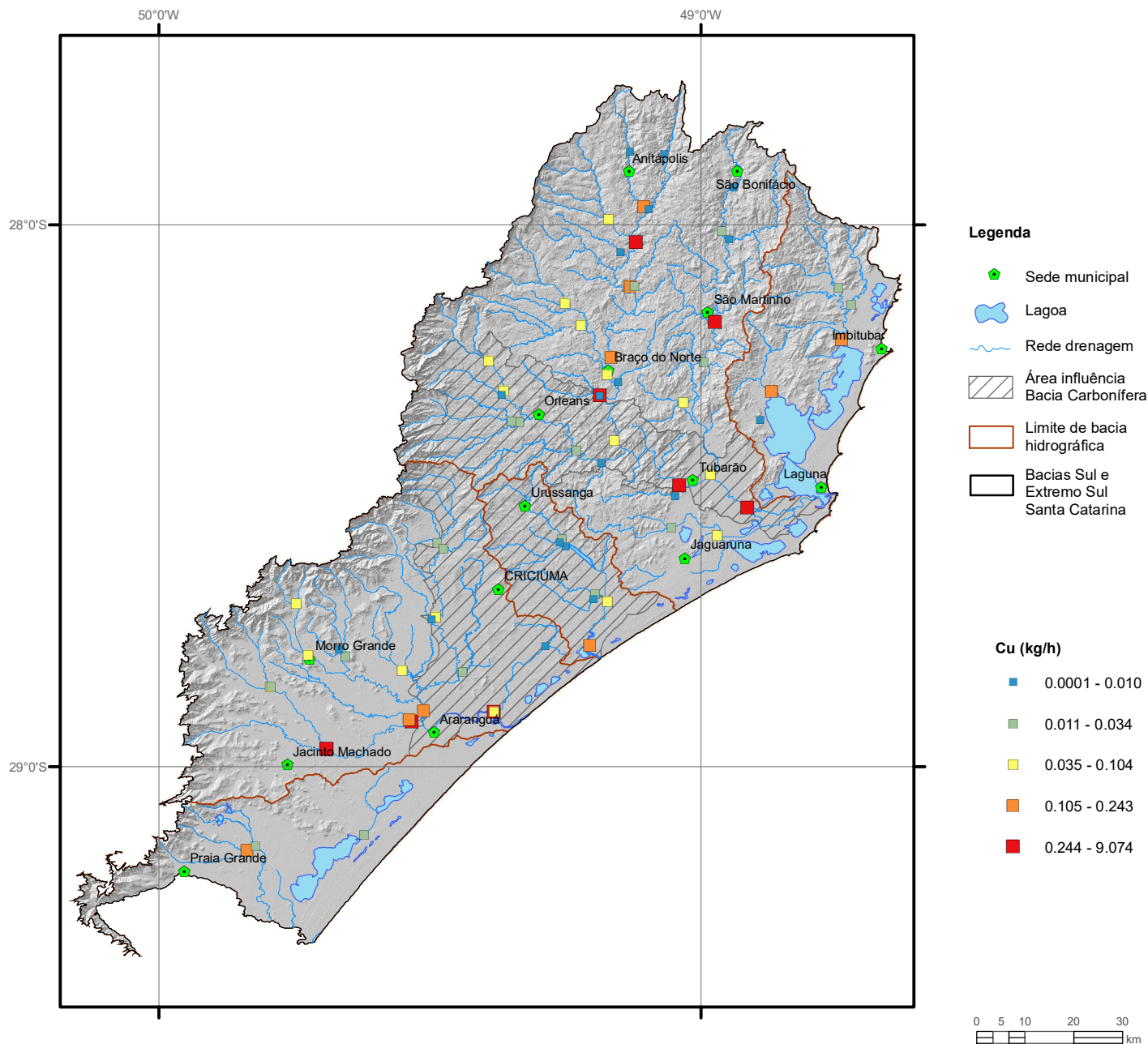
Elemento	Cs (ppm)
Limite de Detecção	0.05
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.33
Valor Máximo	7.04
Média	2.16
Desvio Padrão	1.55
Quartil Superior	2.62
Mediana	1.62
Quartil Inferior	1.01
Clarke	2.60
CONAMA 454/2012	-



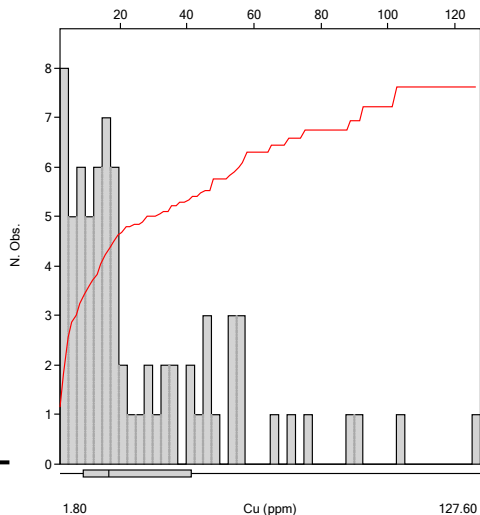
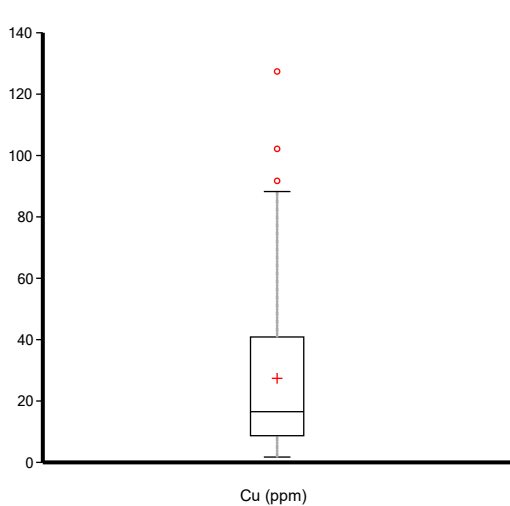
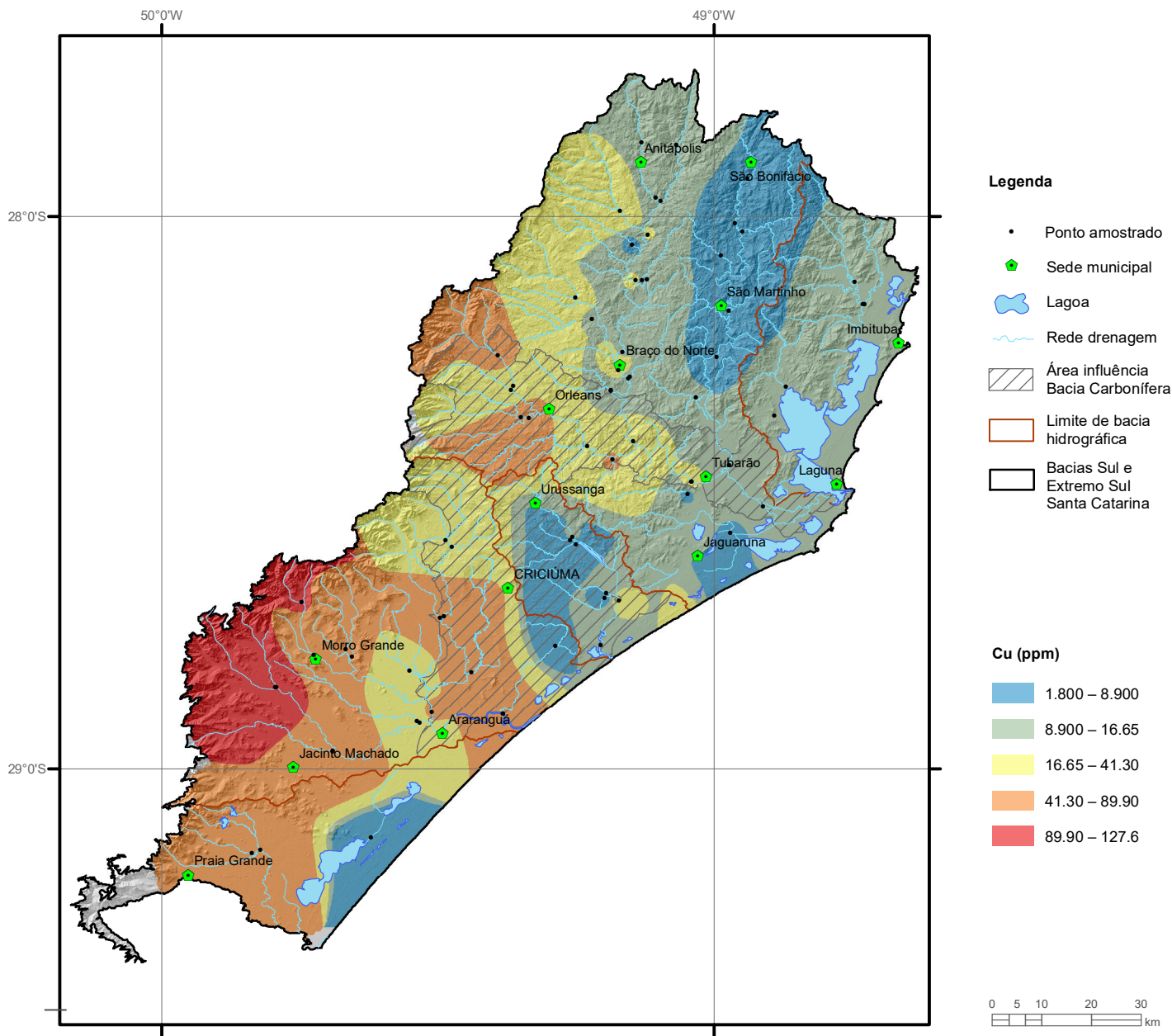
Elemento	Cs (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.05	0.05
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.61	0.64
Valor Máximo	12.9	14.4
Média	3.65	4.46
Desvio Padrão	2.9	3.3
Quartil Superior	3.97	5.12
Mediana	2.88	3.52
Quartil Inferior	1.91	2.35
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



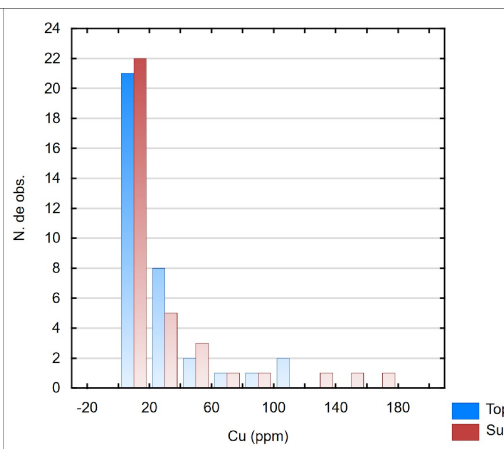
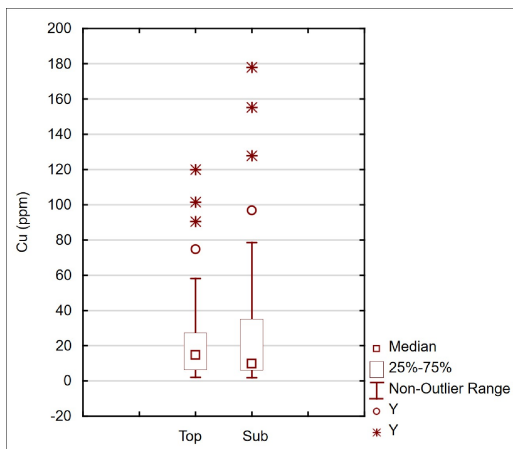
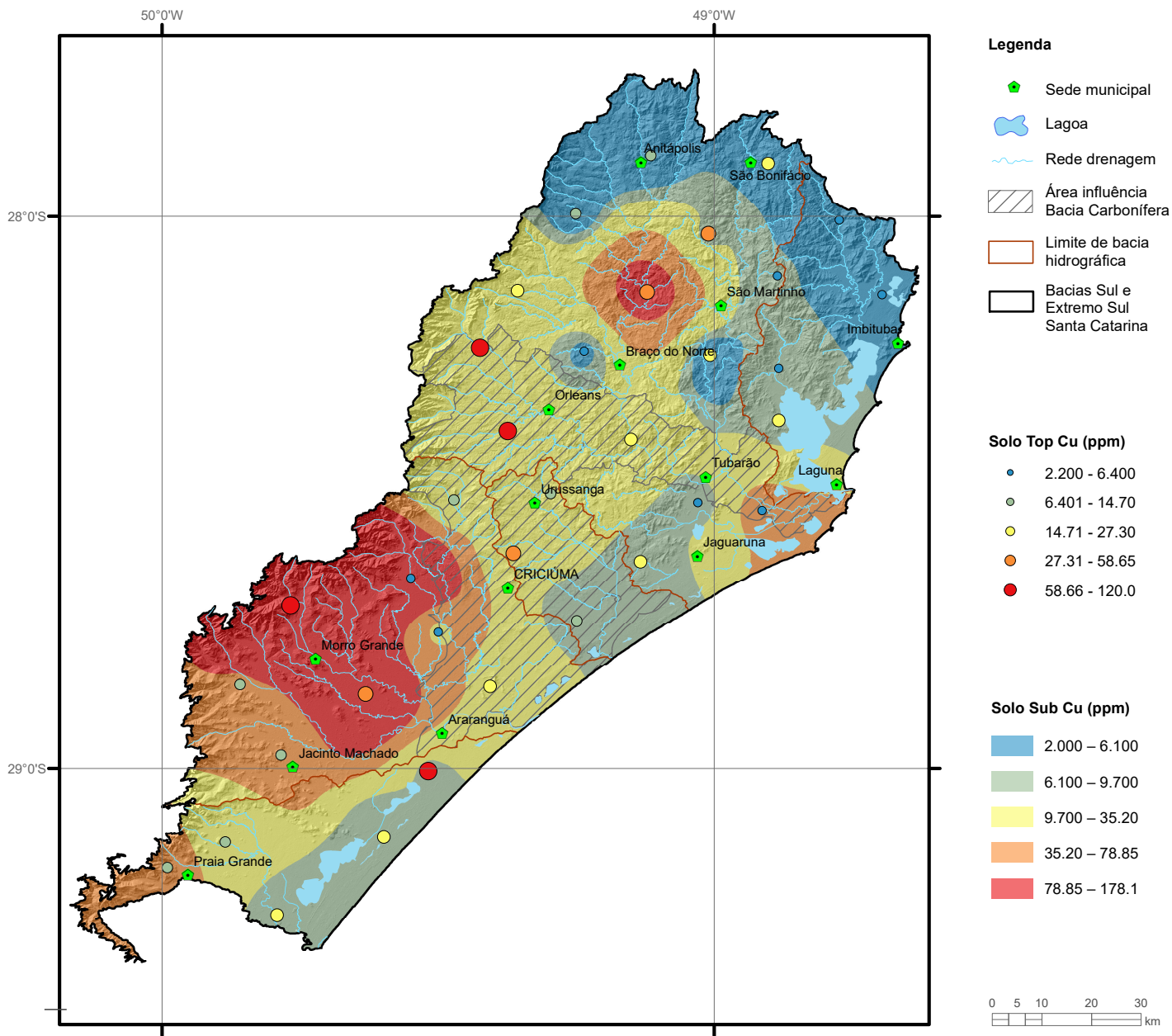
Elemento	Cu (mg/L)
Limite de Detecção	0.002
Número de dados	72
Número de dados > LD	10
Valor Mínimo	0.001
Valor Máximo	0.08
Média	0.008
Desvio Padrão	0.01
Quartil Superior	0.005
Mediana	0.005
Quartil Inferior	0.001
CONAMA 357/2005 (II)	0.009
Portaria MS 2914/2011	2.0



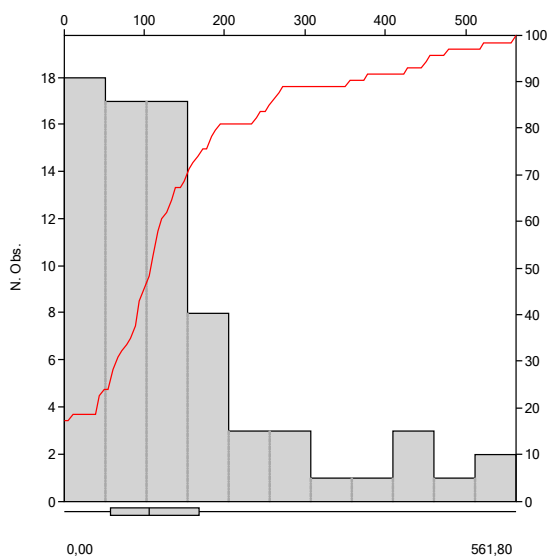
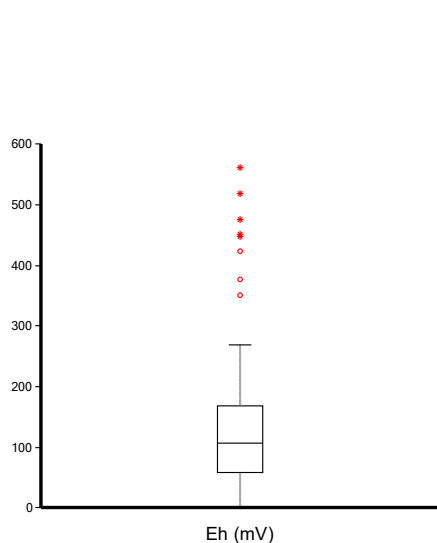
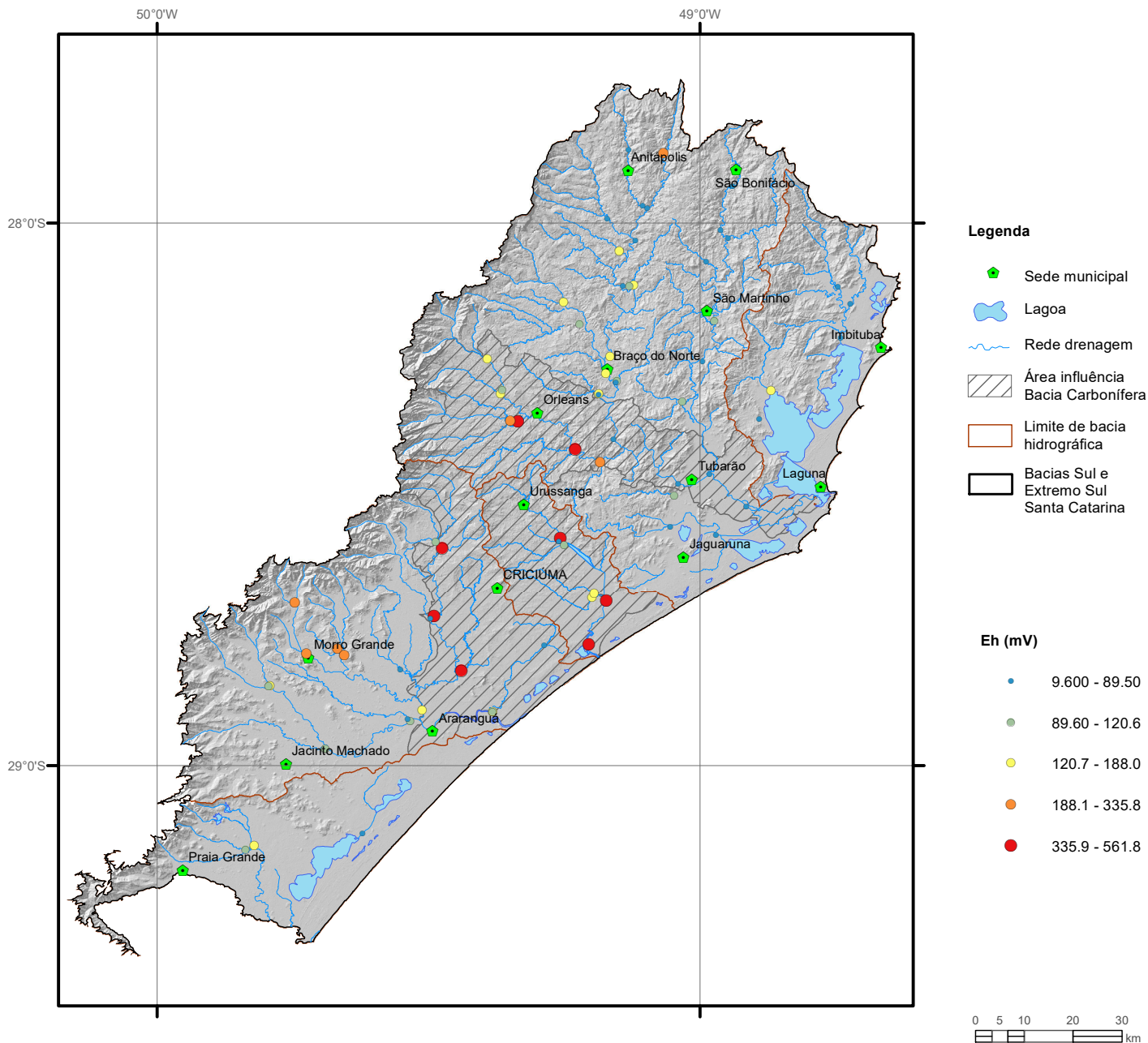
Estatística Descritiva	
Elemento	Cu (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.0001
Valor Máximo	9.074
Média	0.278
Desvio Padrão	1.147
Quartil Superior	0.104
Mediana	0.034
Quartil Inferior	0.010



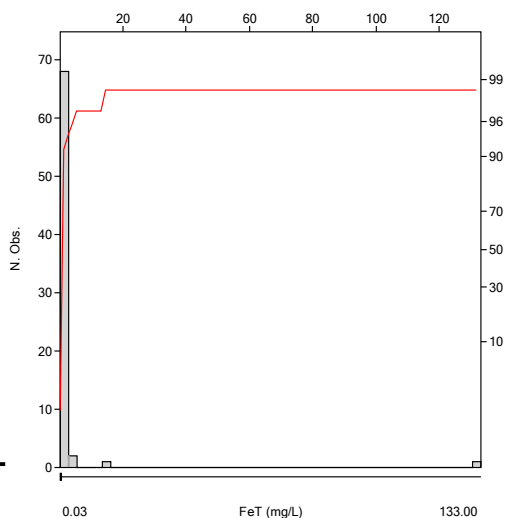
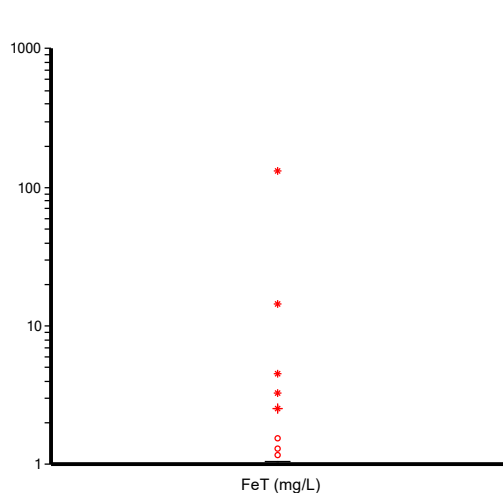
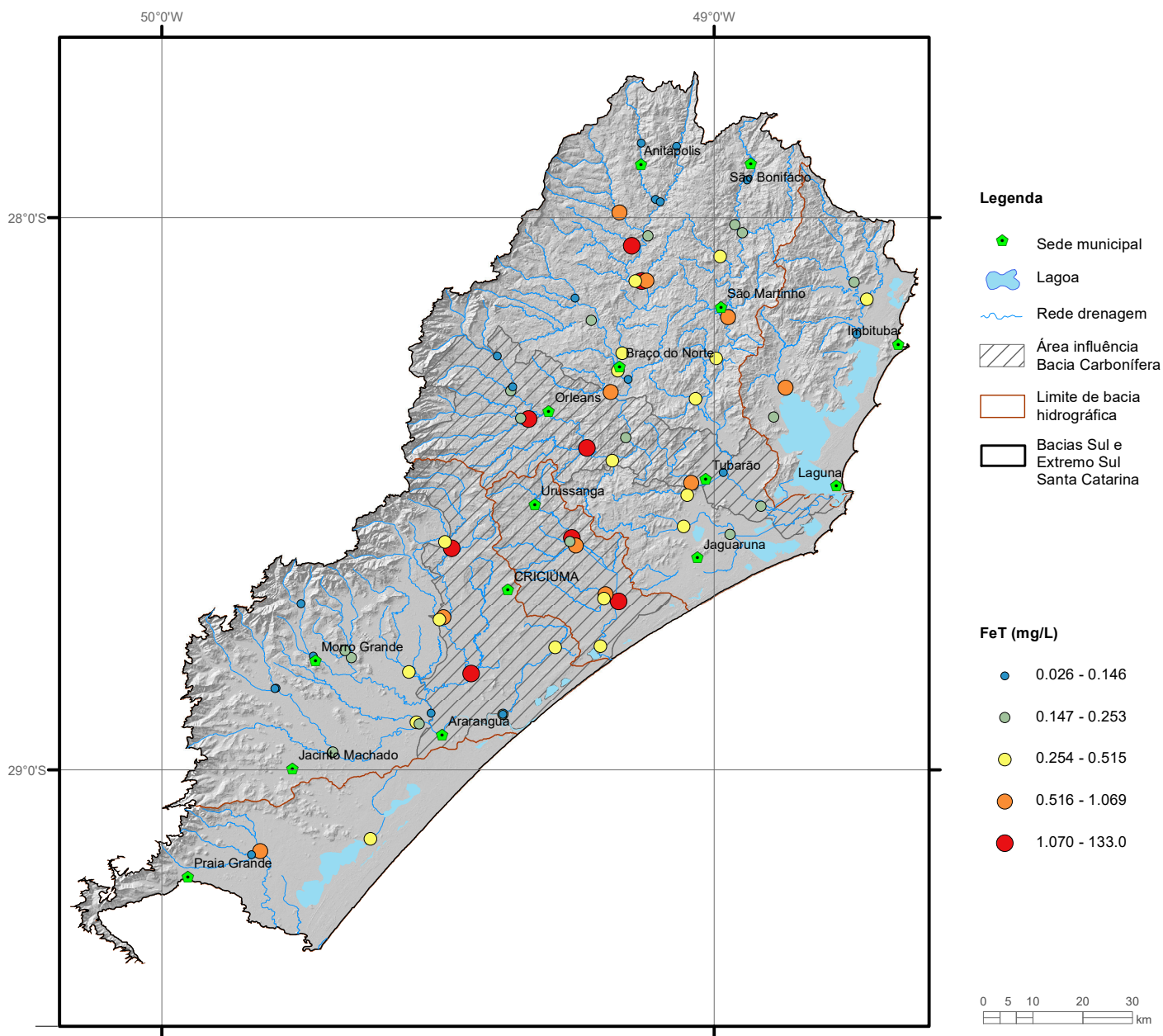
Elemento	Cu (ppm)
Limite de Detecção	0.5
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	1.80
Valor Máximo	127.6
Média	27.45
Desvio Padrão	26.06
Quartil Superior	41.30
Mediana	16.65
Quartil Inferior	8.90
Clarke	68
CONAMA 454/2012 (N1)	35.7



Elemento	Cu (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.5	0.5
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	2.20	2.00
Valor Máximo	120.0	178.1
Média	25.40	31.22
Desvio Padrão	29.66	44.15
Quartil Superior	27.30	35.20
Mediana	14.70	9.70
Quartil Inferior	6.40	6.10
CONAMA 420/2009 (VP)		60
NOAA/2008 (Eco-SSL)		28

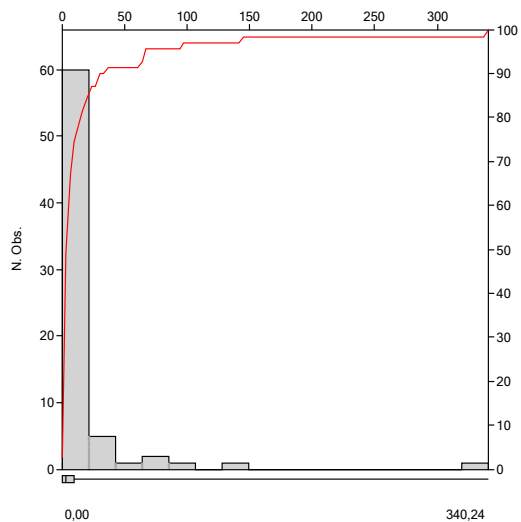
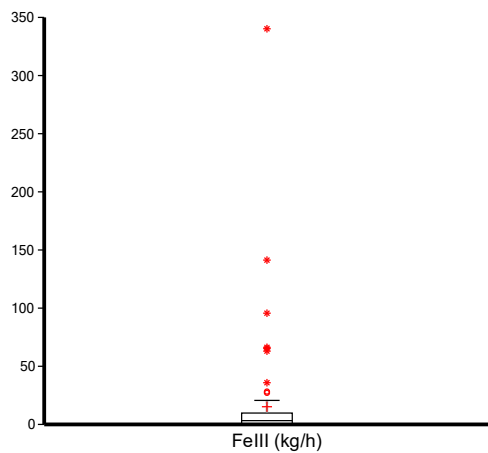
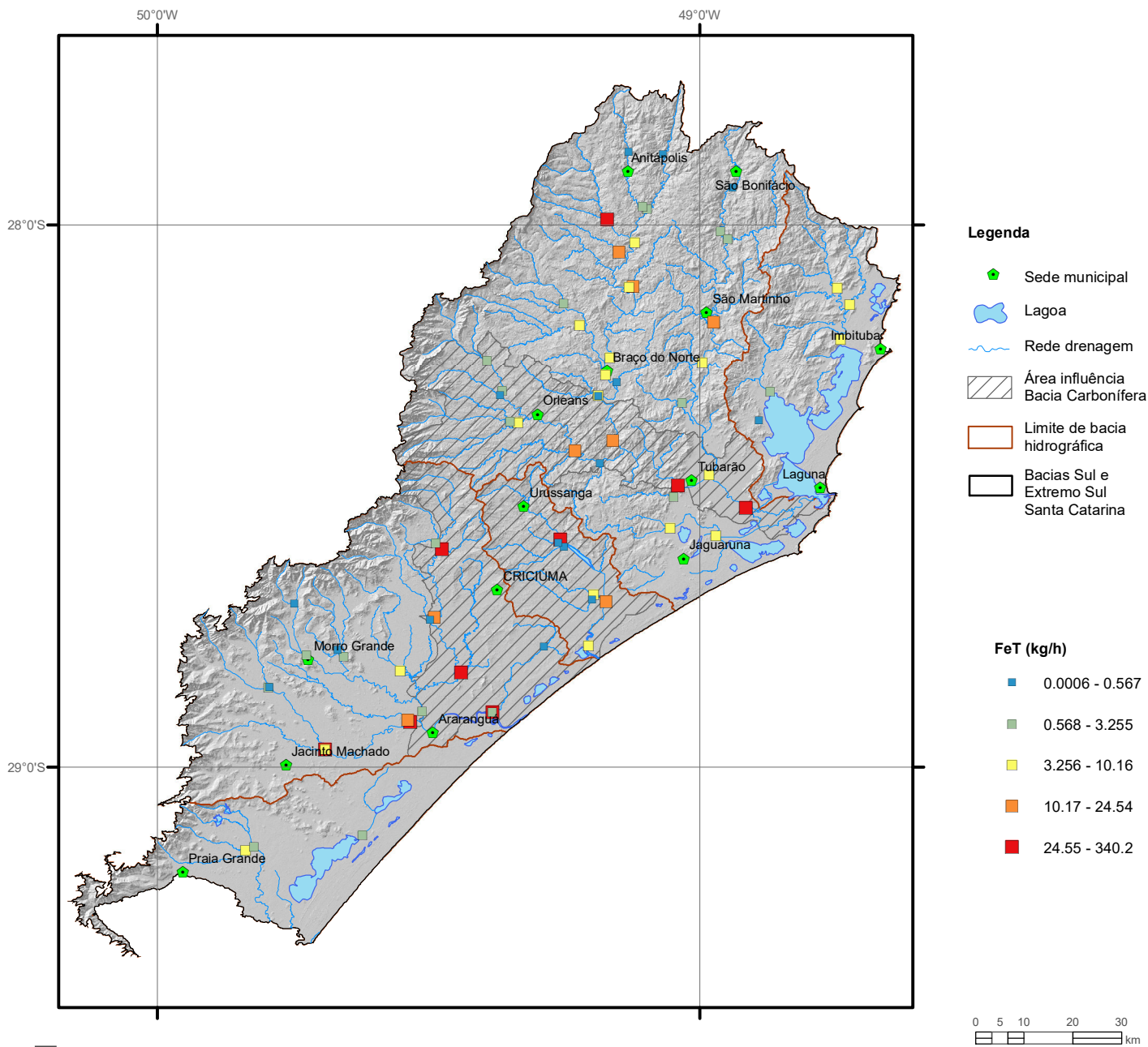


Estatística Descritiva	
Elemento	Eh (mV)
Limite de Quantificação	0.1
Número de dados	61
Número de dados > LD	61
Valor Mínimo	9.600
Valor Máximo	561.8
Média	166.4
Desvio Padrão	127.9
Quartil Superior	188
Mediana	120.6
Quartil Inferior	89.5
CONAMA 357/2005 (II)	-
Portaria MS 2914/2011	-

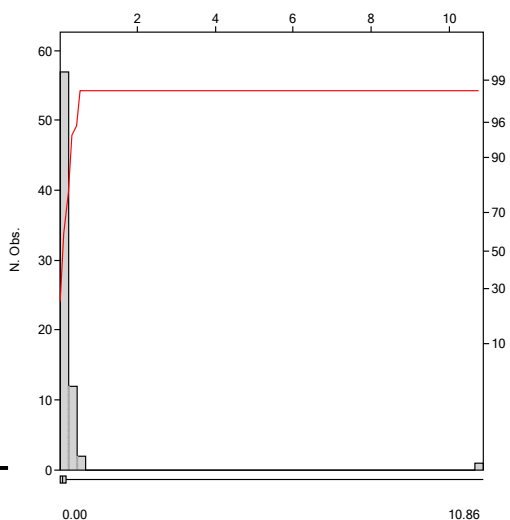
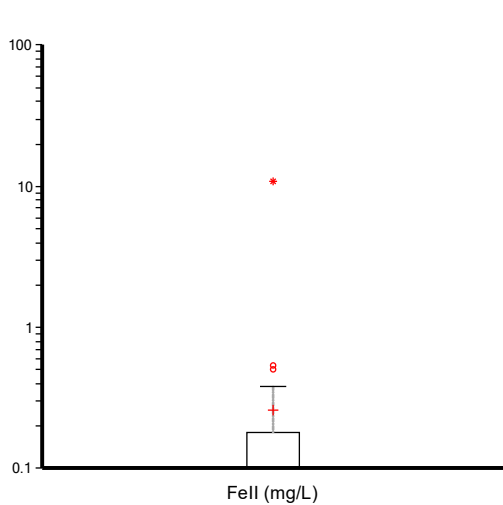
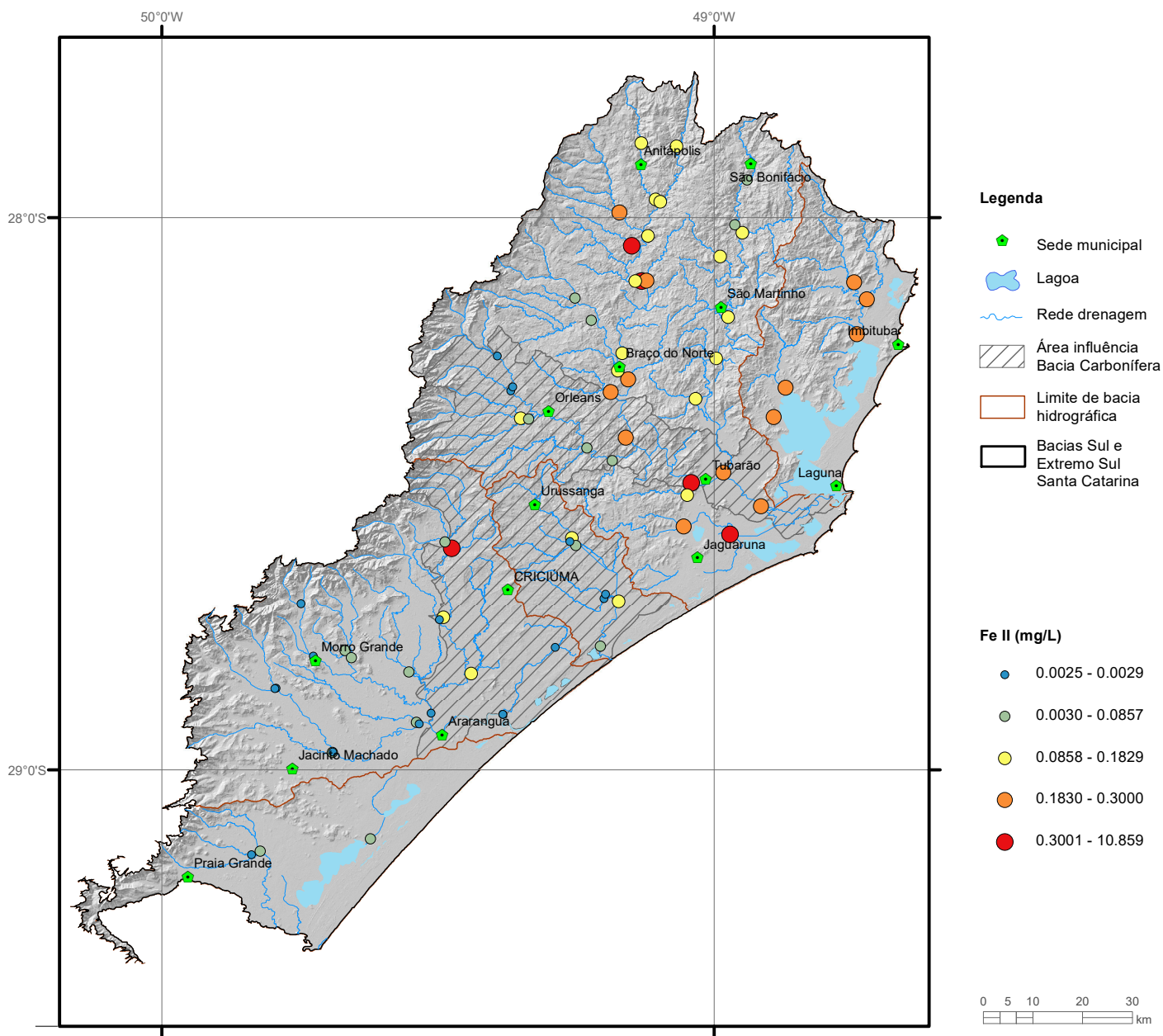


Elemento	FeT (mg/L)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	72
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	0.026
Valor Máximo	133.00
Média	2.524
Desvio Padrão	15.70
Quartil Superior	0.515
Mediana	0.253
Quartil Inferior	0.146
CONAMA 357/2005 (II)	0.3
Portaria MS 2914/2011	0.3

FERRO TOTAL FeT Carga



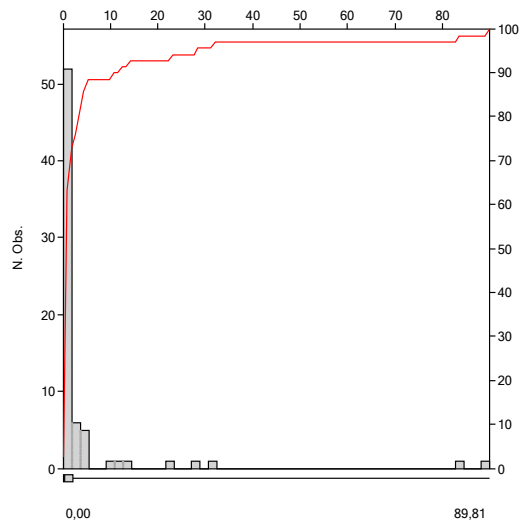
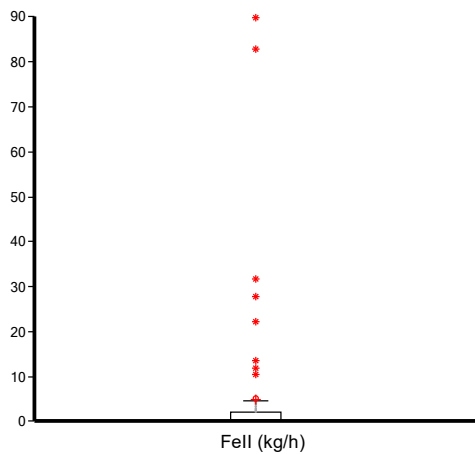
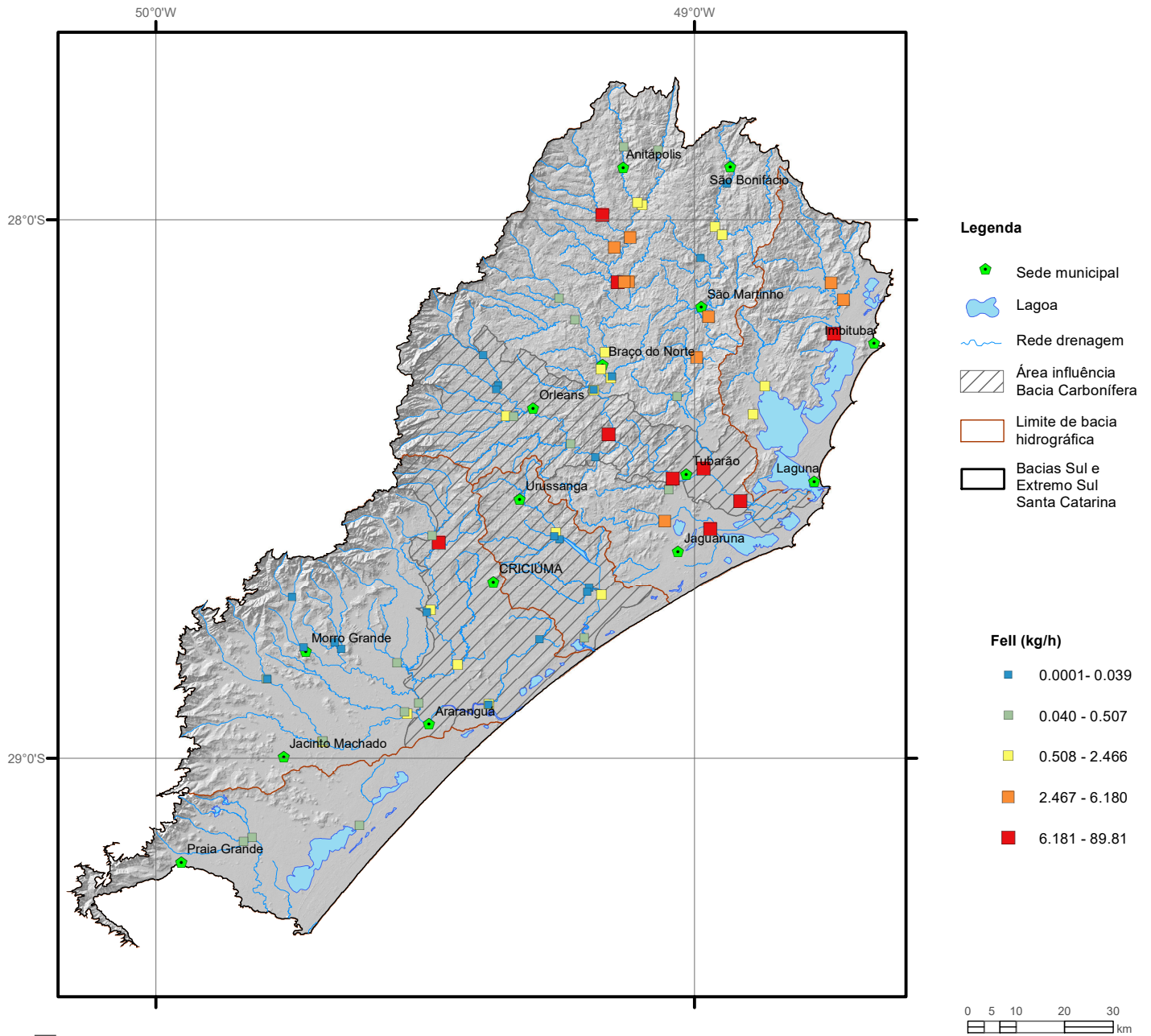
Estatística Descritiva	
Elemento	FeT (kg/h)
Número de dados	74
Valor Mínimo	0.0006
Valor Máximo	340.2
Média	15.83
Desvio Padrão	44.73
Quartil Superior	10.16
Mediana	3.255
Quartil Inferior	0.567



Elemento	FeII(mg/L)
Limite de Detecção	1
Número de dados	72
Número de dados > LD	54
Valor Mínimo	0.0025
Valor Máximo	10.859
Média	0.258
Desvio Padrão	1.27
Quartil Superior	0.1829
Mediana	0.0857
Quartil Inferior	0.0029
CONAMA 357/2005 (II)	-
Portaria MS 2914/2011	-

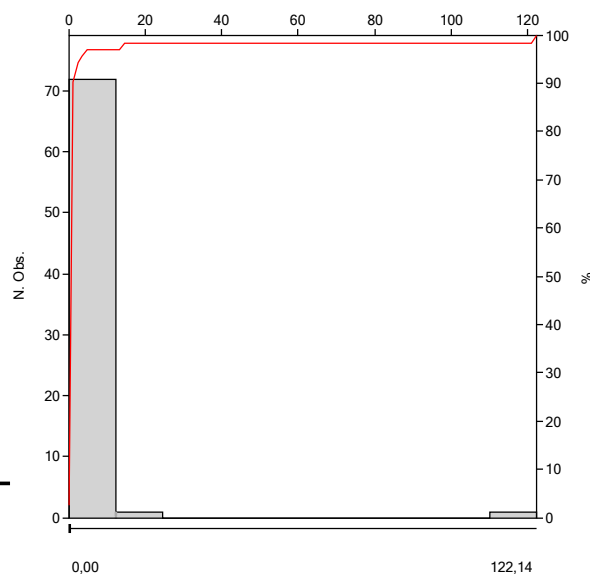
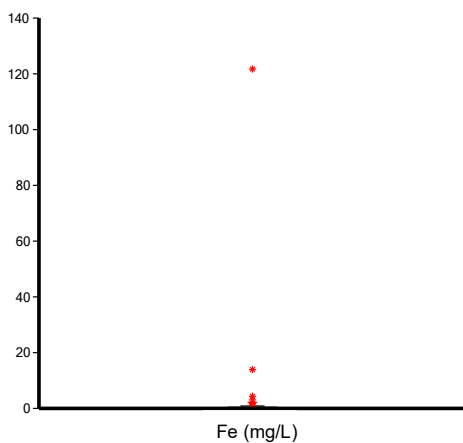
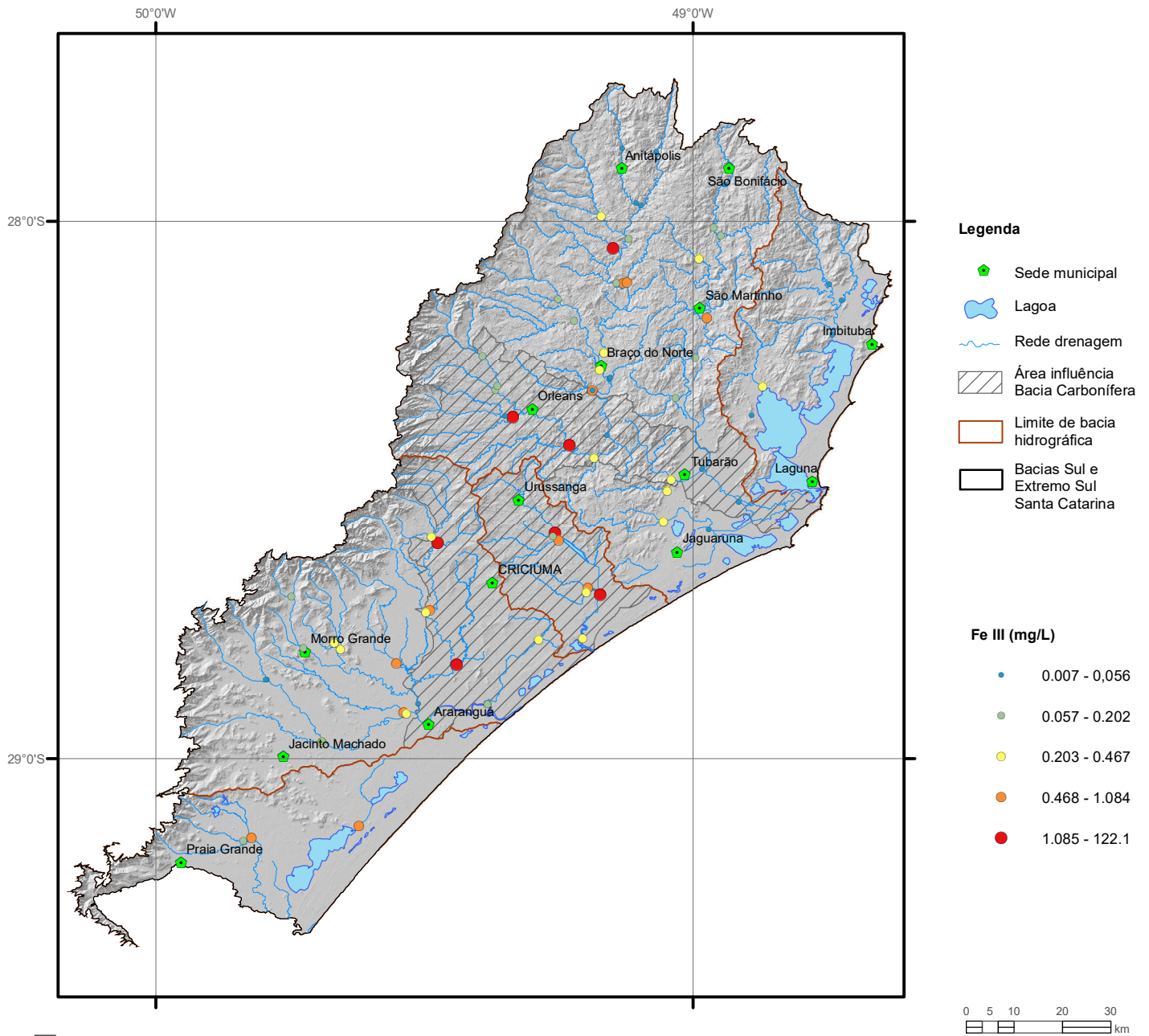
FERRO FERROSO Fell

Carga



Estatística Descritiva	
Elemento	Fell (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.0001
Valor Máximo	89.91
Média	4.946
Desvio Padrão	15.08
Quartil Superior	2.466
Mediana	0.507
Quartil Inferior	0.039

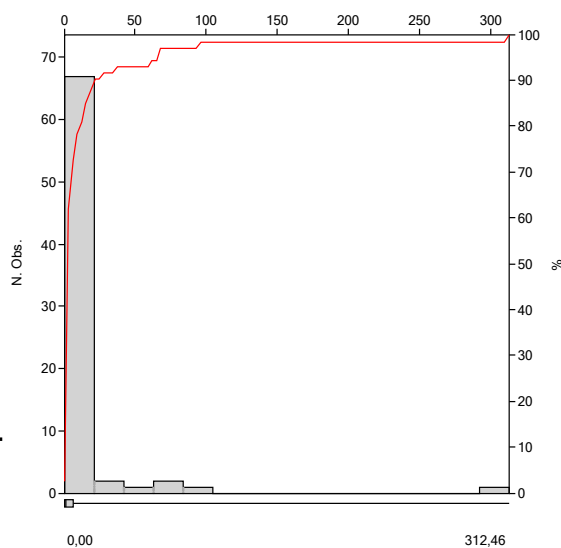
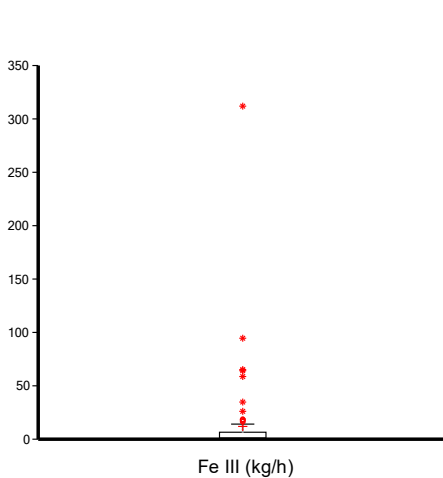
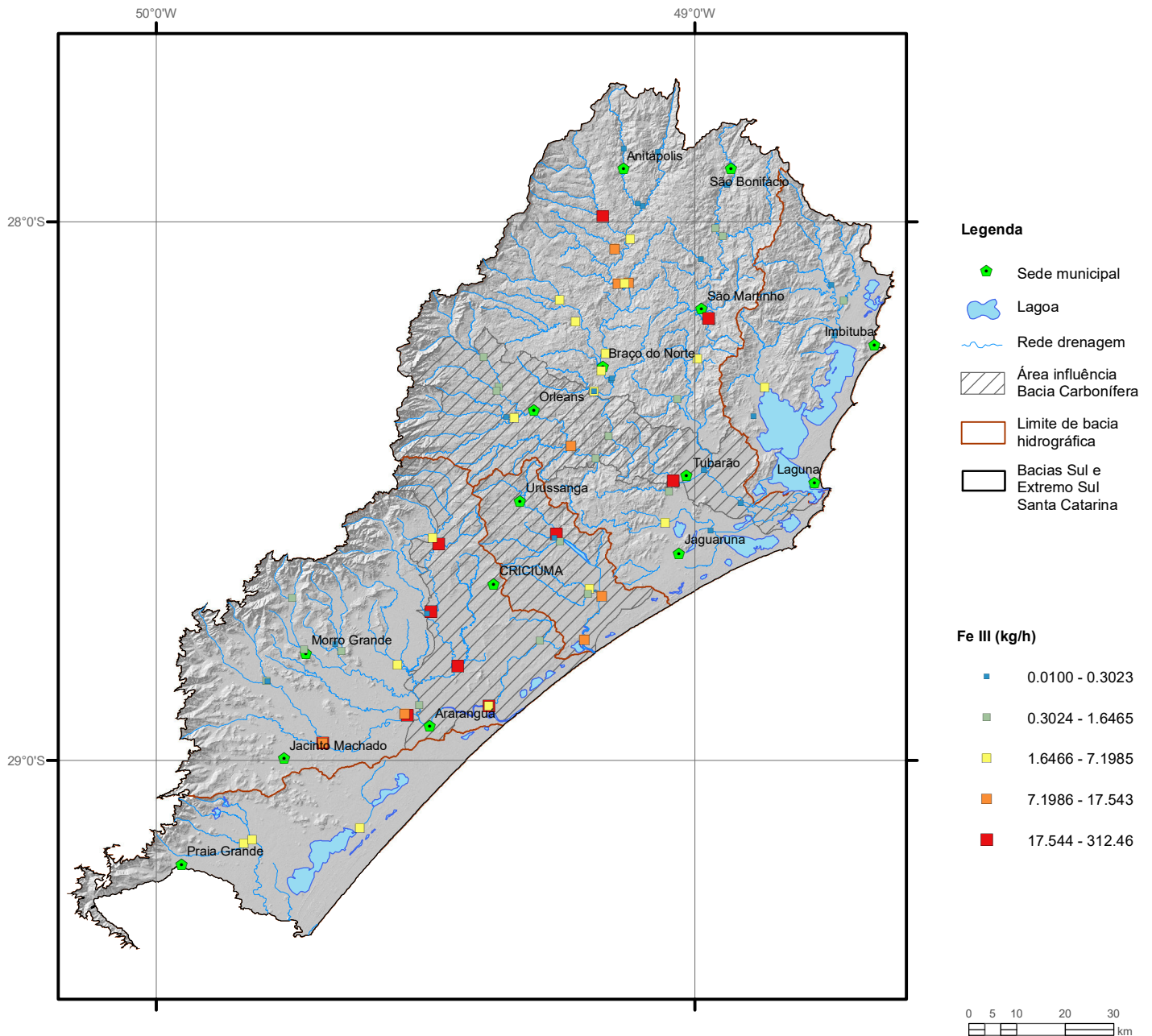
FERRO FÉRRICO Fe III



Estatística Descritiva	
Elemento	FeIII (mg/L)
Limite de Quantificação	0.01
Número de dados	72
Número de dados > LD	54
Valor Mínimo	0.007
Valor Máximo	122.1
Média	2.278
Desvio Padrão	14.43
Quartil Superior	0.467
Mediana	0.202
Quartil Inferior	0.056
CONAMA 357/2005 (II)	-
Portaria MS 2914/2011	-

FERRO FÉRRICO Fe III

Carga

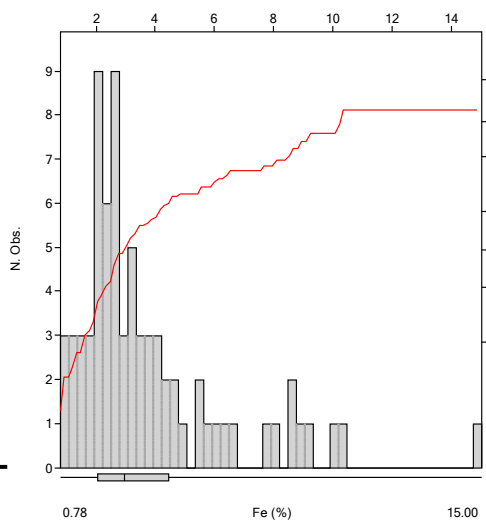
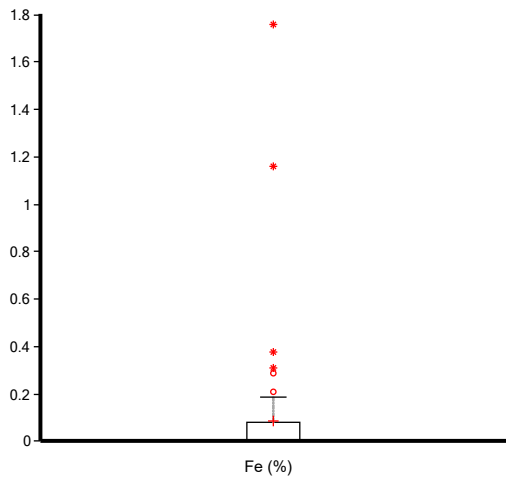
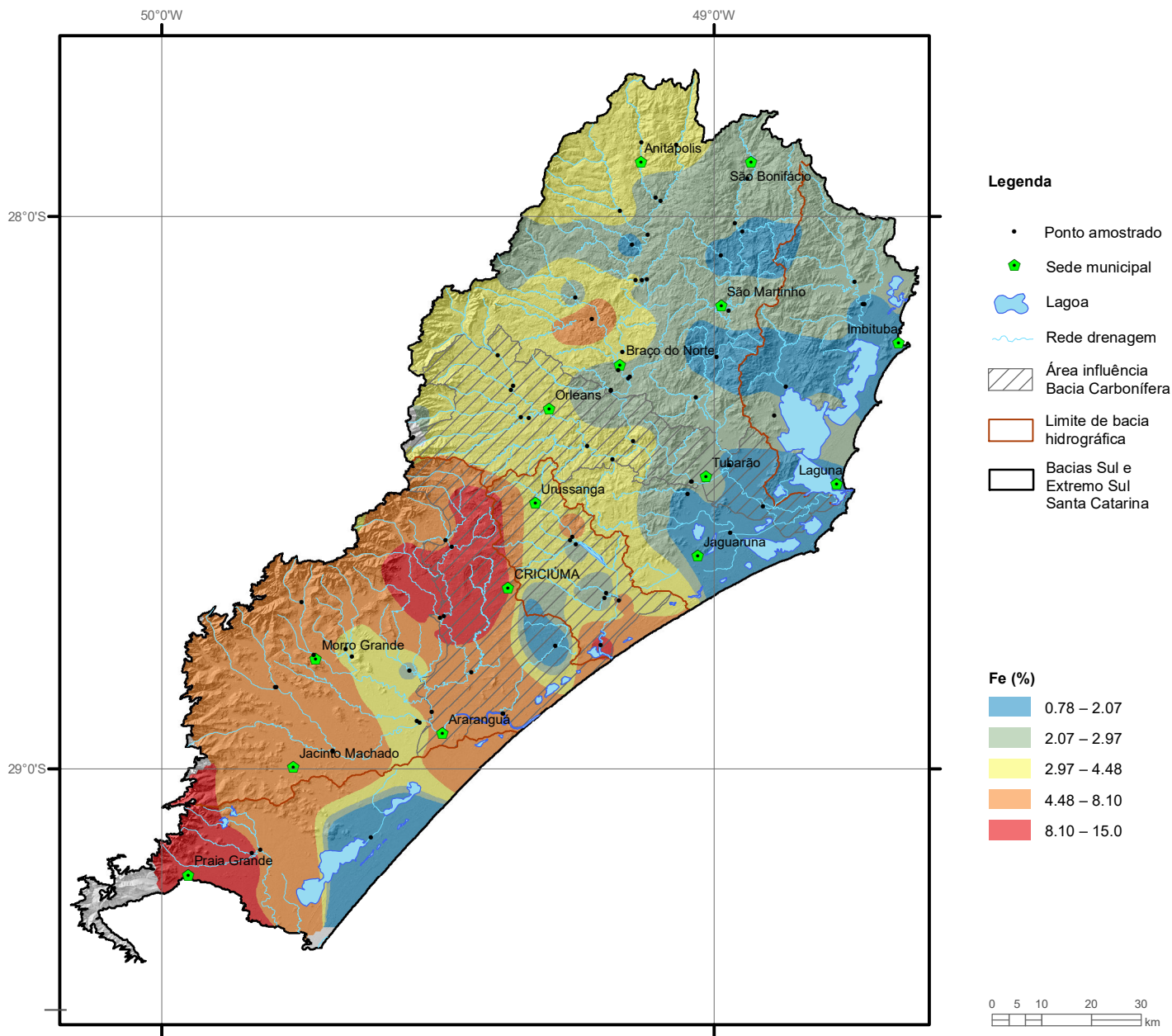


Estatística Descritiva	
Elemento	FeIII (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.01
Valor Máximo	312.5
Média	12.34
Desvio Padrão	39.76
Quartil Superior	7.199
Mediana	1.647
Quartil Inferior	0.302

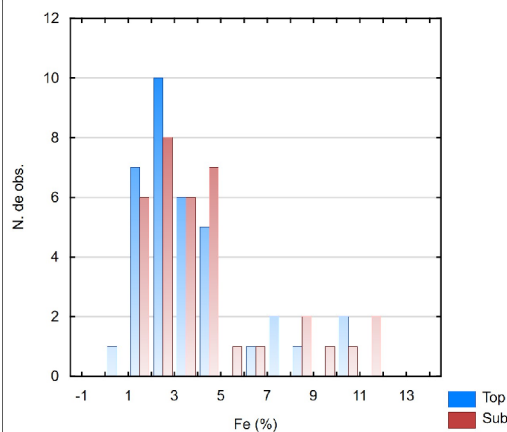
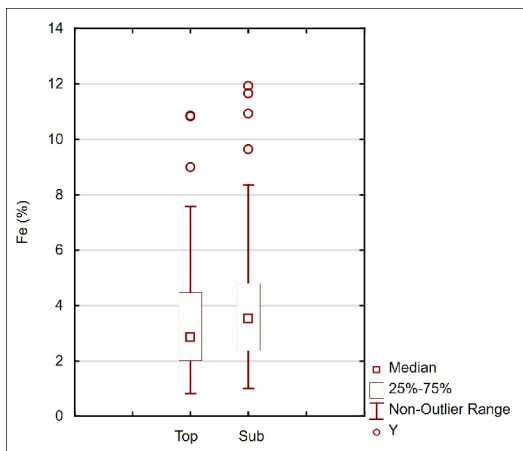
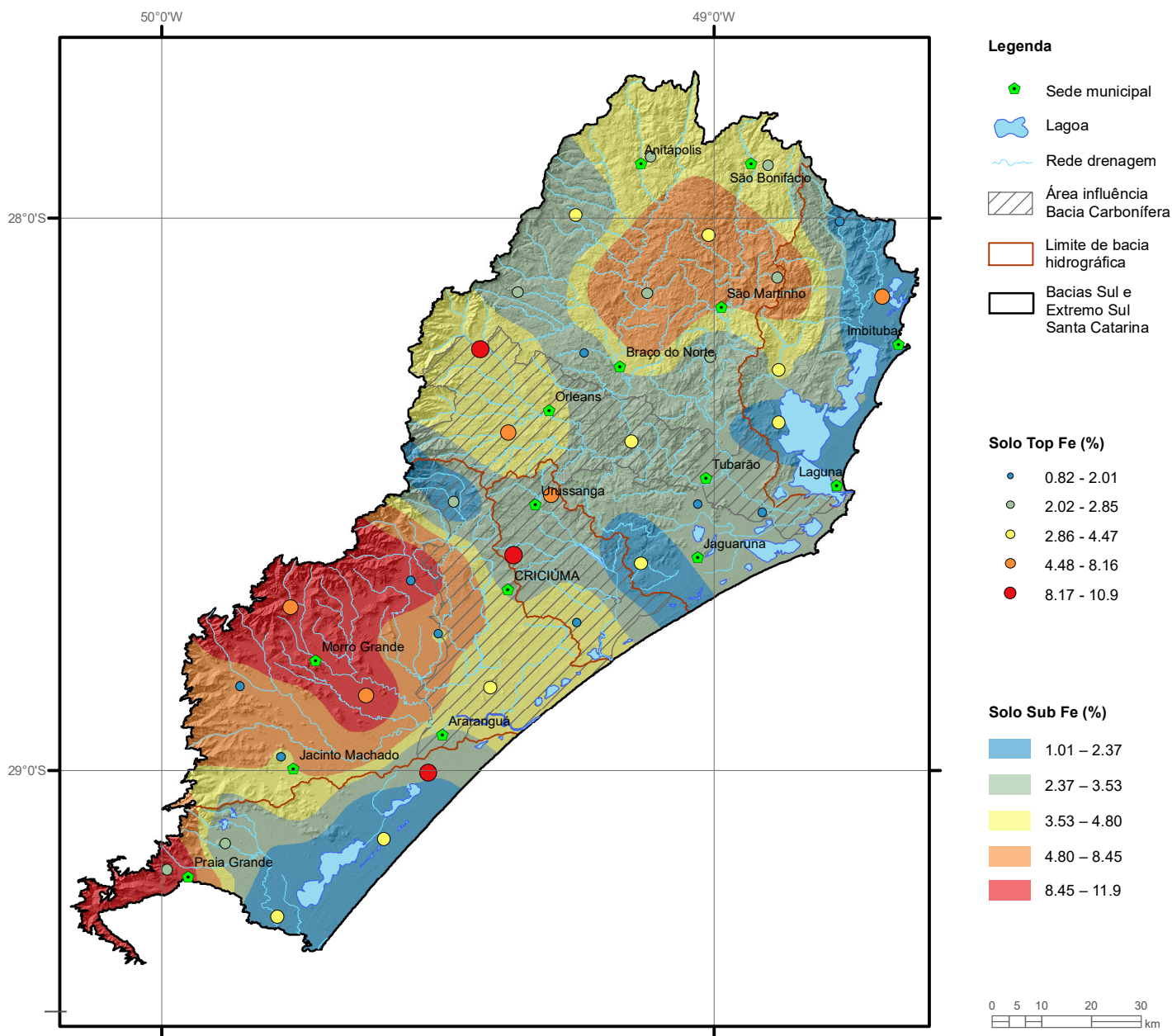
FERRO

Fe

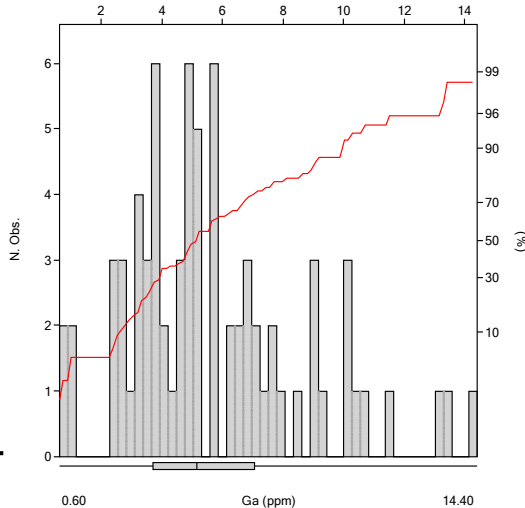
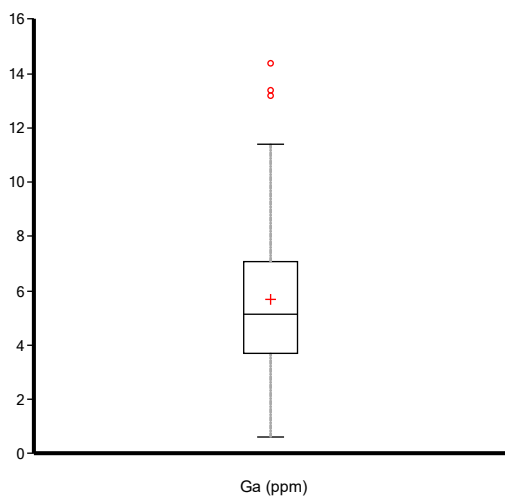
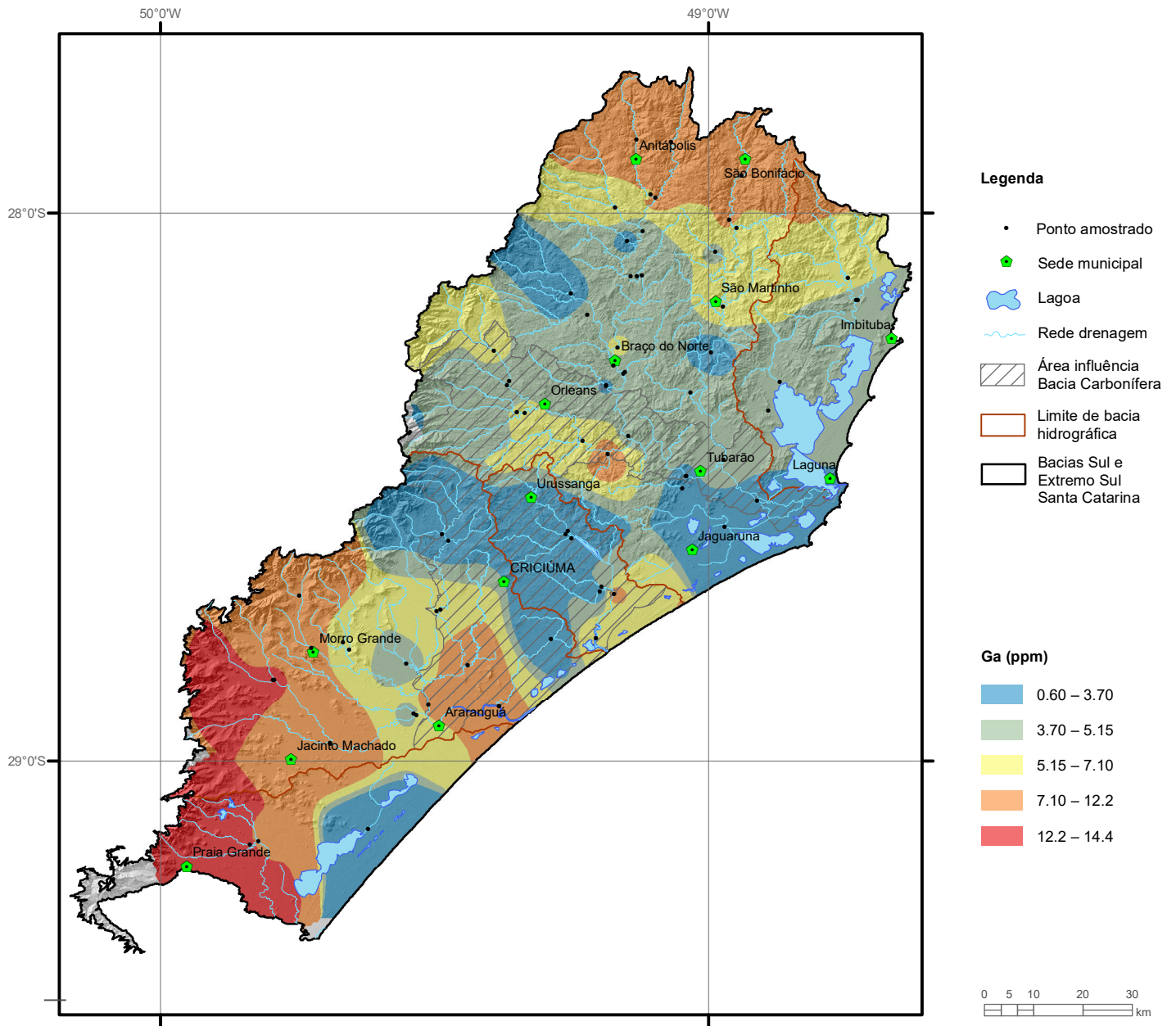
Sedimento



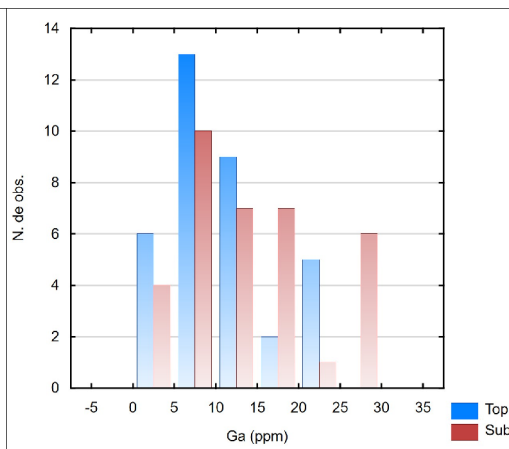
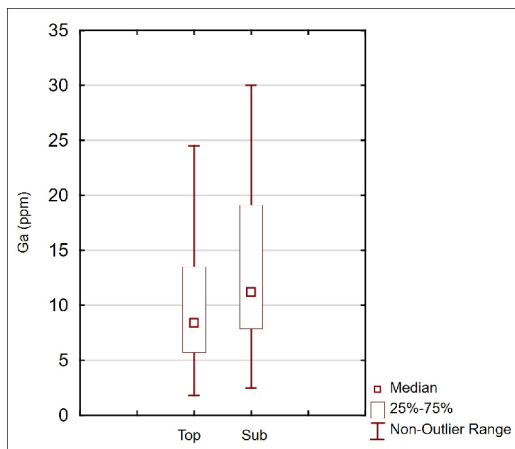
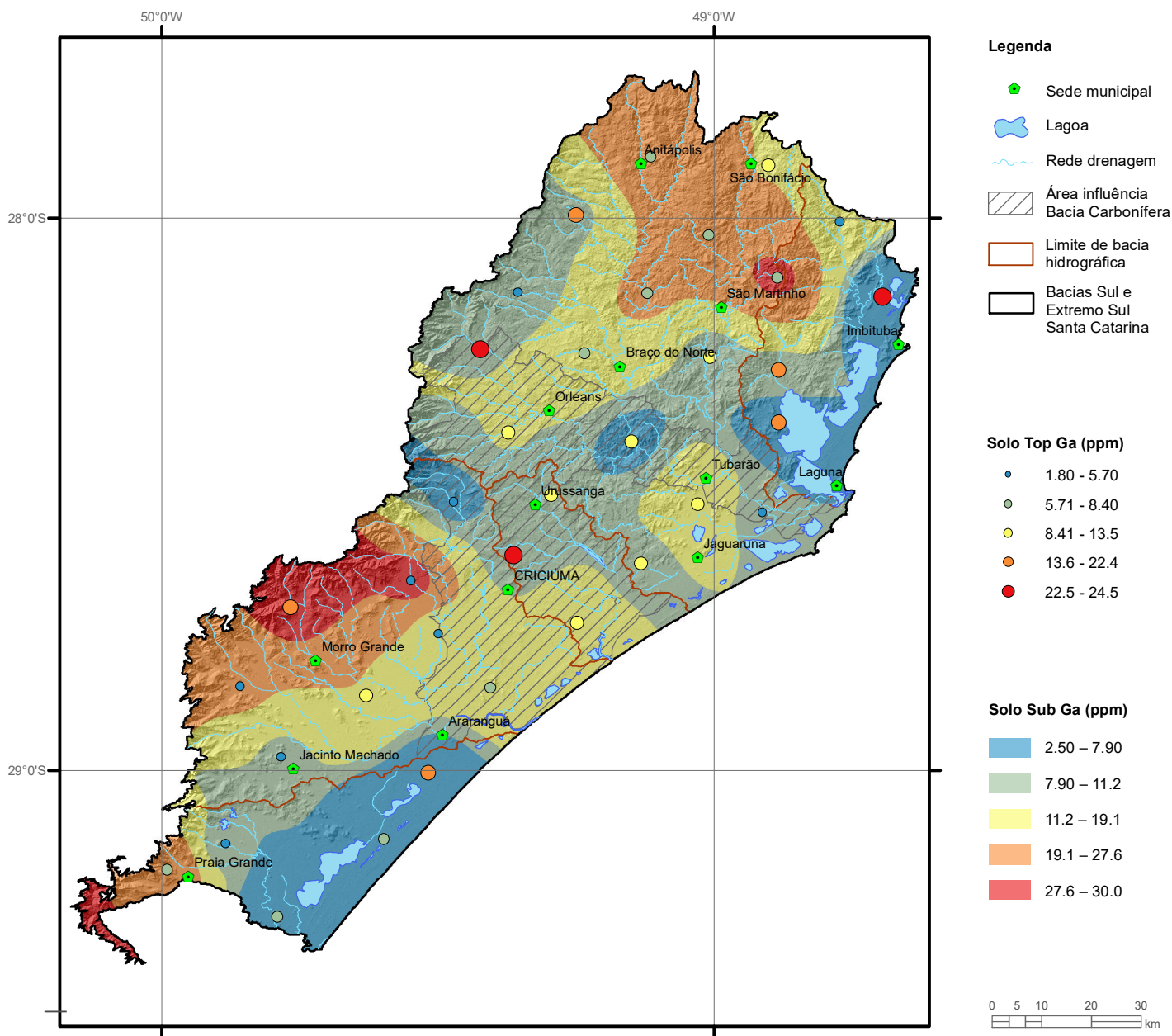
Elemento	Fe (%)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	0.78
Valor Máximo	15.00
Média	3.92
Desvio Padrão	2.93
Quartil Superior	4.48
Mediana	2.97
Quartil Inferior	2.07
Clarke	6.22
NOAA/2008 (LEL)	2.0



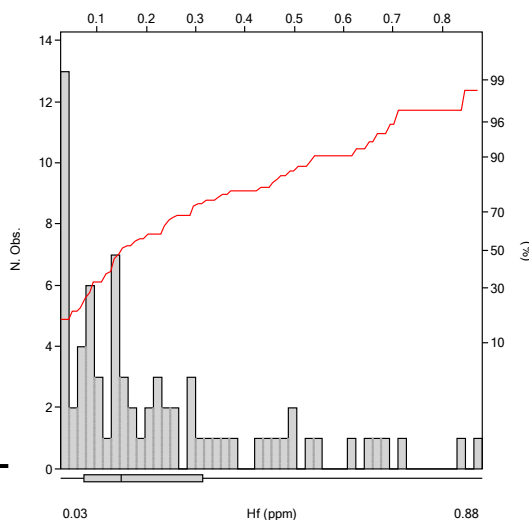
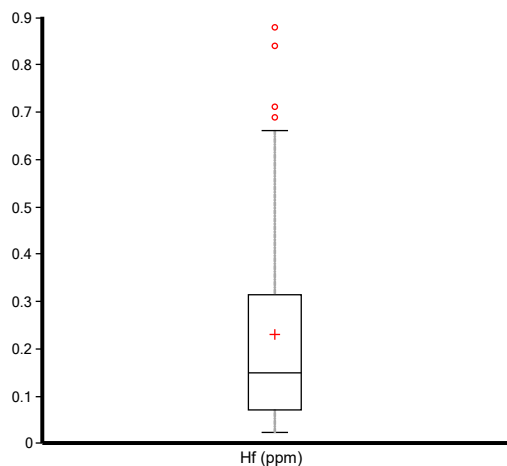
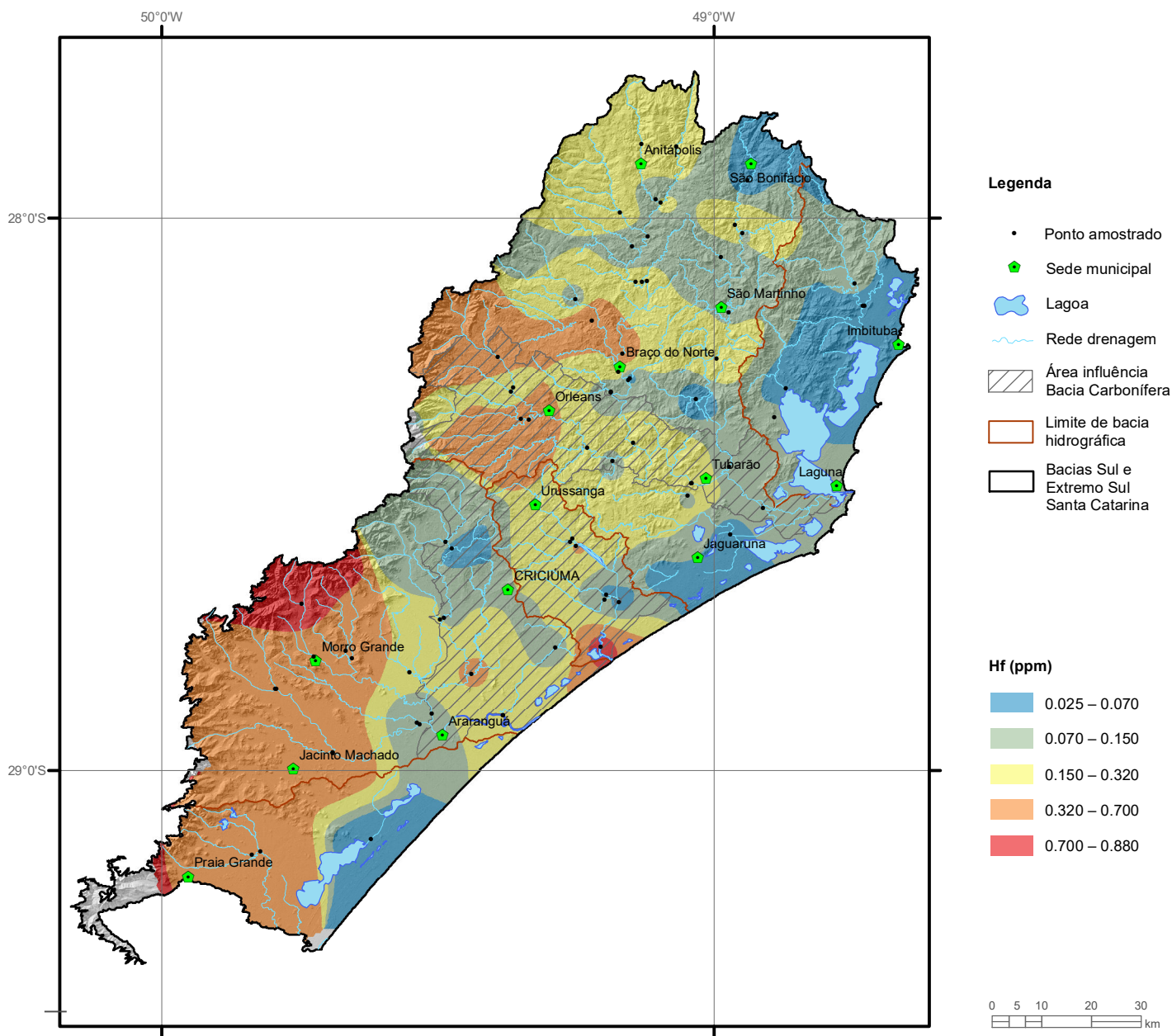
Elemento	Fe (%)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.82	1.01
Valor Máximo	10.86	11.93
Média	3.74	4.45
Desvio Padrão	2.59	2.95
Quartil Superior	4.47	4.80
Mediana	2.85	3.53
Quartil Inferior	2.01	2.37
CONAMA 420/2009 (VP)		-
NOAA/2008 (Background)		1.8



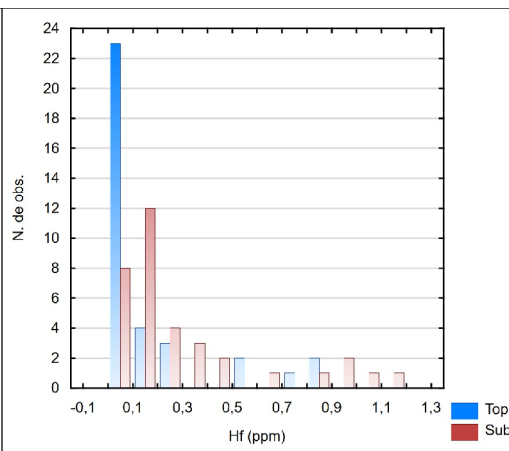
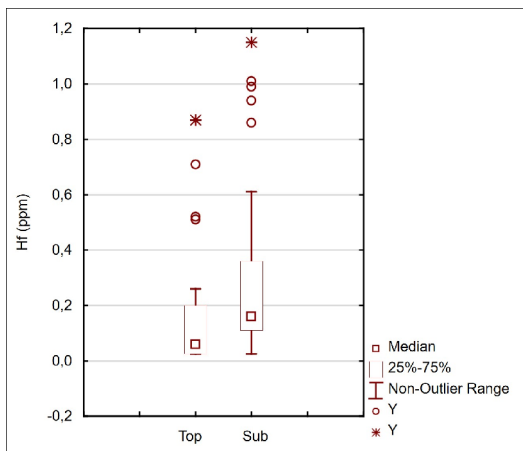
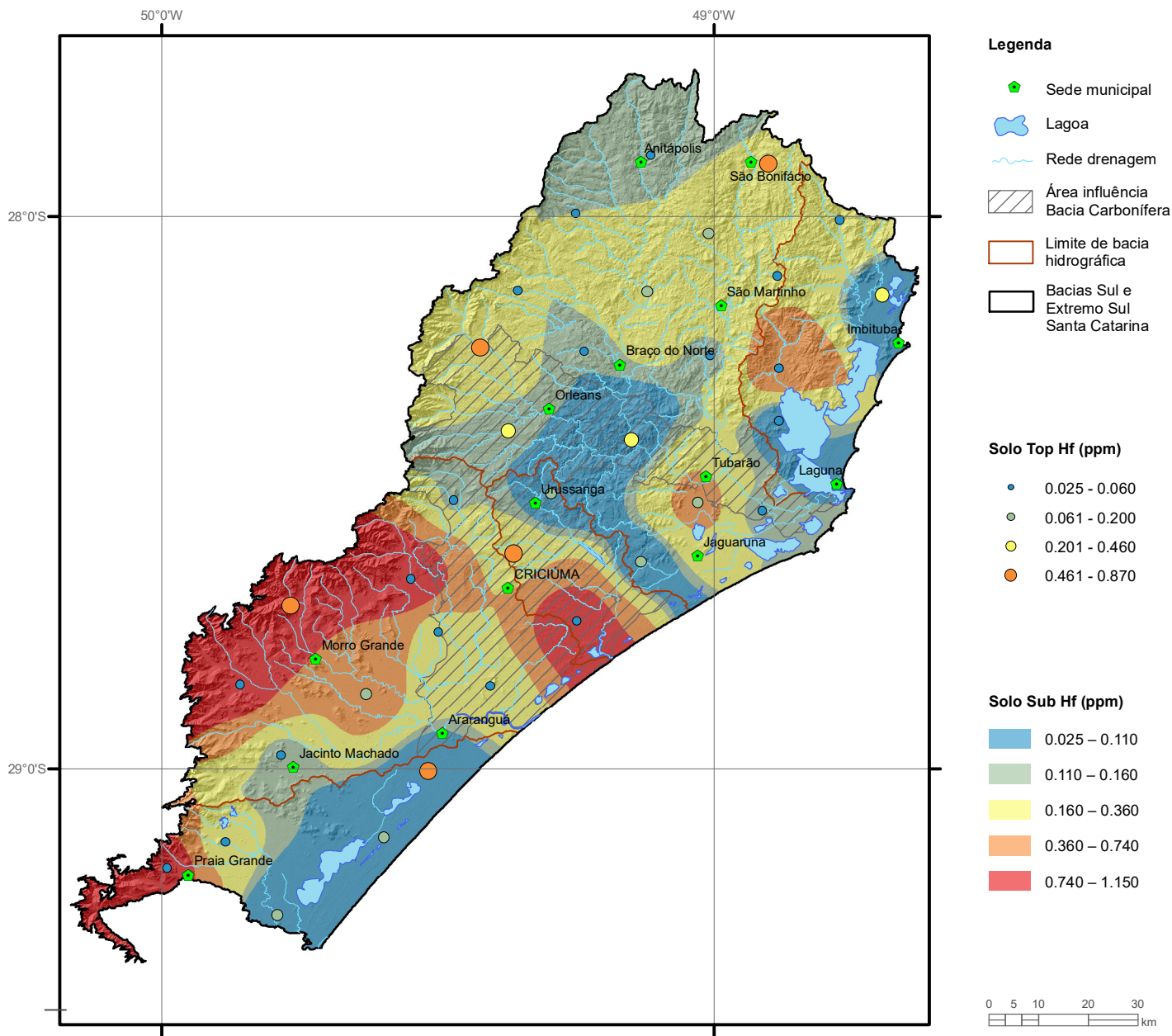
Elemento	Ga (ppm)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.60
Valor Máximo	14.40
Média	5.69
Desvio Padrão	2.97
Quartil Superior	7.10
Mediana	5.15
Quartil Inferior	3.70
Clarke	19
CONAMA 454/2012	-



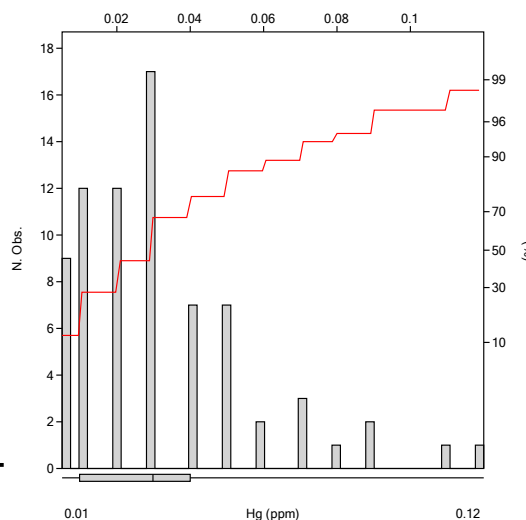
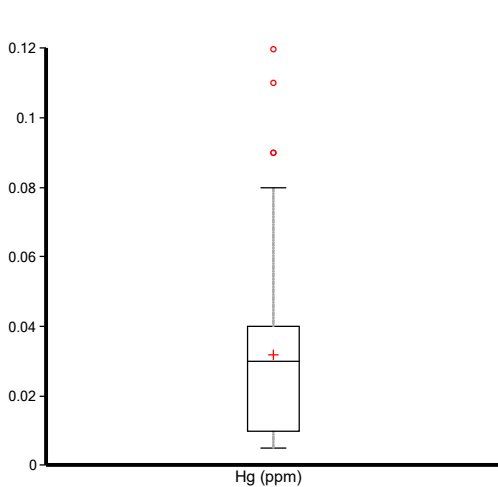
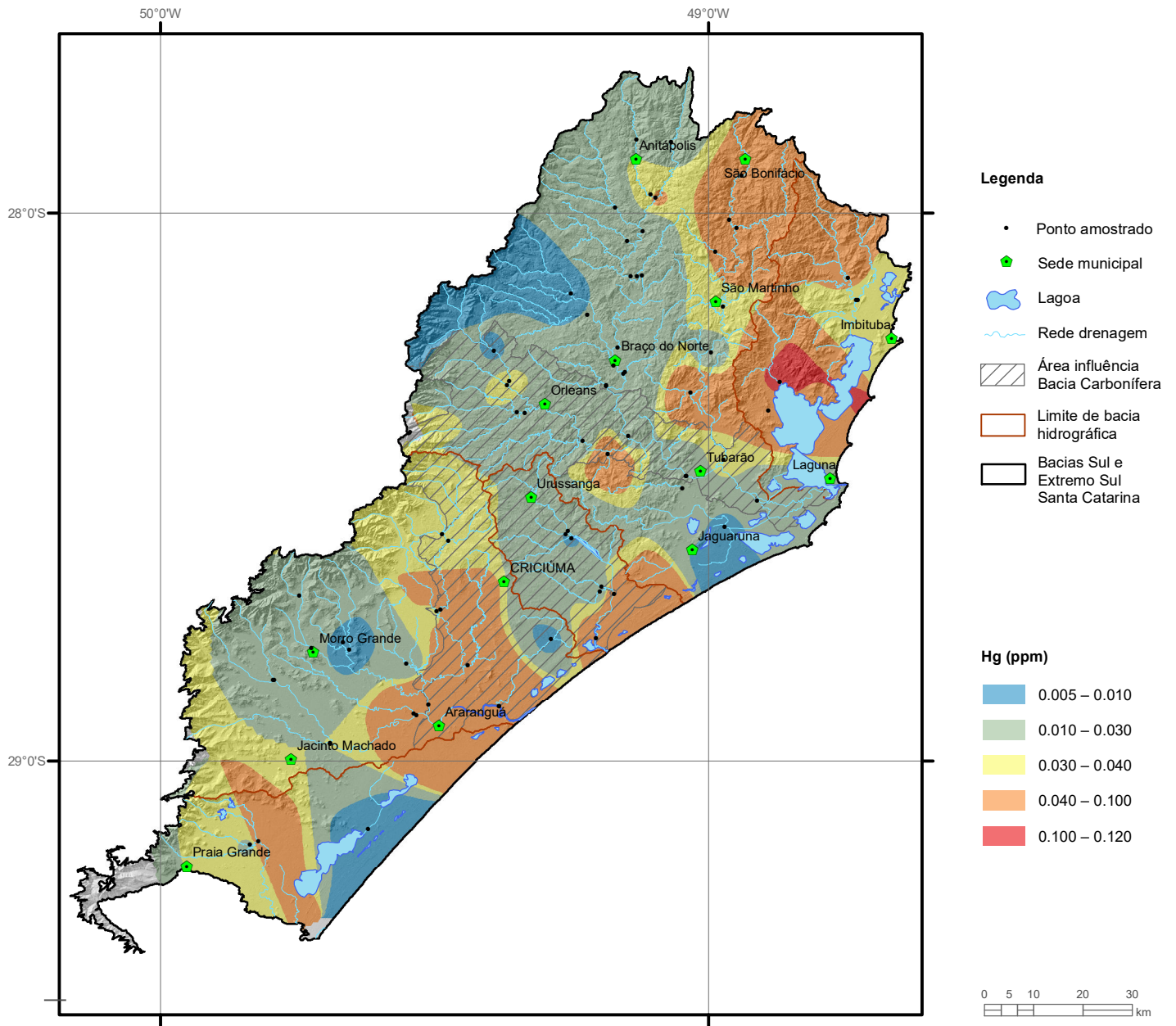
Elemento	Ga (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.1	0.1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	1.80	2.50
Valor Máximo	24.50	30.00
Média	10.70	13.89
Desvio Padrão	6.62	8.03
Quartil Superior	13.50	19.10
Mediana	8.40	11.20
Quartil Inferior	5.70	7.90
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



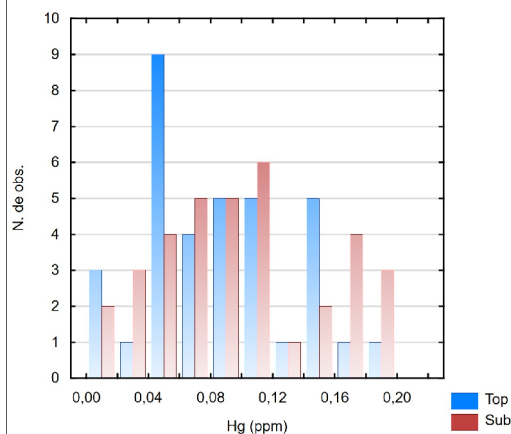
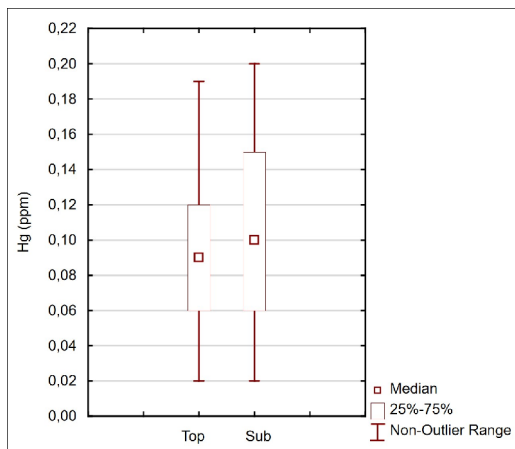
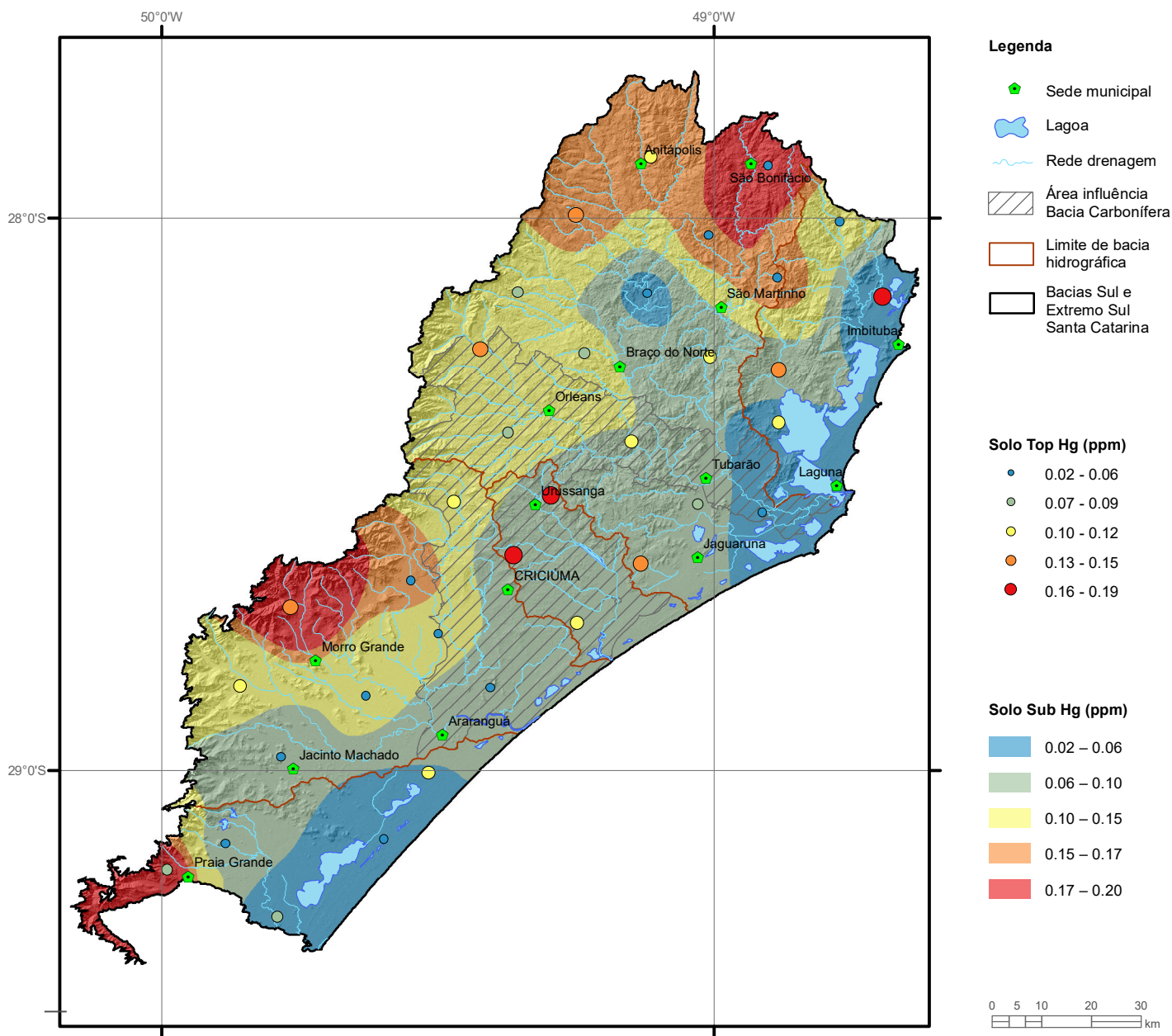
Elemento	Hf (ppm)
Limite de Detecção	0.05
Número de dados	74
Número de dados > LD	61
Valor Mínimo	0.025
Valor Máximo	0.880
Média	0.231
Desvio Padrão	0.214
Quartil Superior	0.320
Mediana	0.150
Quartil Inferior	0.070
Clarke	2.8
CONAMA 454/2012	-



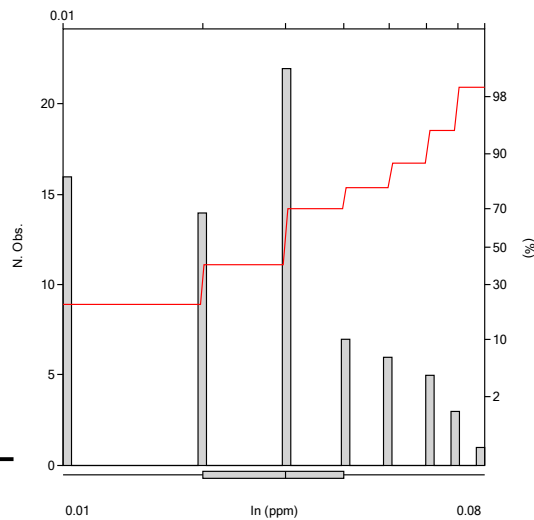
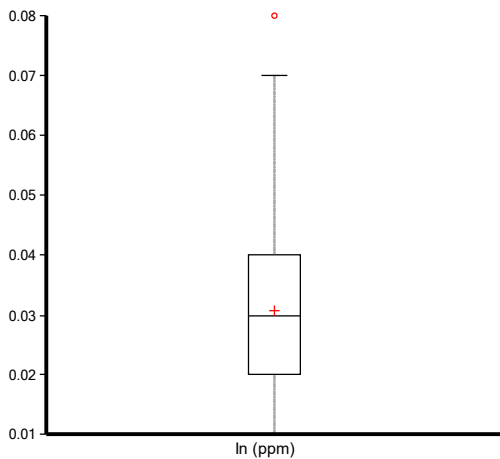
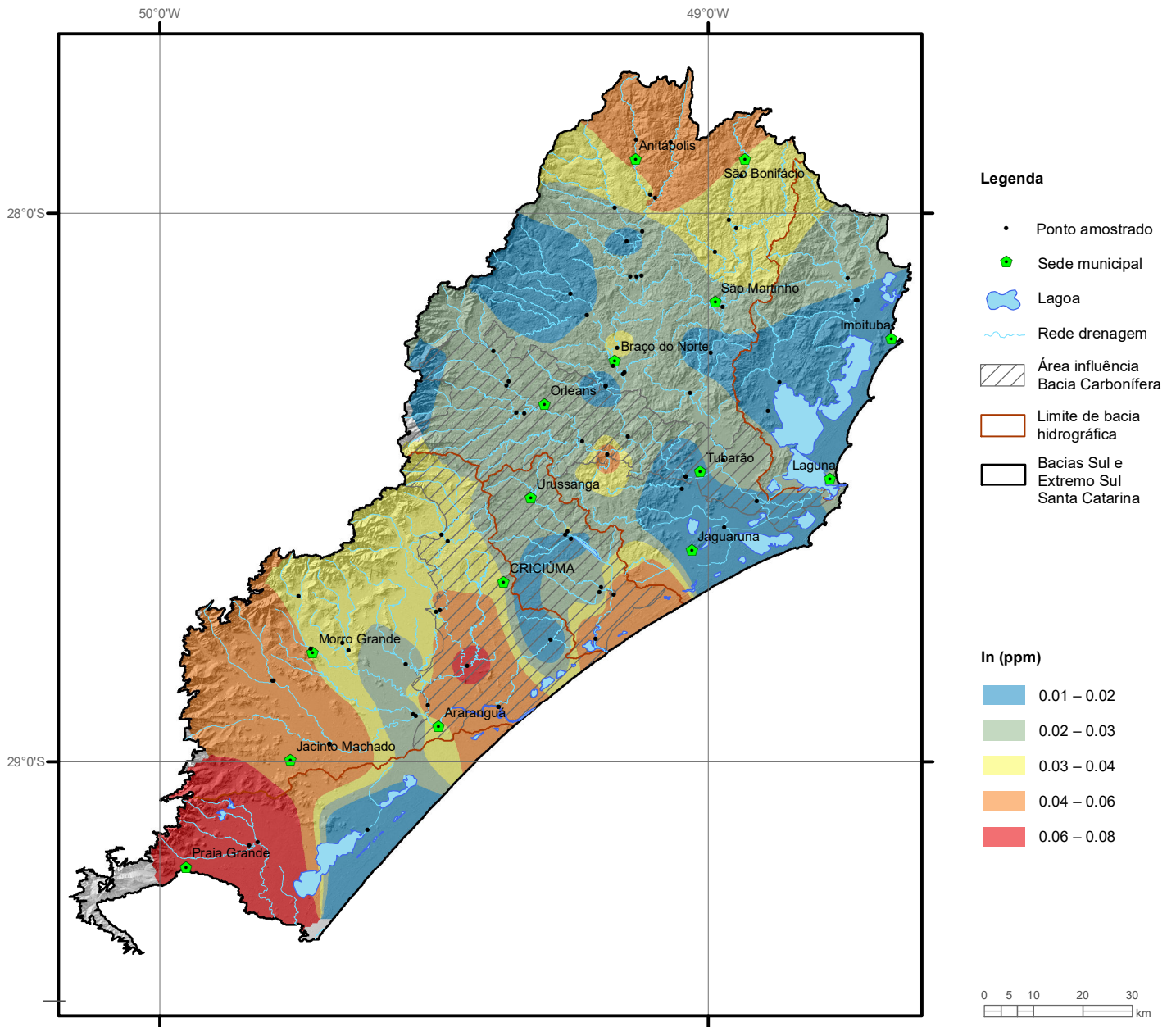
Elemento	Hf (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.05	0.05
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	21	28
Valor Mínimo	0.025	0.025
Valor Máximo	0.87	1.15
Média	0.168	0.299
Desvio Padrão	0.2	0.3
Quartil Superior	0.200	0.360
Mediana	0.060	0.160
Quartil Inferior	0.025	0.110
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



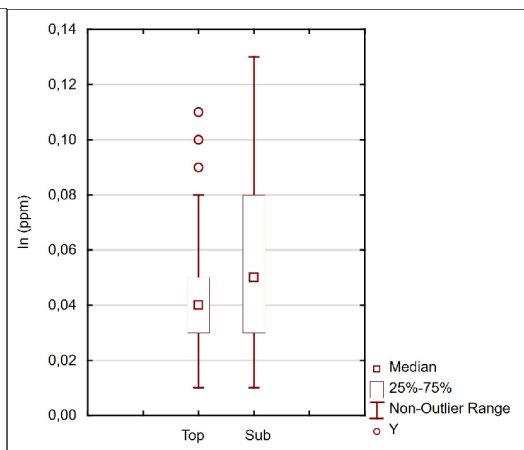
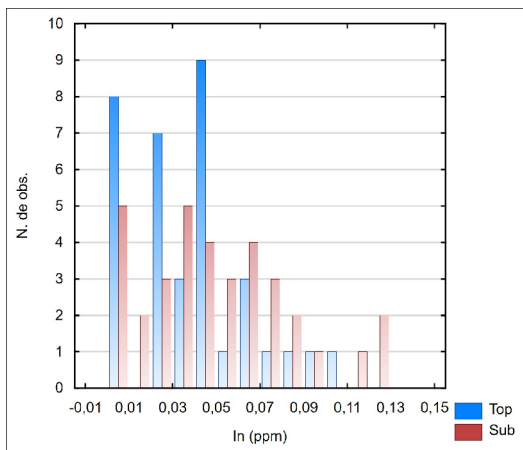
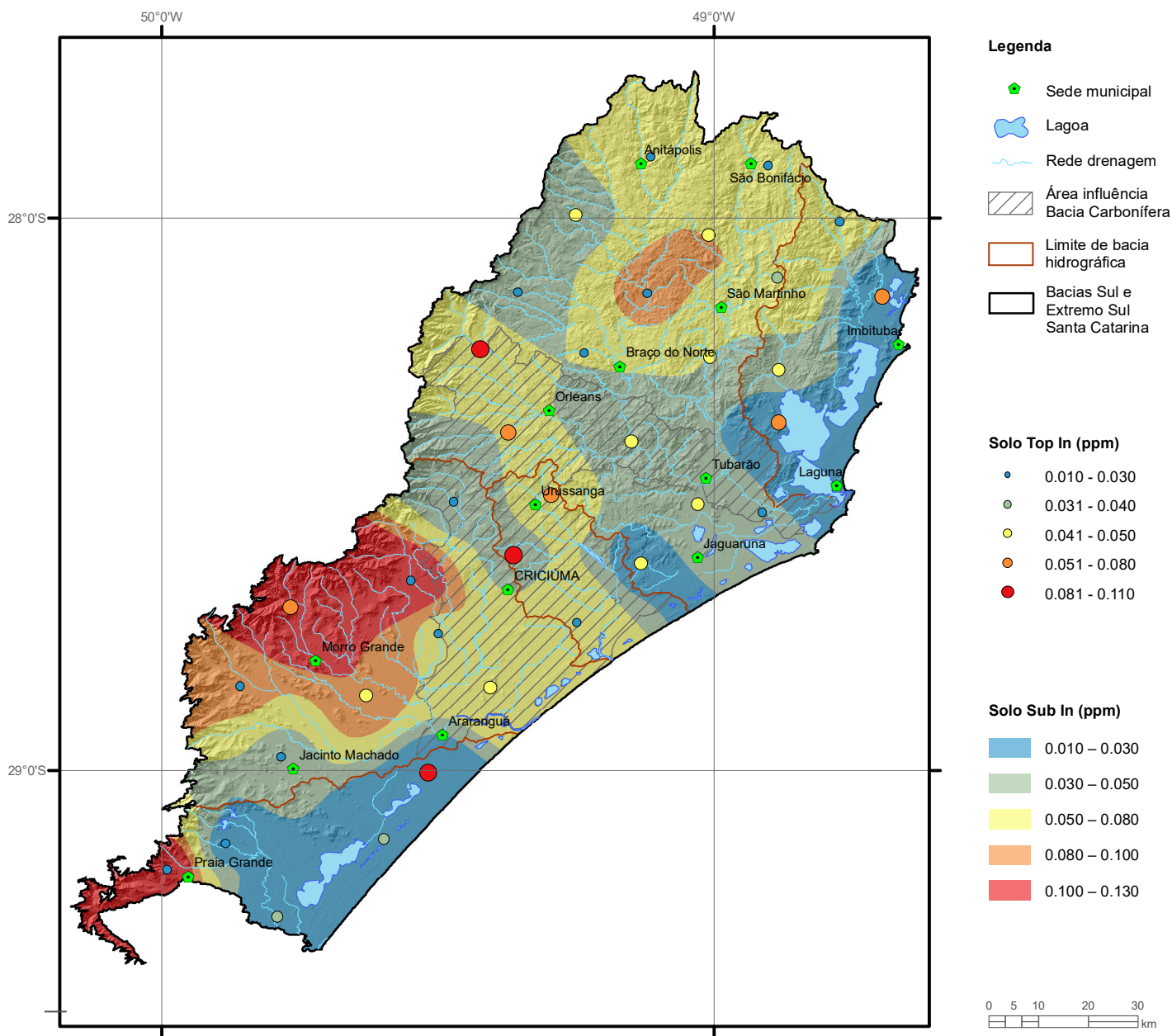
Elemento	Hg (ppm)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	65
Valor Mínimo	0.005
Valor Máximo	0.120
Média	0.032
Desvio Padrão	0.025
Quartil Superior	0.040
Mediana	0.030
Quartil Inferior	0.010
Clarke	0.086
CONAMA 454/2012 (N1)	0.17



Elemento	Hg (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.02	0.02
Valor Máximo	0.19	0.20
Média	0.09	0.10
Desvio Padrão	0.05	0.05
Quartil Superior	0.12	0.15
Mediana	0.09	0.10
Quartil Inferior	0.06	0.06
CONAMA 420/2009 (VP)		0.5
NOAA/2008		-



Elemento	In (ppm)
Limite de Detecção	0.02
Número de dados	74
Número de dados > LD	58
Valor Mínimo	0.01
Valor Máximo	0.08
Média	0.03
Desvio Padrão	0.02
Quartil Superior	0.04
Mediana	0.03
Quartil Inferior	0.02
Clarke	0.24
CONAMA 454/2012	-

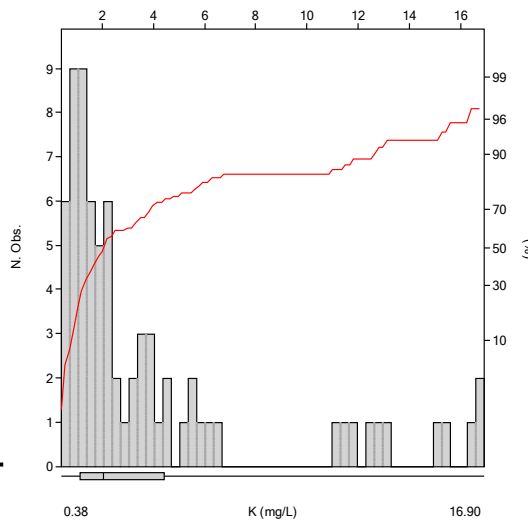
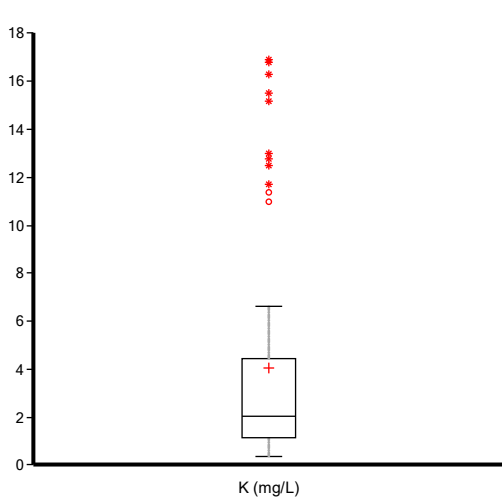
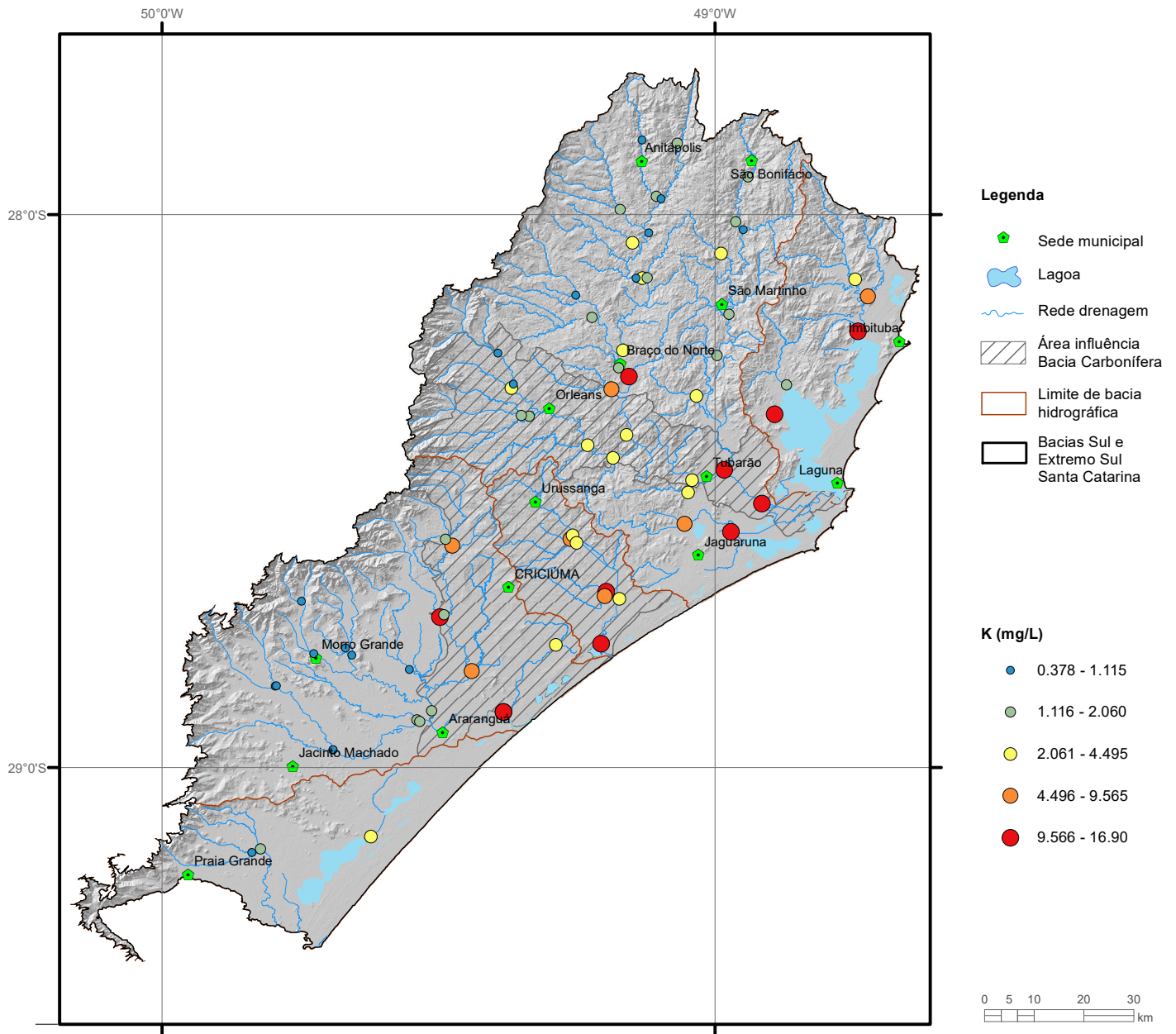


Elemento	In (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.02	0.02
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	27	30
Valor Mínimo	0.010	0.010
Valor Máximo	0.11	0.13
Média	0.04	0.06
Desvio Padrão	0.03	0.03
Quartil Superior	0.050	0.080
Mediana	0.040	0.050
Quartil Inferior	0.030	0.030
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-

POTÁSSIO



Água Superficial

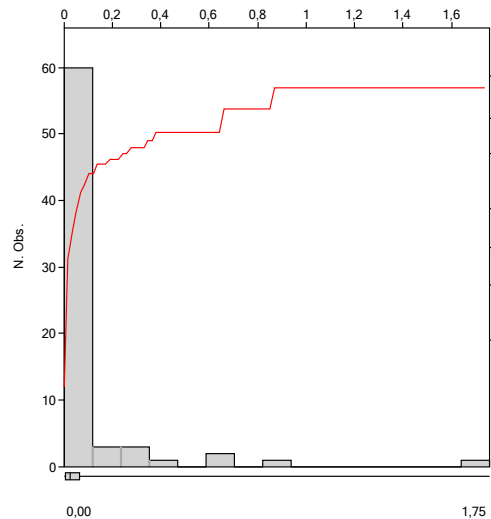
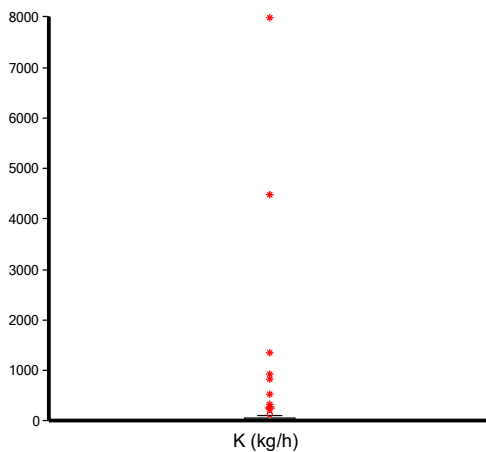
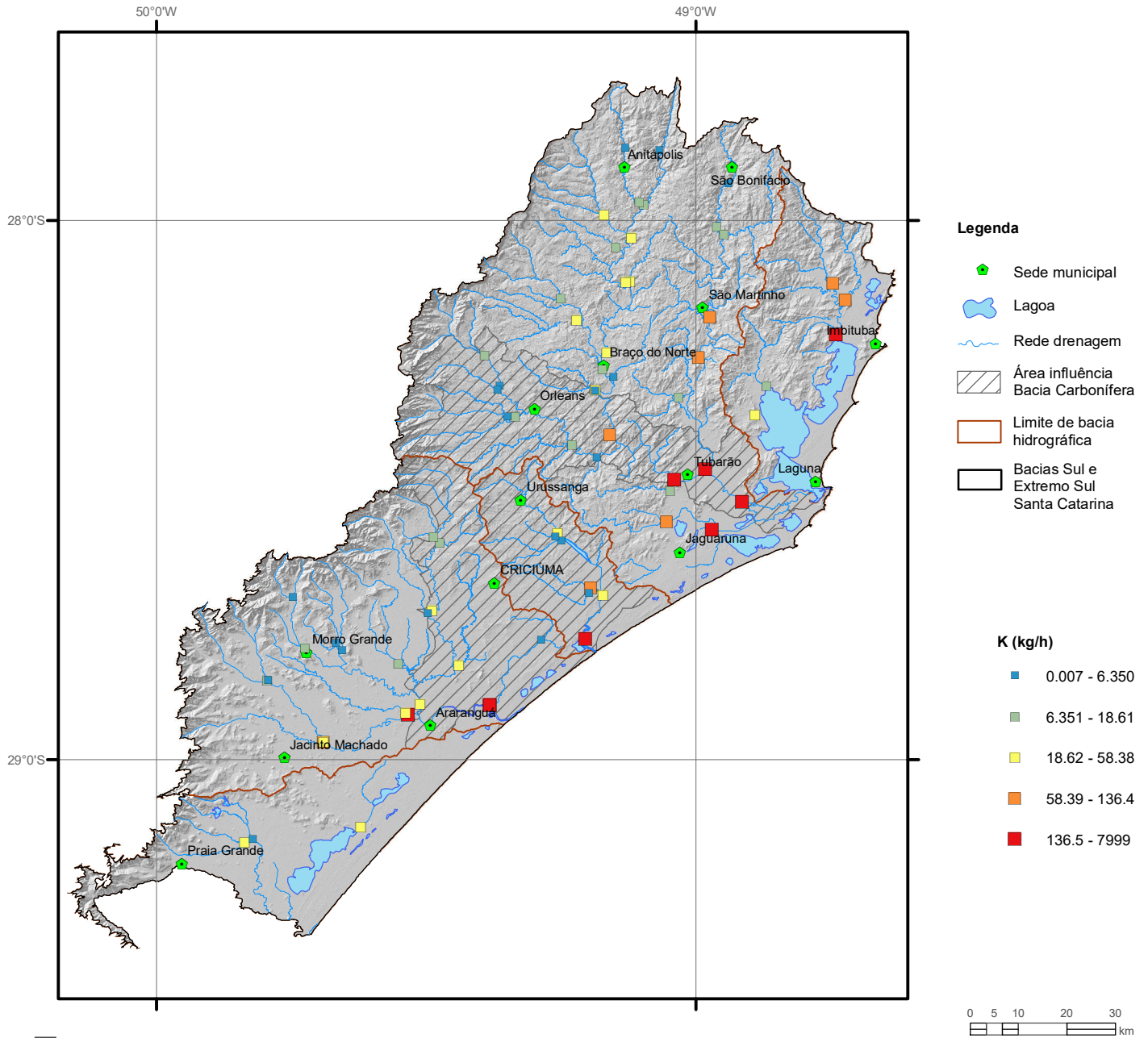


Elemento	K (mg/L)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	72
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	0.378
Valor Máximo	16.90
Média	4.03
Desvio Padrão	4.56
Quartil Superior	4.495
Mediana	2.060
Quartil Inferior	1.115
CONAMA 357/2005 (II)	-
NOAA/2008 (Acute)	37.3

POTÁSSIO

K

Carga

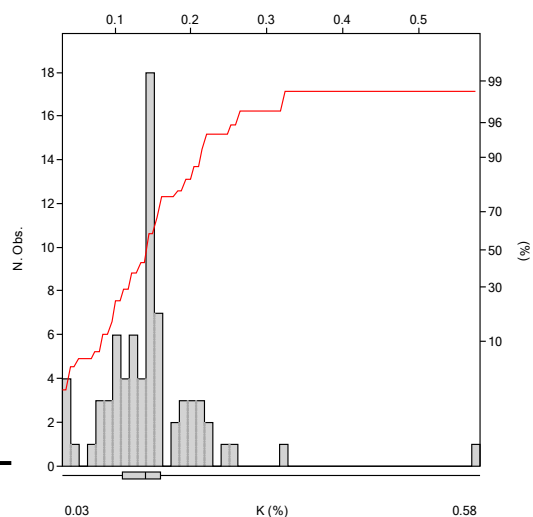
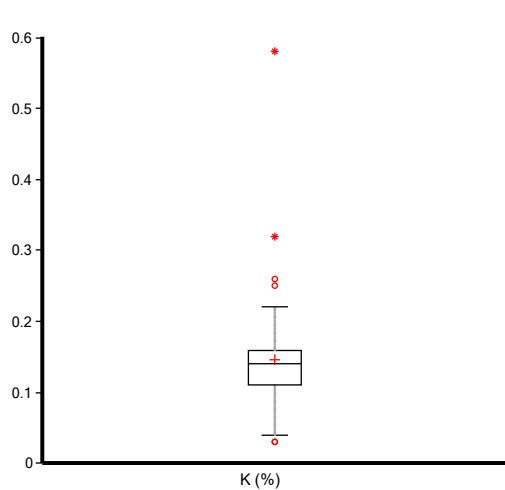
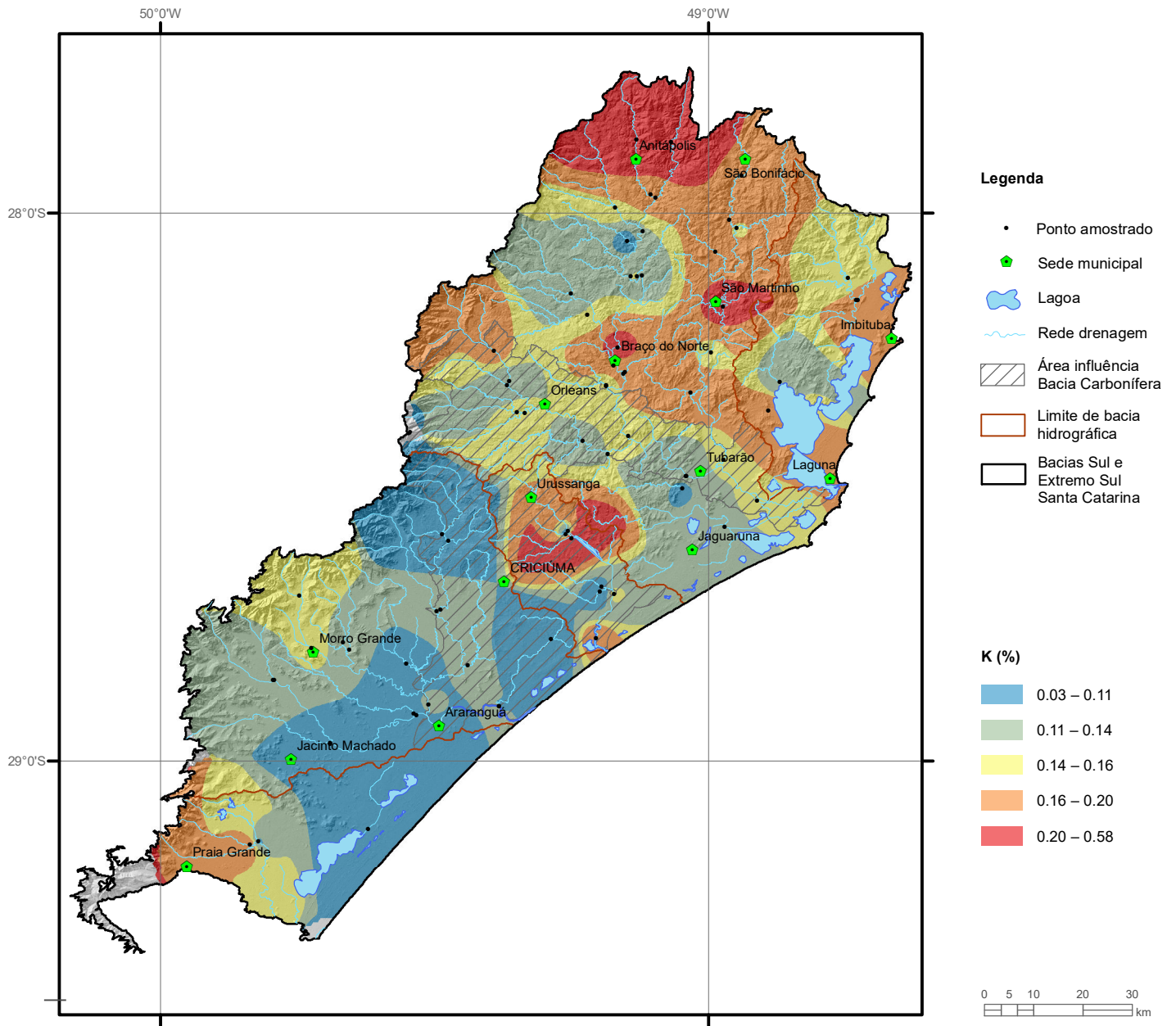


Estatística Descritiva	
Elemento	K (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.007
Valor Máximo	7.999
Média	259.5
Desvio Padrão	1083
Quartil Superior	58.38
Mediana	18.61
Quartil Inferior	6.350

POTÁSSIO

K

Sedimento

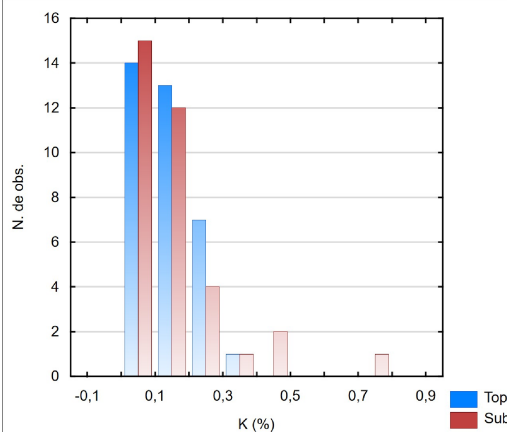
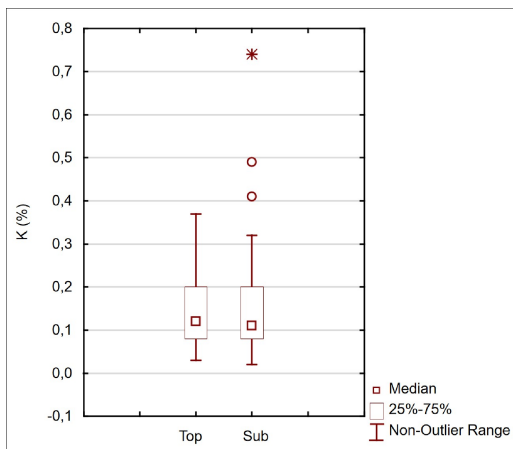
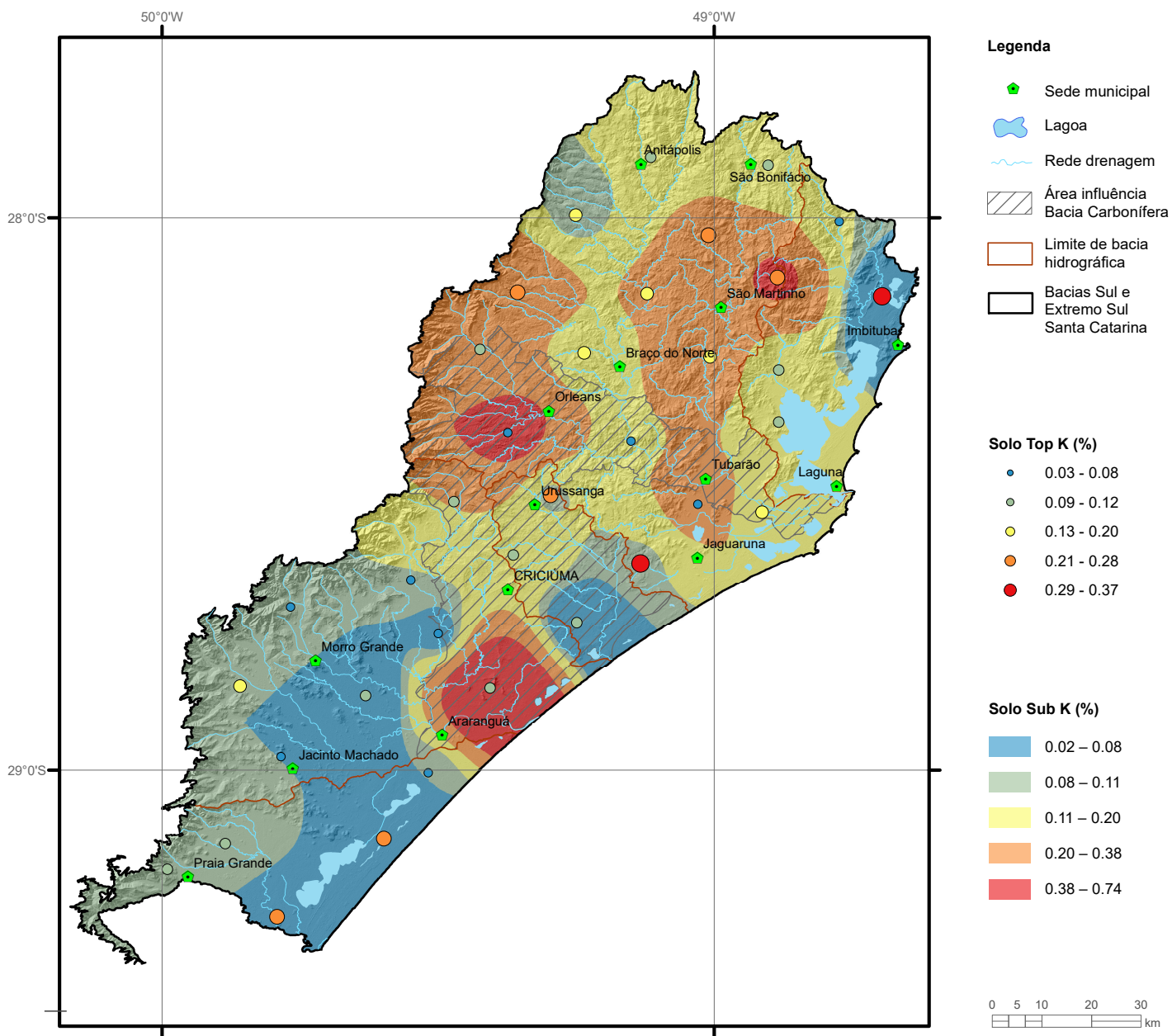


Elemento	K (%)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.03
Valor Máximo	0.58
Média	0.15
Desvio Padrão	0.07
Quartil Superior	0.16
Mediana	0.14
Quartil Inferior	0.11
Clarke	2.32
CONAMA 454/2012	-

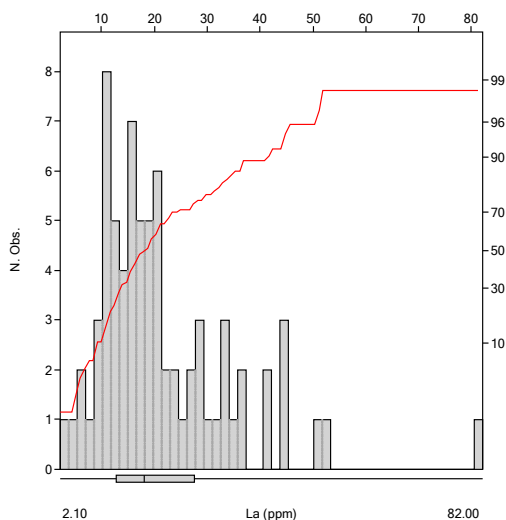
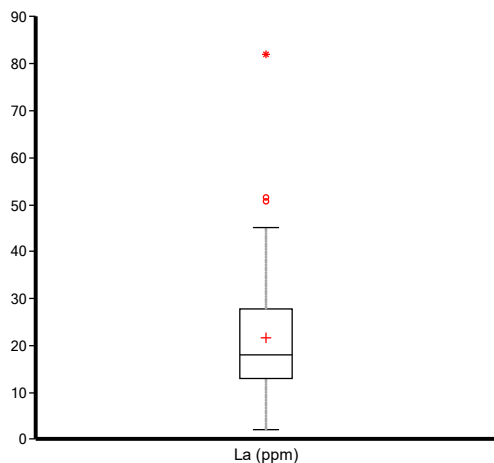
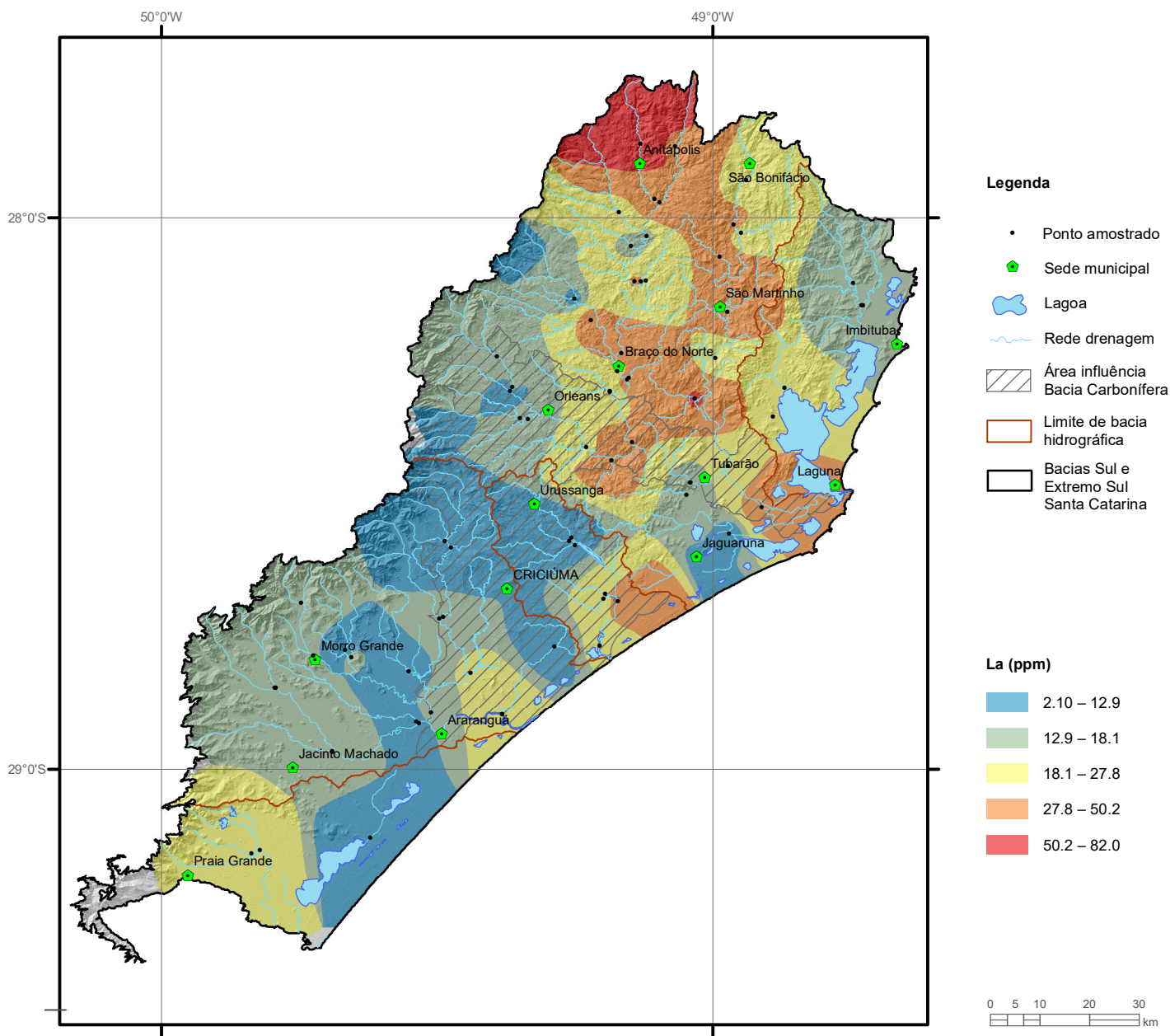
POTÁSSIO

K

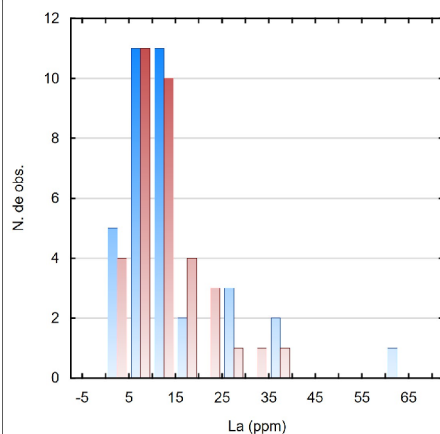
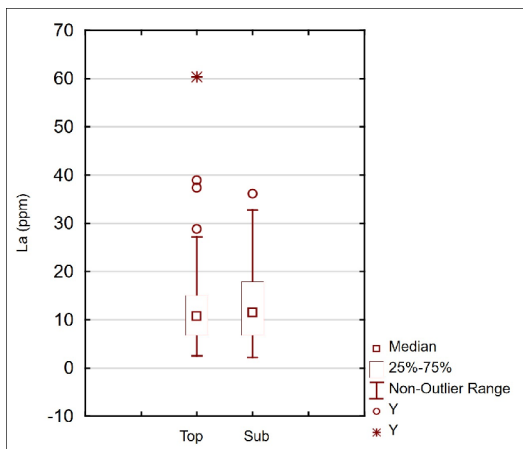
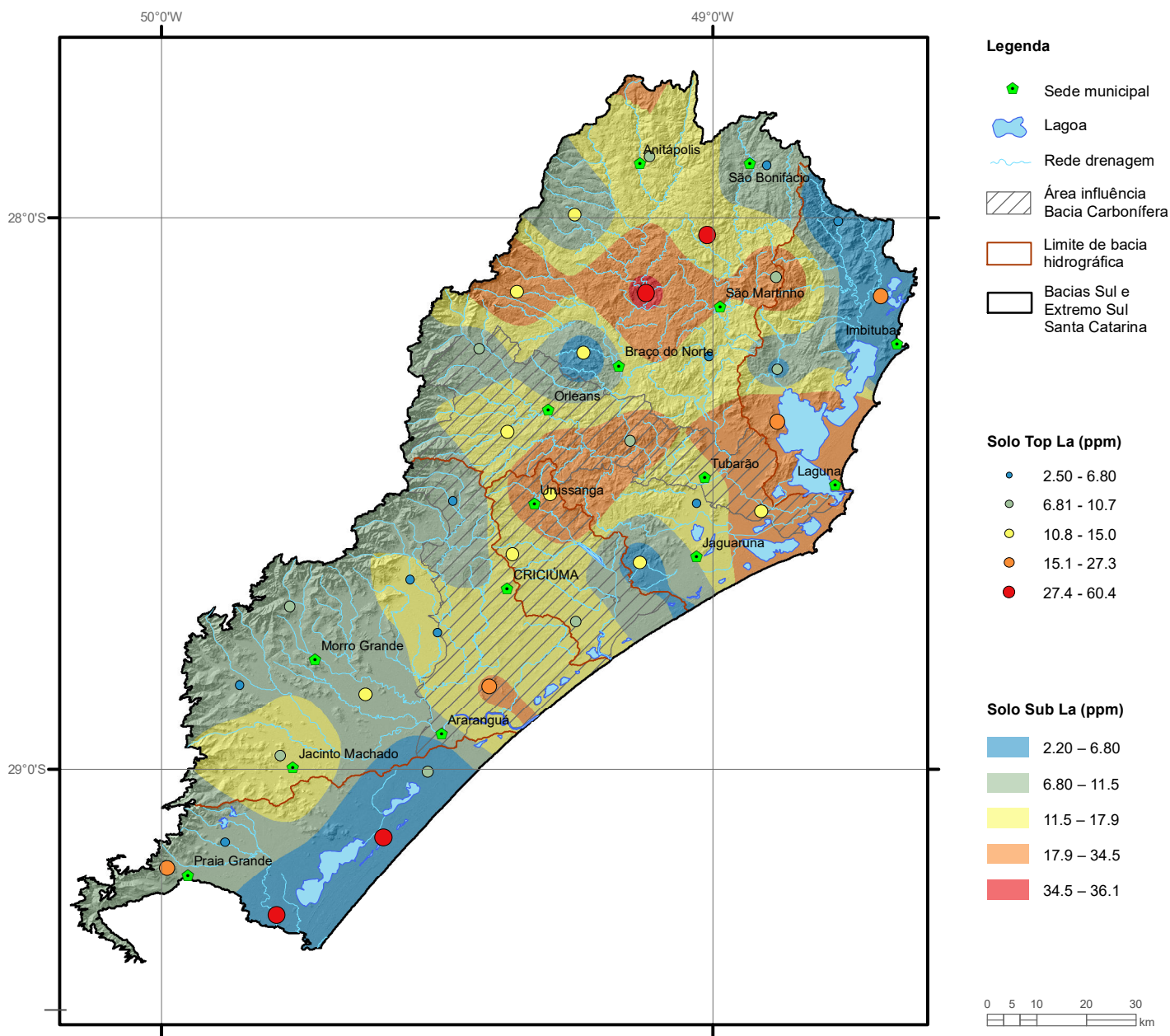
Solo



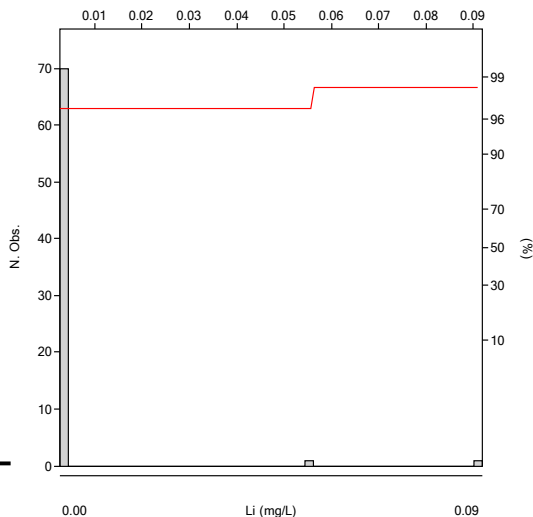
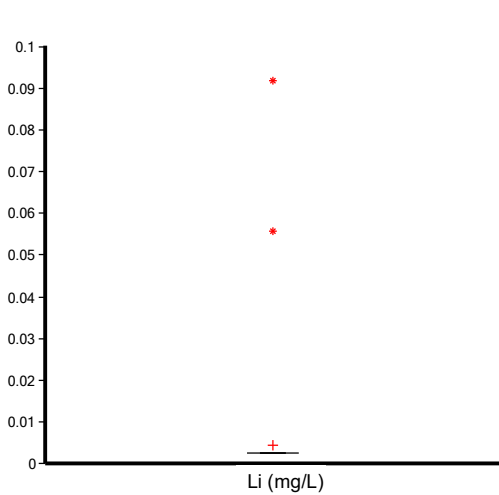
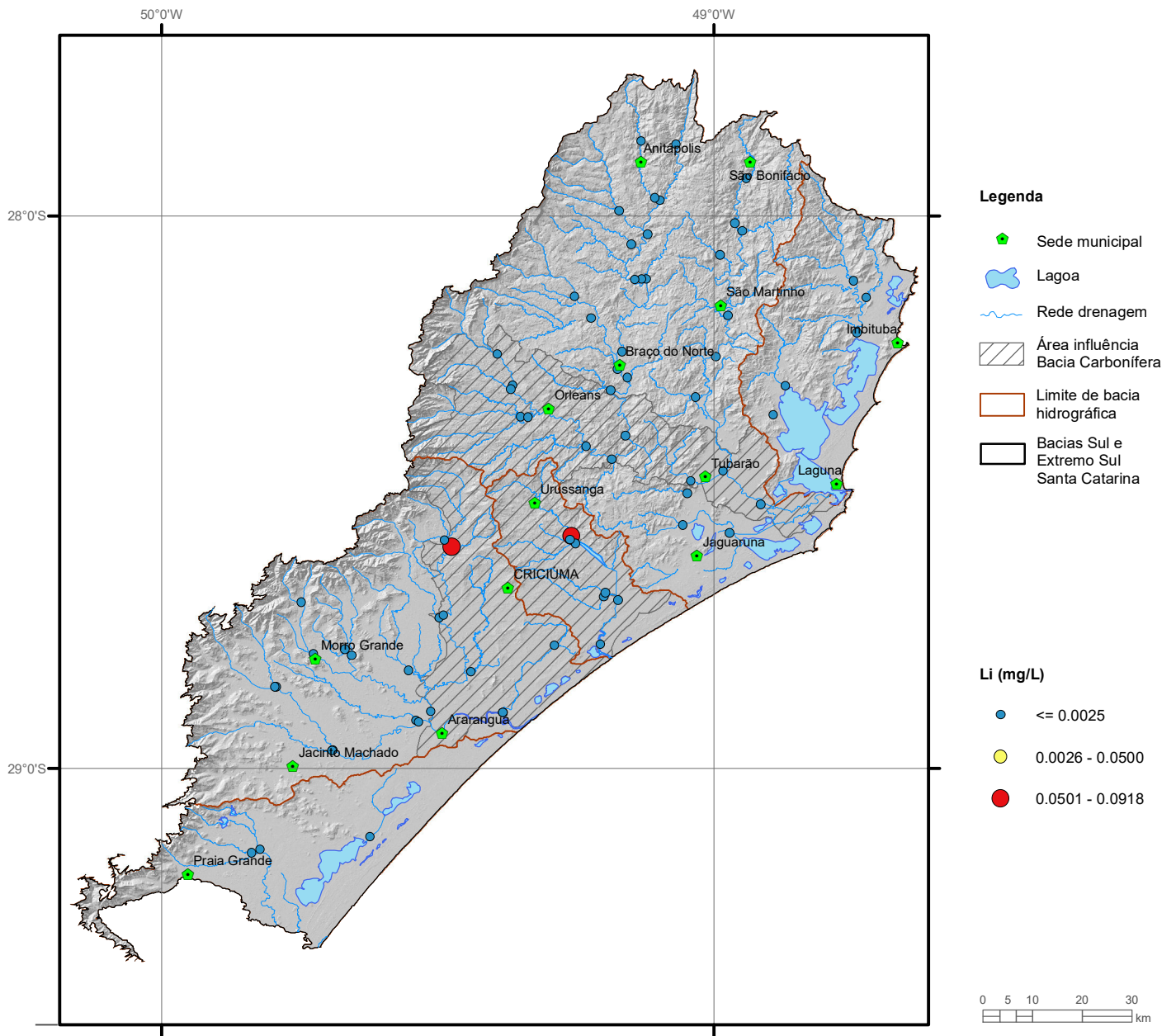
Elemento	K (%)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.03	0.02
Valor Máximo	0.37	0.74
Média	0.14	0.17
Desvio Padrão	0.09	0.14
Quartil Superior	0.20	0.20
Mediana	0.12	0.11
Quartil Inferior	0.08	0.08
CONAMA 420/2009	-	-
NOAA/2008	-	-



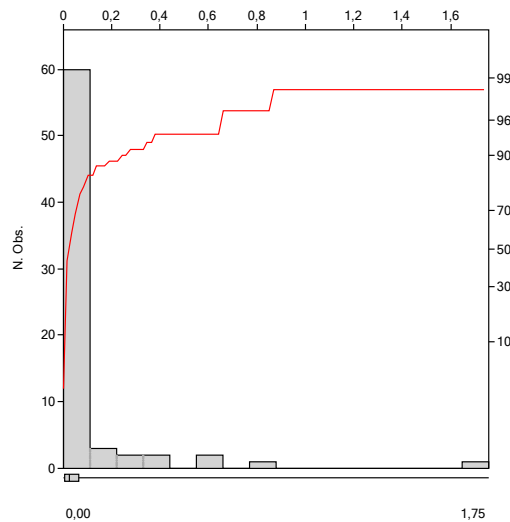
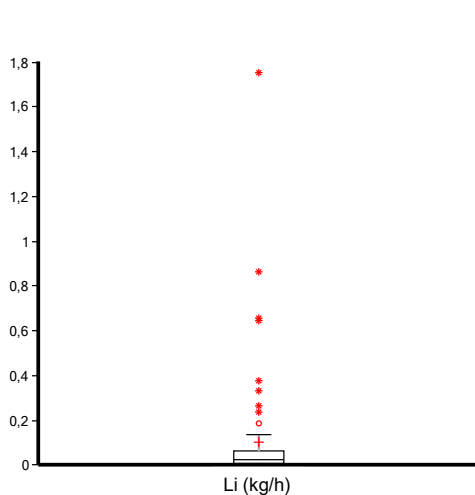
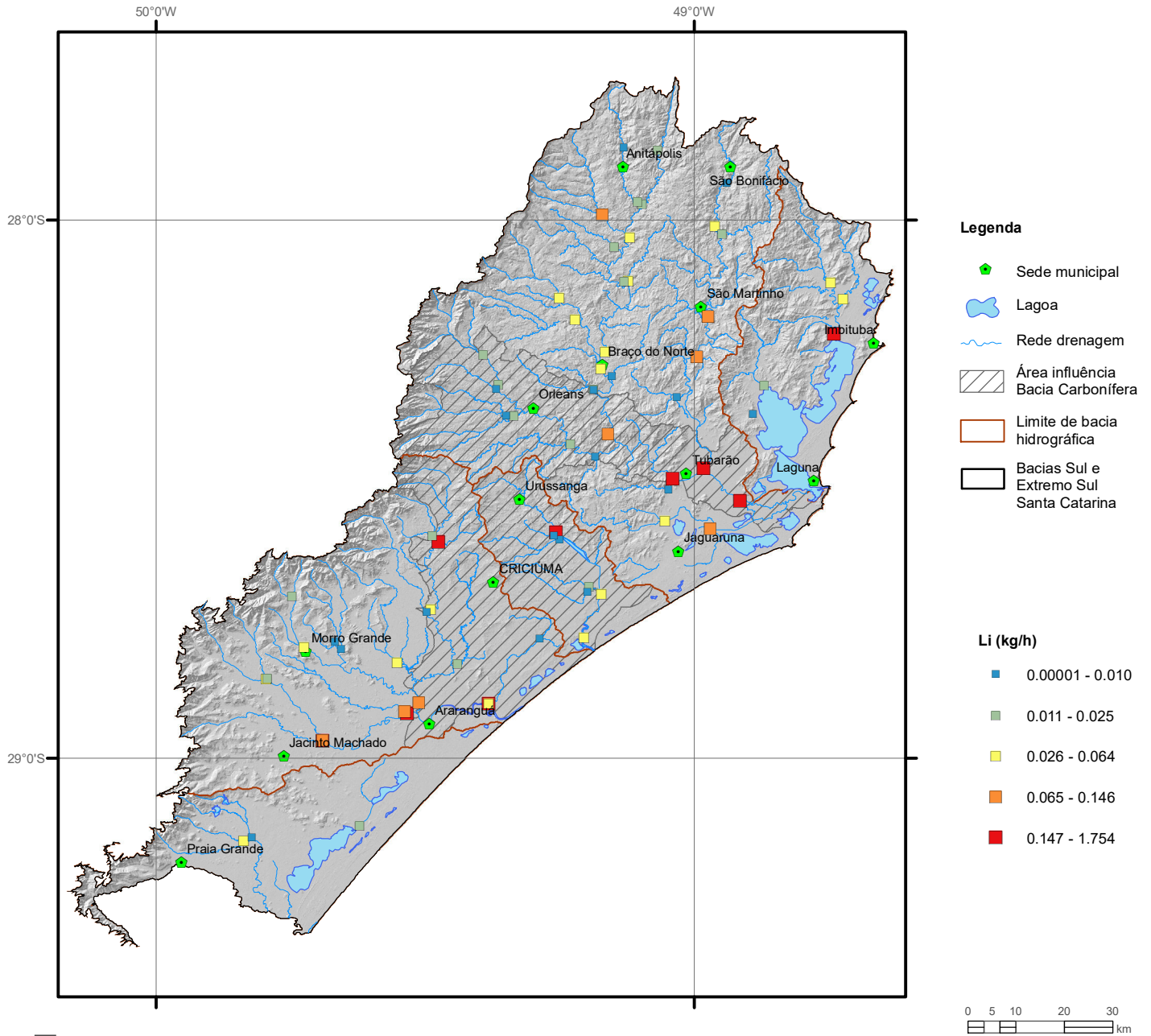
Elemento	La (ppm)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	2.10
Valor Máximo	82.00
Média	21.57
Desvio Padrão	13.38
Quartil Superior	27.80
Mediana	18.10
Quartil Inferior	12.90
Clarke	34.60
CONAMA 454/2012	-



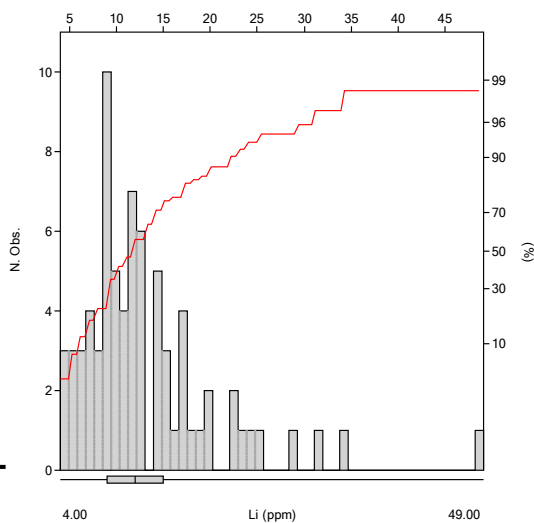
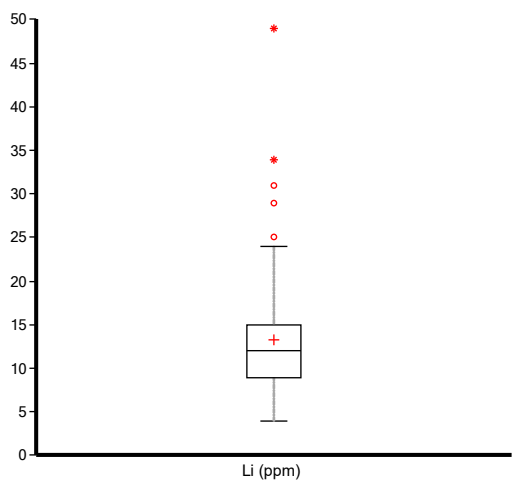
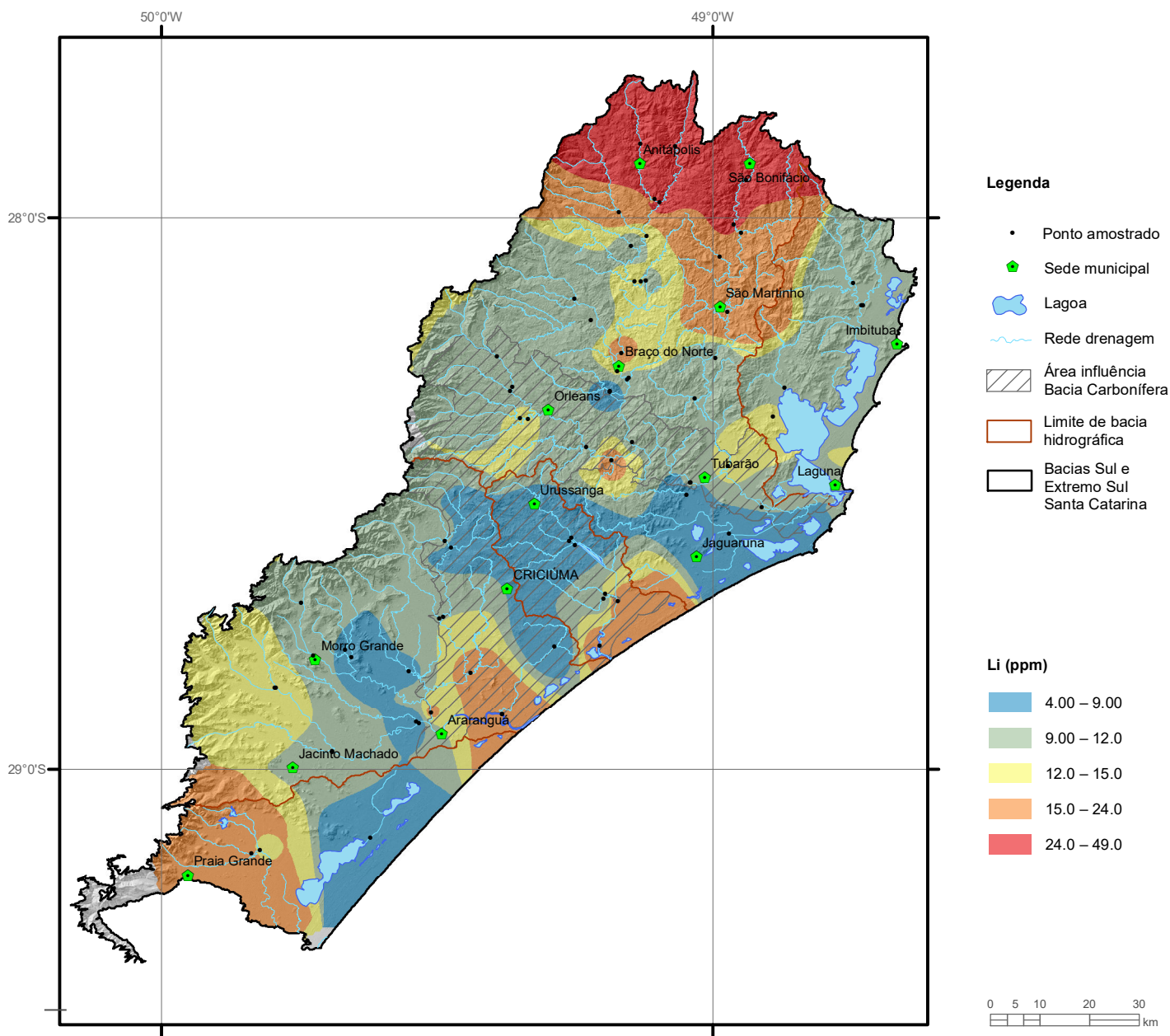
Elemento	La (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.1	0.1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	2.50	2.20
Valor Máximo	60.40	36.10
Média	13.96	12.94
Desvio Padrão	12.11	8.32
Quartil Superior	15.00	17.90
Mediana	10.70	11.50
Quartil Inferior	6.80	6.80
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



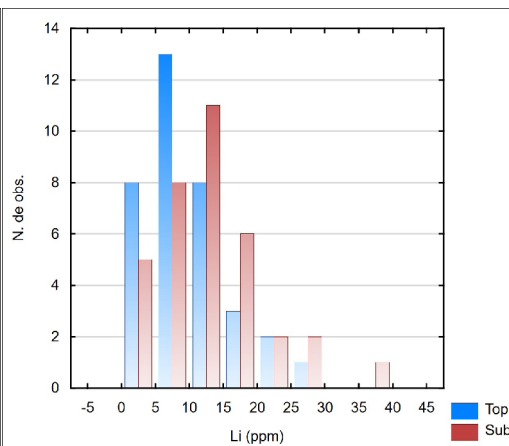
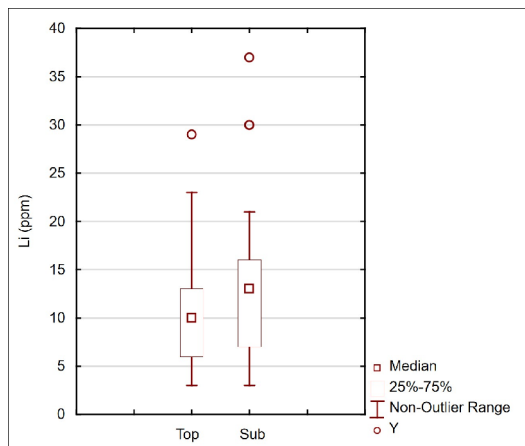
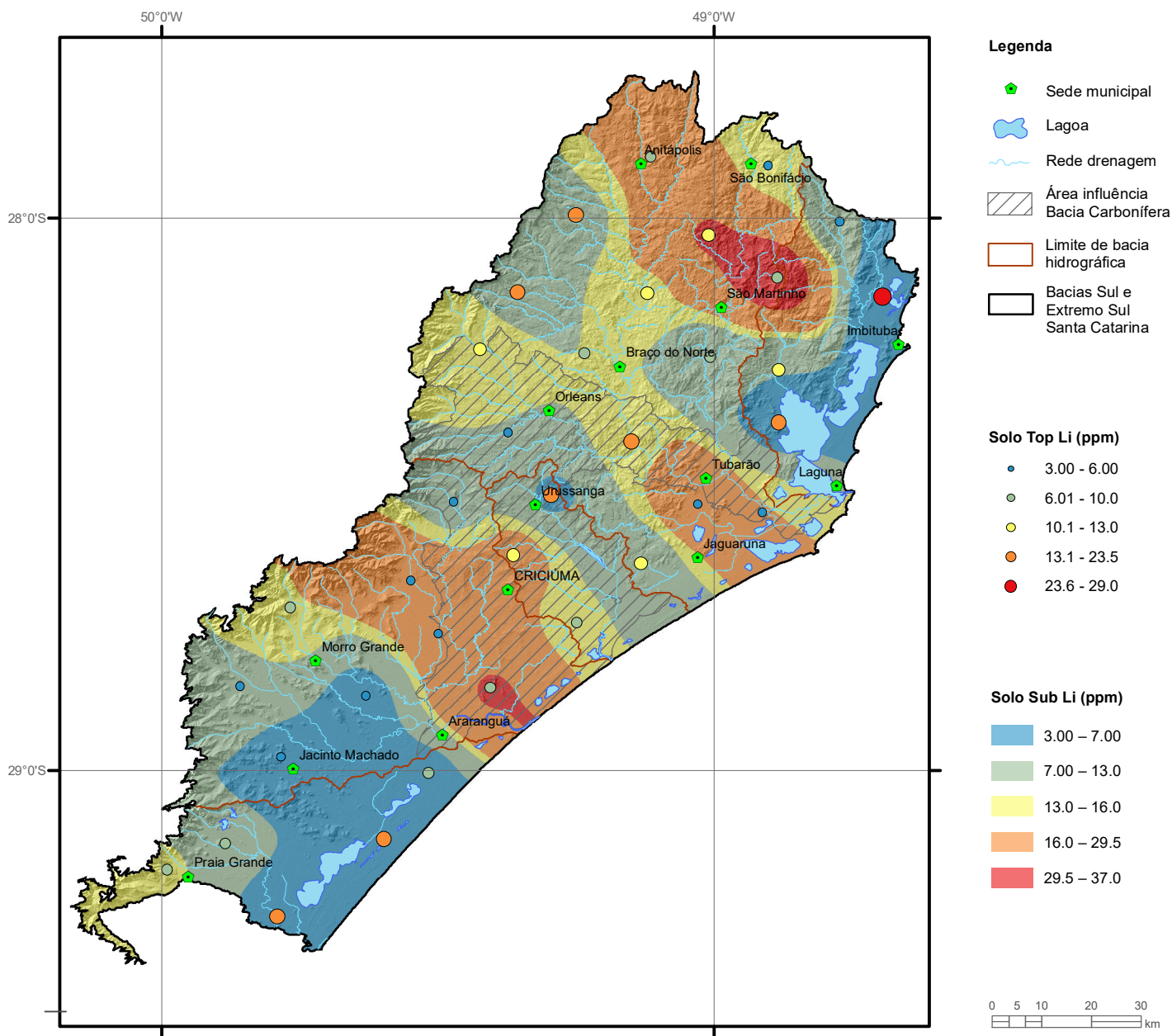
Elemento	Li (mg/L)
Limite de Detecção	0.005
Número de dados	72
Número de dados > LD	2
Valor Mínimo	0.0025
Valor Máximo	0.092
Média	0.0045
Desvio Padrão	0.01
Quartil Superior	0.0025
Mediana	0.0025
Quartil Inferior	0.0025
CONAMA 357/2005 (II)	2.5
NOAA/2008 (Chronic)	14.0



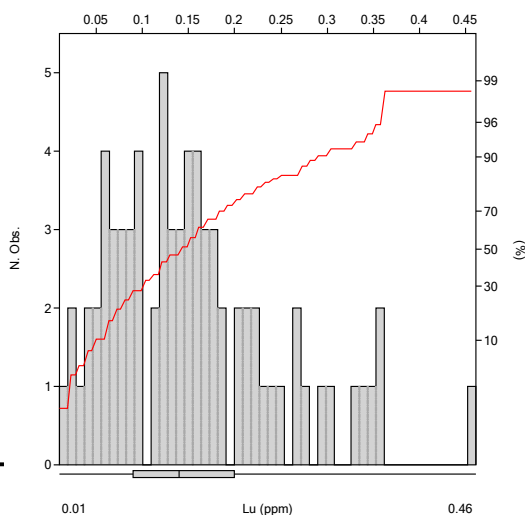
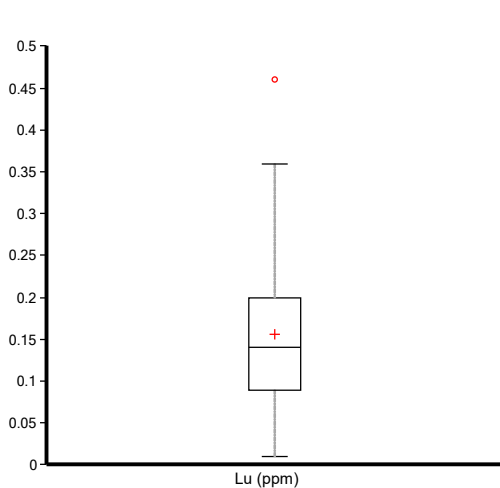
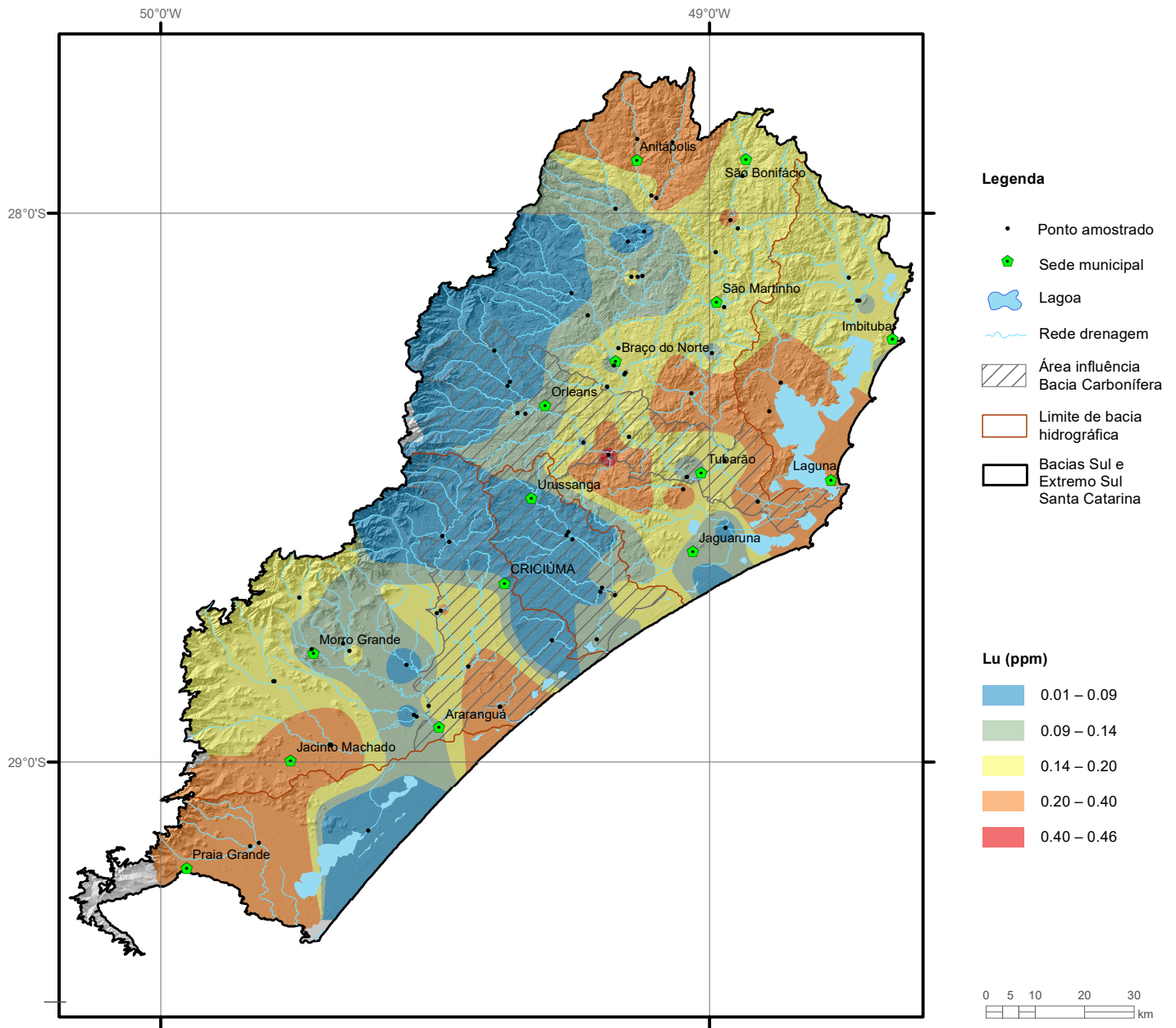
Estatística Descritiva	
Elemento	Li (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.00001
Valor Máximo	1.754
Média	0.103
Desvio Padrão	0.251
Quartil Superior	0.064
Mediana	0.025
Quartil Inferior	0.010



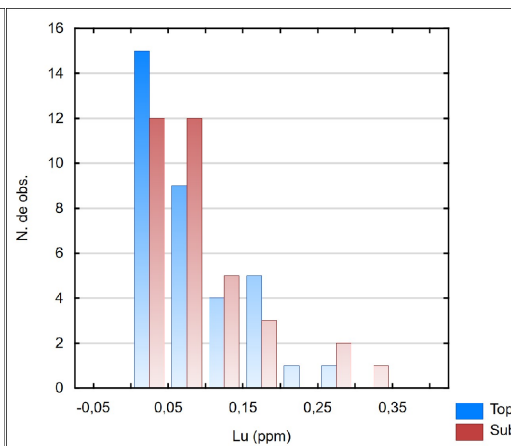
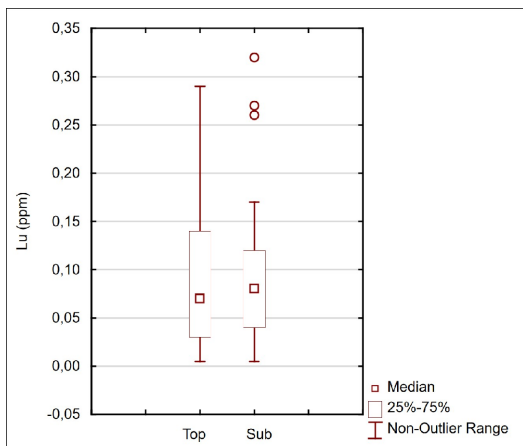
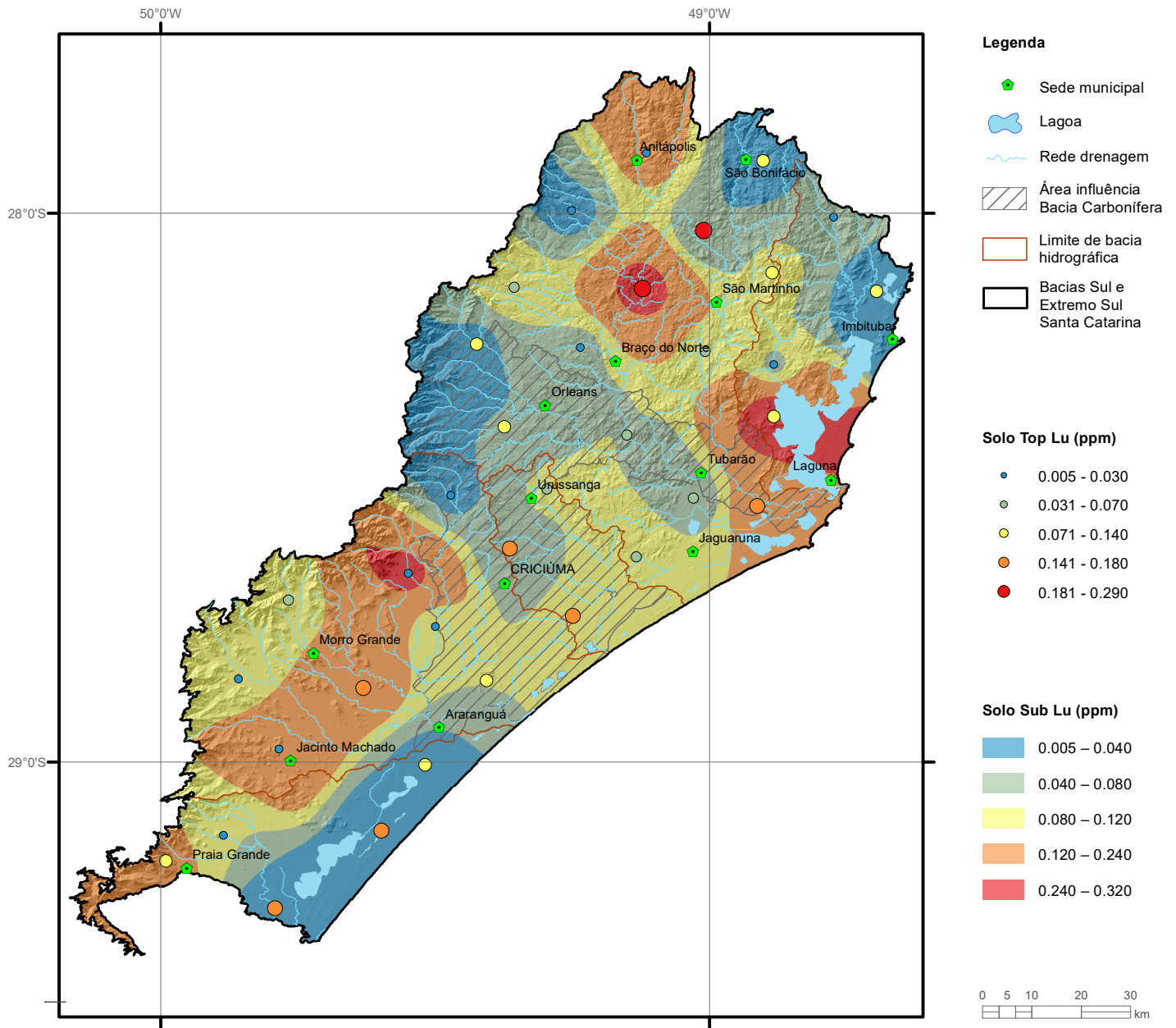
Elemento	Li (ppm)
Limite de Detecção	1
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	4.00
Valor Máximo	49.00
Média	13.22
Desvio Padrão	7.51
Quartil Superior	15.00
Mediana	12.00
Quartil Inferior	9.00
Clarke	18
CONAMA 454/2012	-



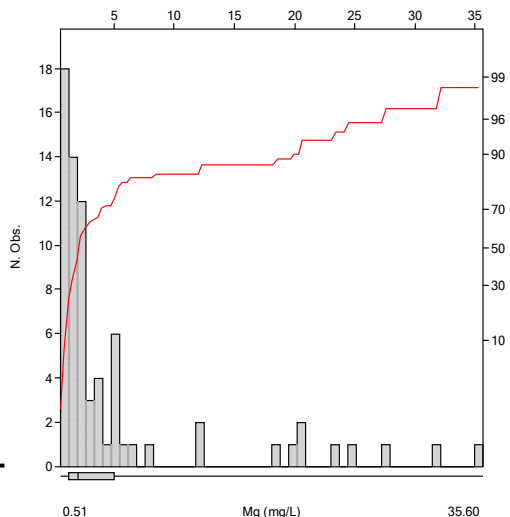
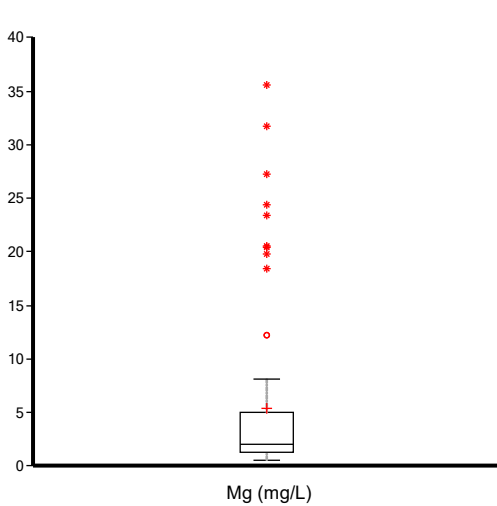
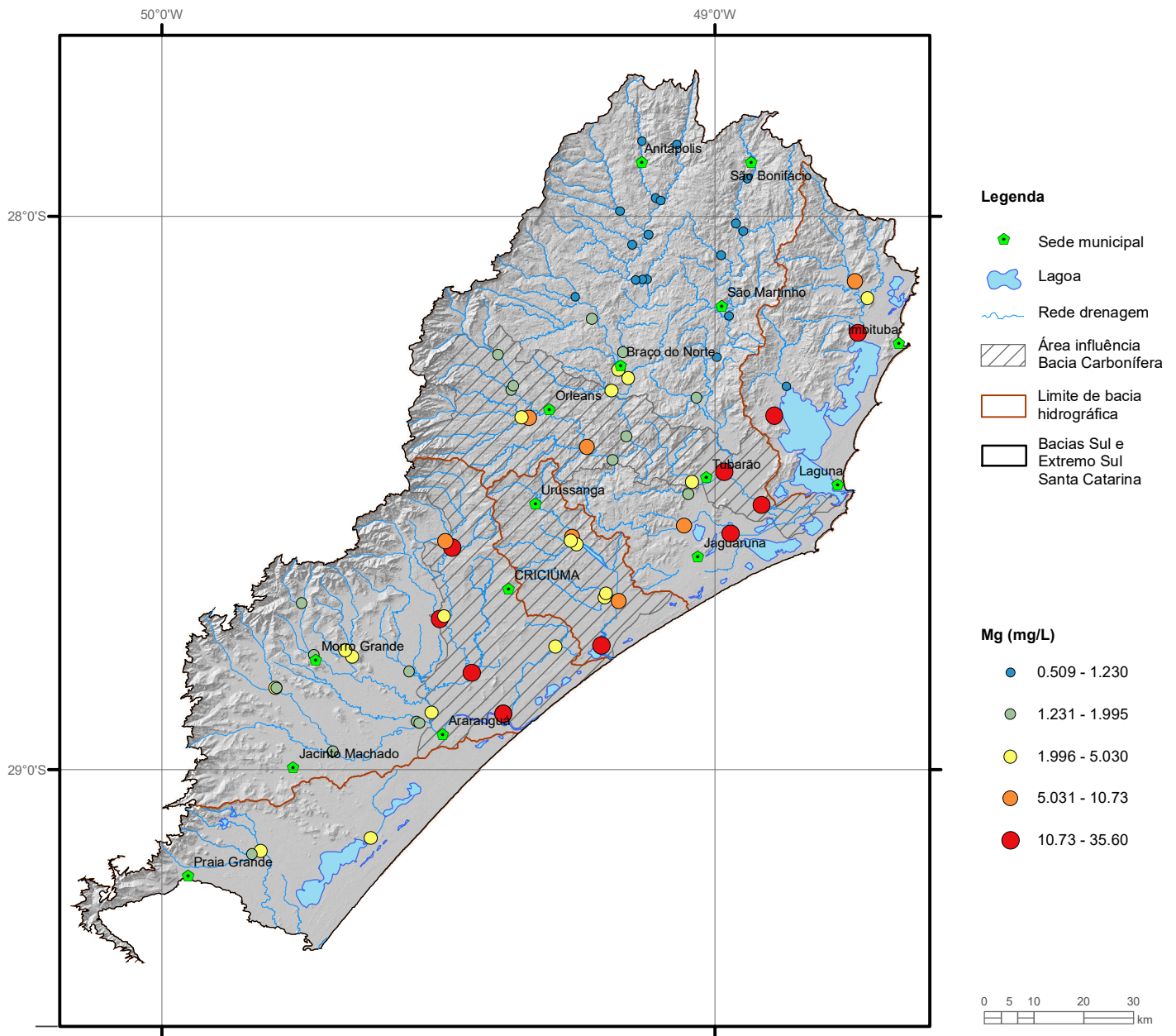
Elemento	Li (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	1	1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	3.00	3.00
Valor Máximo	29.00	37.00
Média	10.40	13.34
Desvio Padrão	6.27	7.77
Quartil Superior	13.00	16.00
Mediana	10.00	13.00
Quartil Inferior	6.00	7.00
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008 (Eco-SSL)		2



Elemento	Lu (ppm)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.01
Valor Máximo	0.46
Média	0.16
Desvio Padrão	0.09
Quartil Superior	0.20
Mediana	0.14
Quartil Inferior	0.09
Clarke	0.54
CONAMA 454/2012	-



Elemento	Lu (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	34	34
Valor Mínimo	0.005	0.005
Valor Máximo	0.290	0.320
Média	0.088	0.095
Desvio Padrão	0.069	0.074
Quartil Superior	0.140	0.120
Mediana	0.070	0.080
Quartil Inferior	0.030	0.040
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-

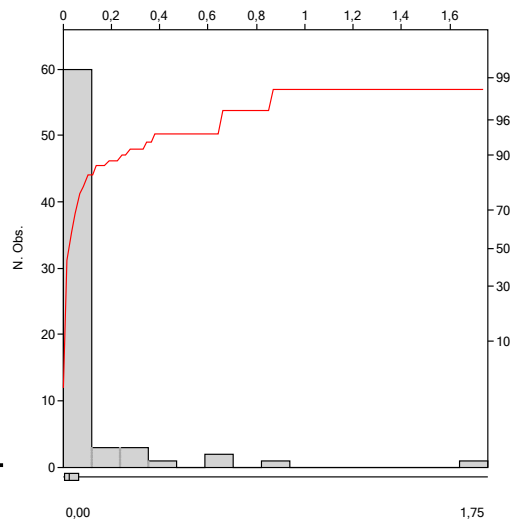
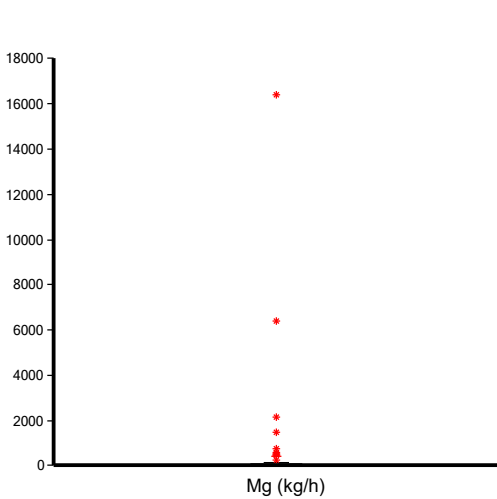
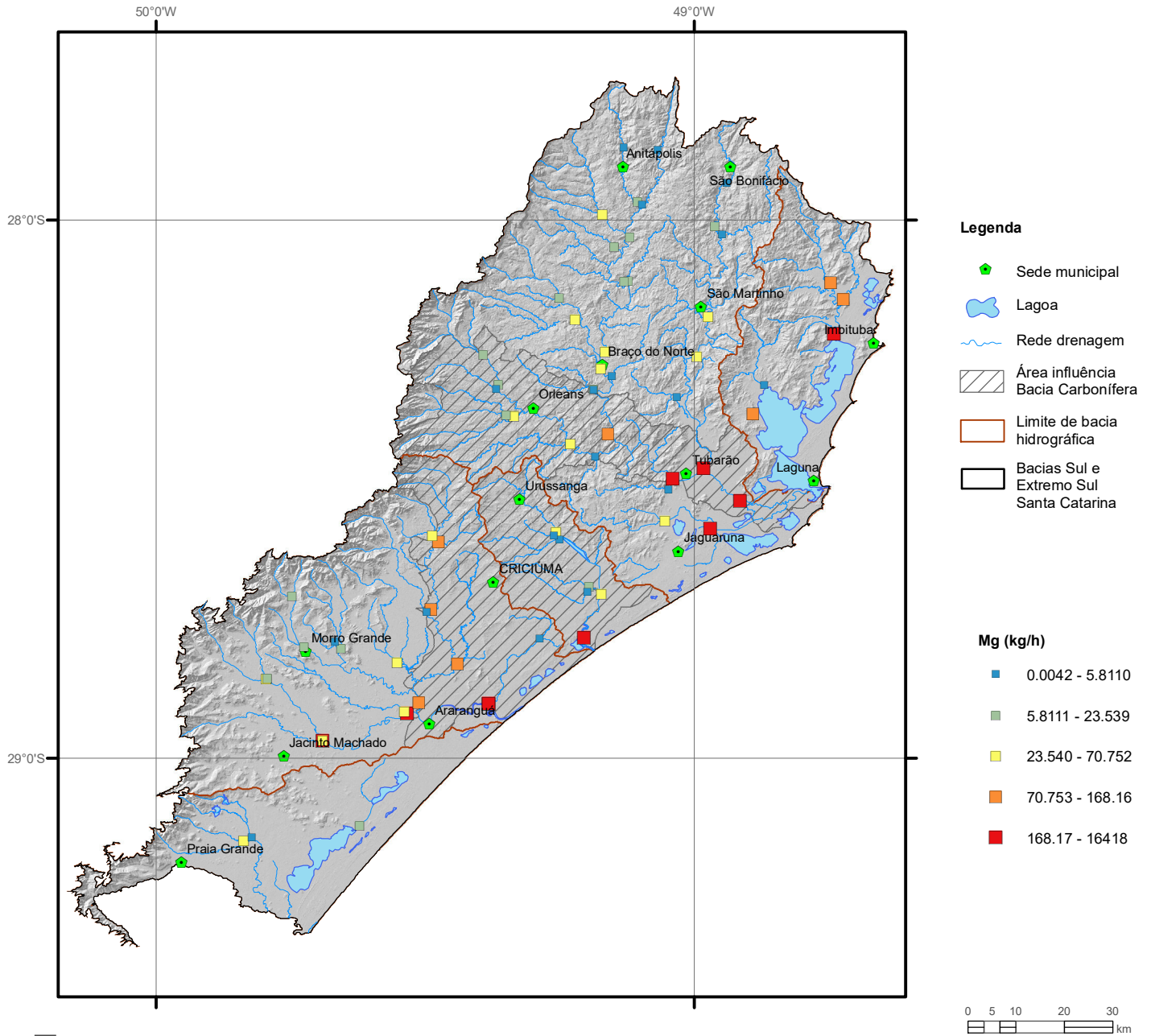


Elemento	Mg (mg/L)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	72
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	0.509
Valor Máximo	35.60
Média	5.41
Desvio Padrão	7.90
Quartil Superior	5.030
Mediana	1.995
Quartil Inferior	1.230
CONAMA 357/2005	-
NOAA/2008	-

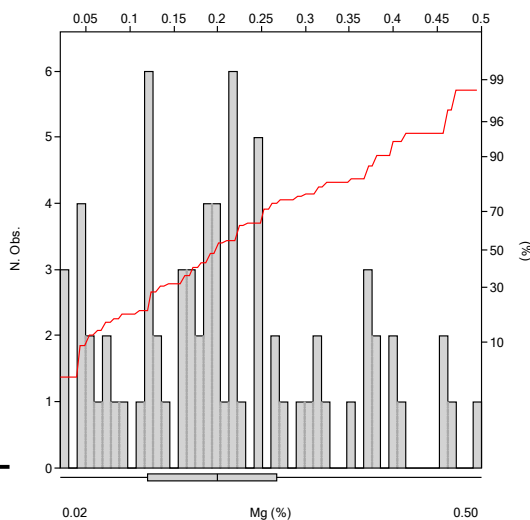
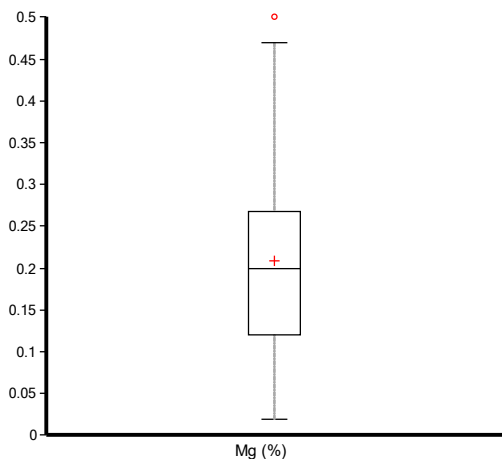
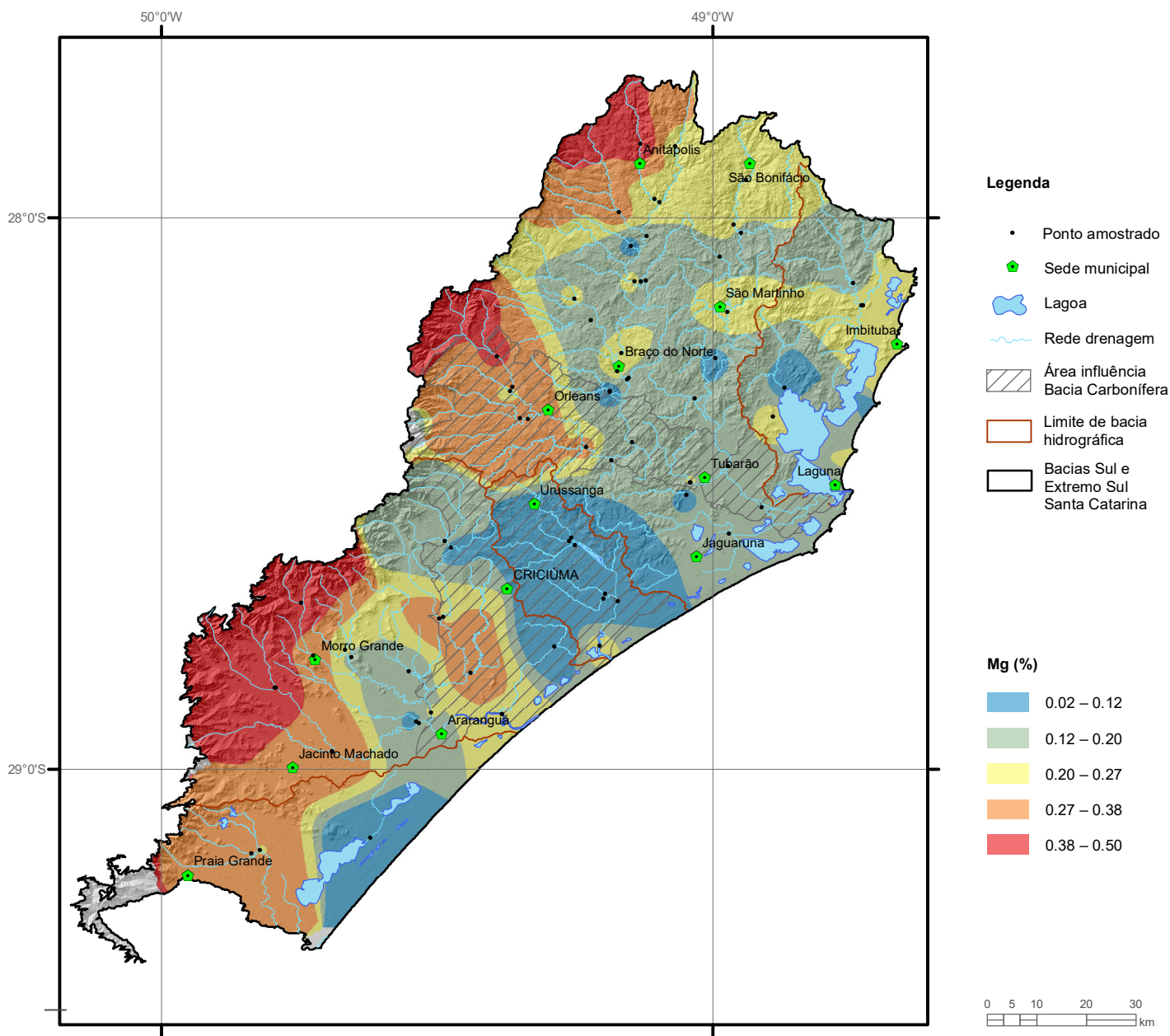
MAGNÉSIO

Mg

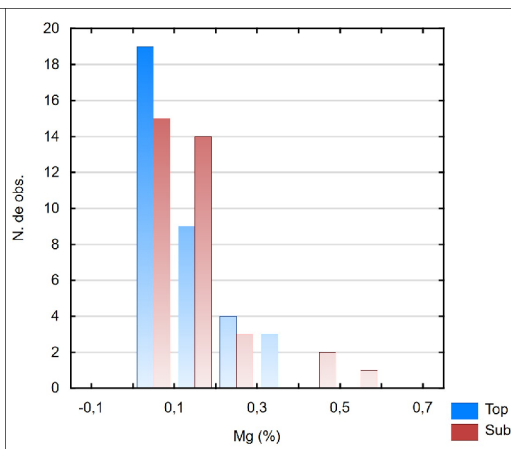
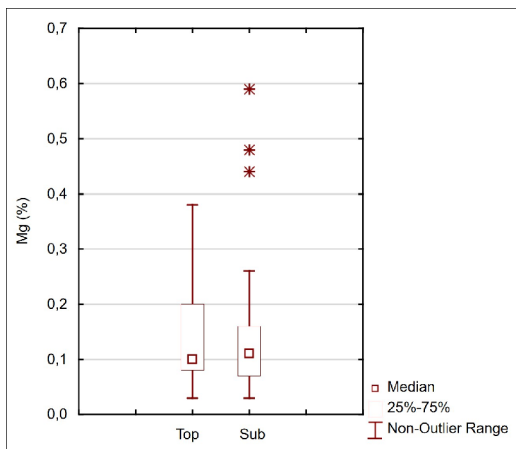
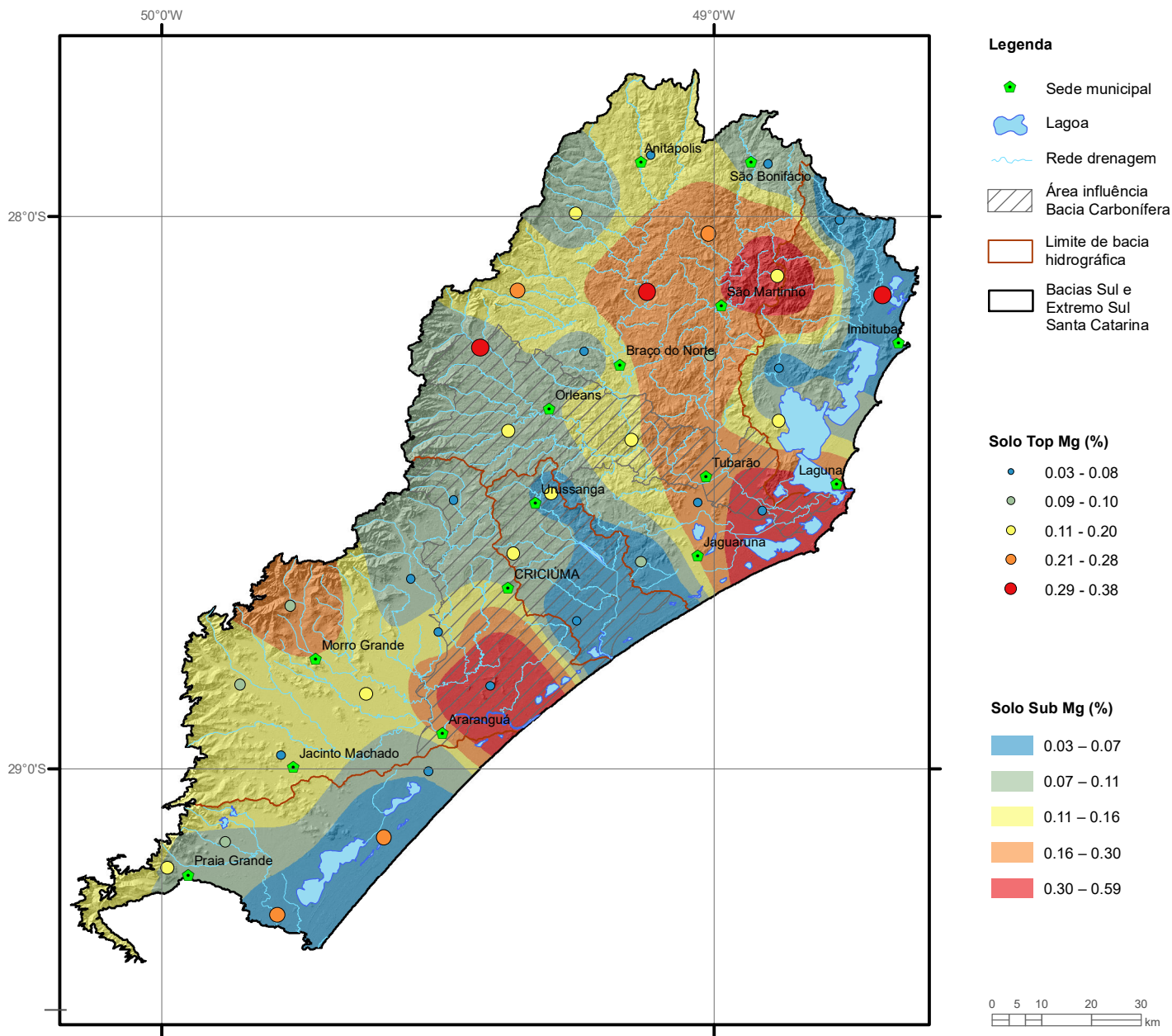
Carga



Estatística Descritiva	
Elemento	Mg (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.0042
Valor Máximo	16418
Média	433.58
Desvio Padrão	2074.1
Quartil Superior	70.752
Mediana	23.539
Quartil Inferior	5.8110



Elemento	Mg (%)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.02
Valor Máximo	0.50
Média	0.21
Desvio Padrão	0.12
Quartil Superior	0.27
Mediana	0.20
Quartil Inferior	0.12
Clarke	1.50
CONAMA 454/2012	-

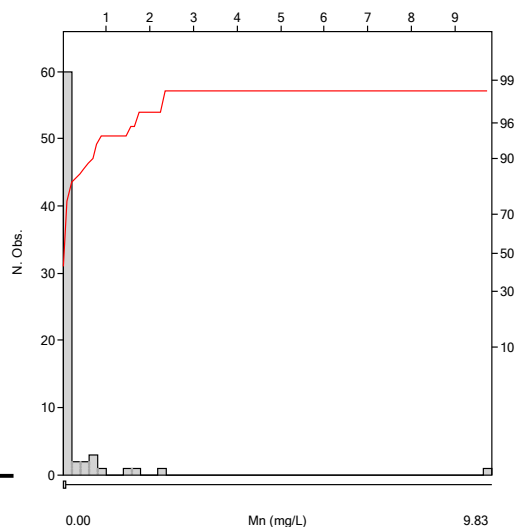
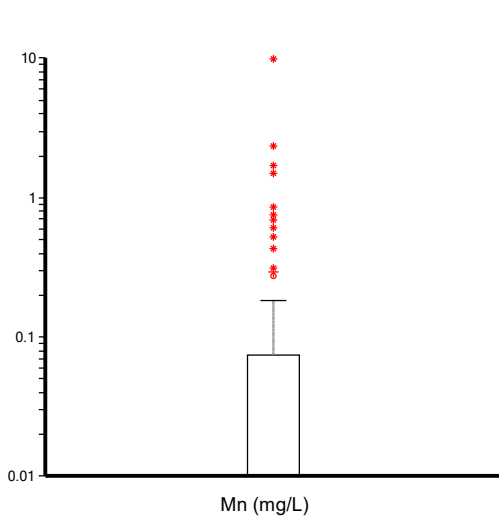
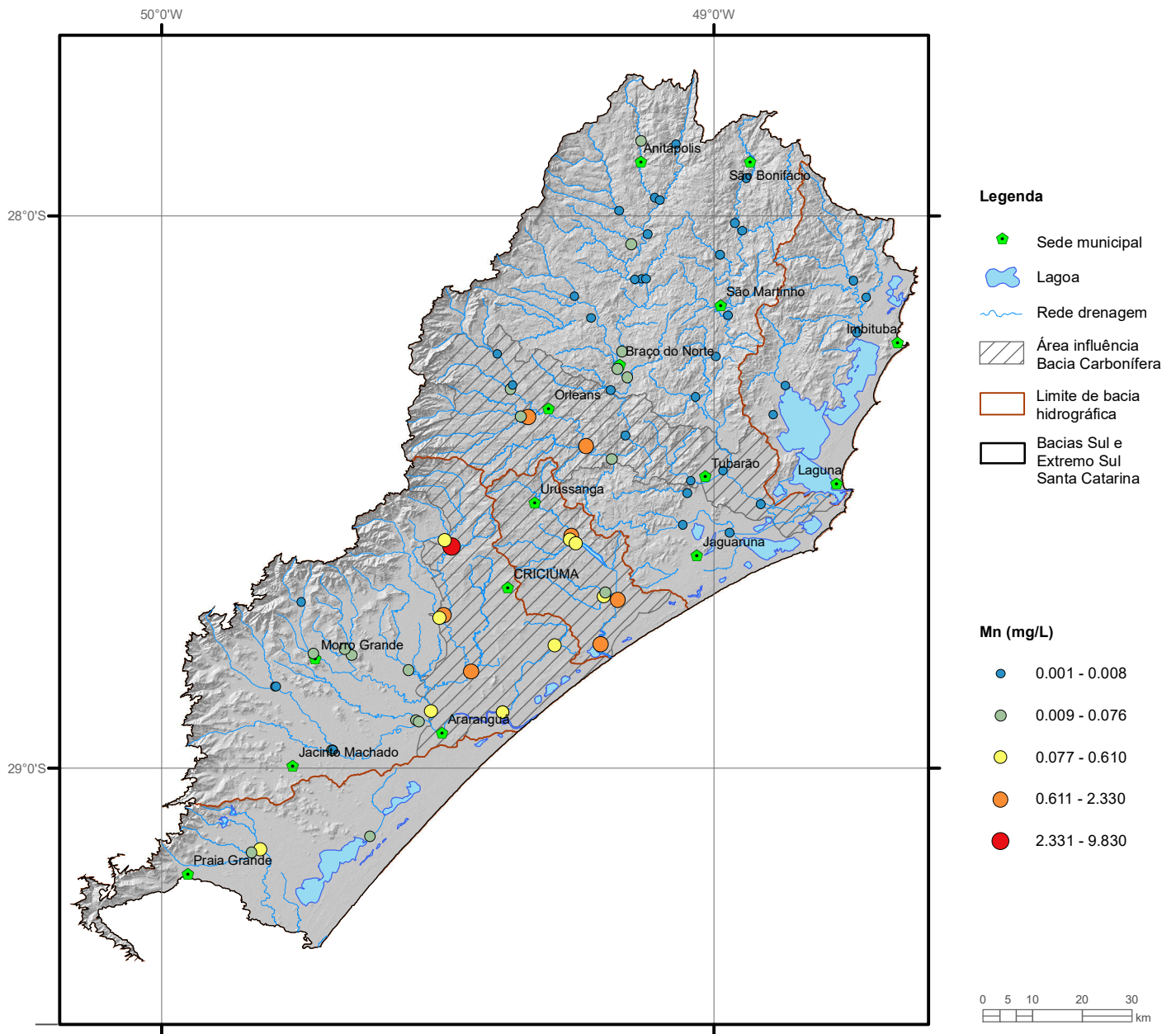


Elemento	Mg (ppm)	
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.03	0.03
Valor Máximo	0.38	0.59
Média	0.14	0.15
Desvio Padrão	0.10	0.13
Quartil Superior	0.20	0.16
Mediana	0.10	0.11
Quartil Inferior	0.08	0.07
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-

MANGANÊS

Mn

Água Superficial

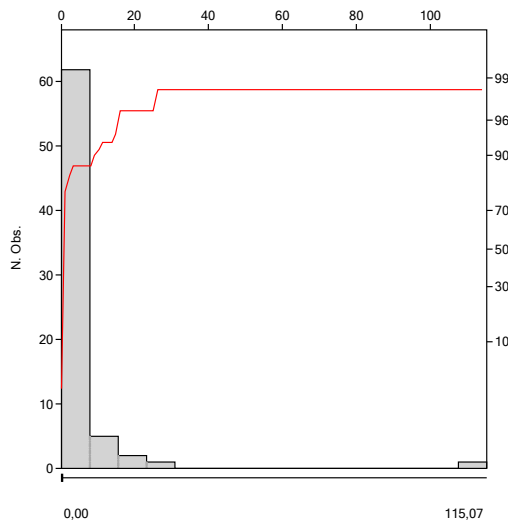
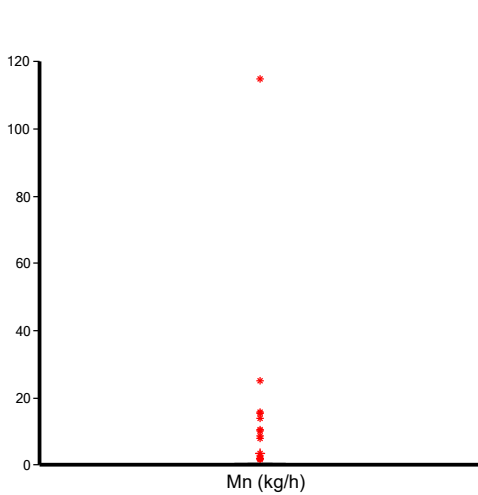
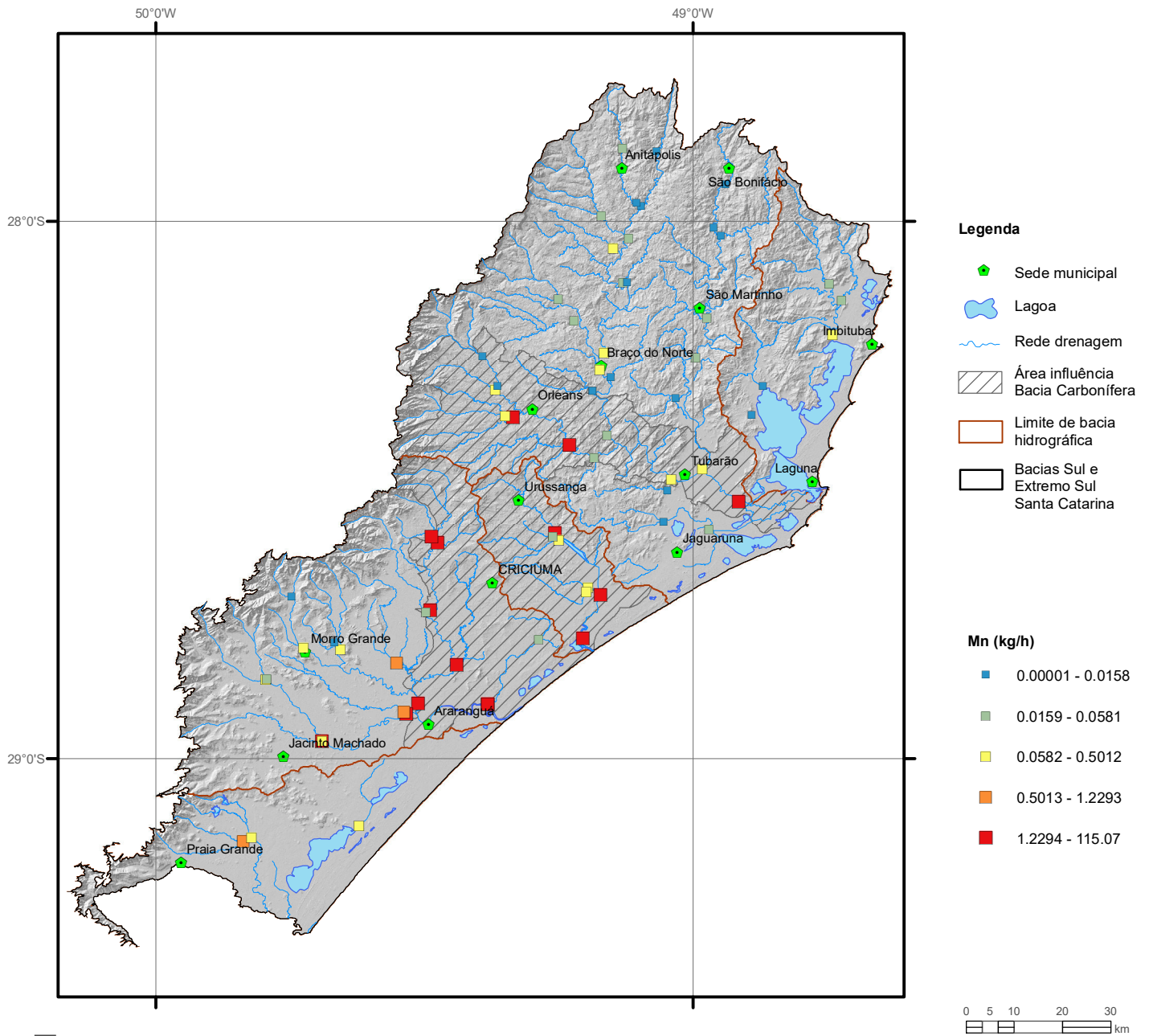


Elemento	Mn (mg/L)
Limite de Detecção	0.002
Número de dados	72
Número de dados > LD	41
Valor Mínimo	0.001
Valor Máximo	9.83
Média	0.296
Desvio Padrão	1.21
Quartil Superior	0.076
Mediana	0.008
Quartil Inferior	0.001
CONAMA 357/2005 (II)	0.1
Portaria MS 2914/2011	0.1

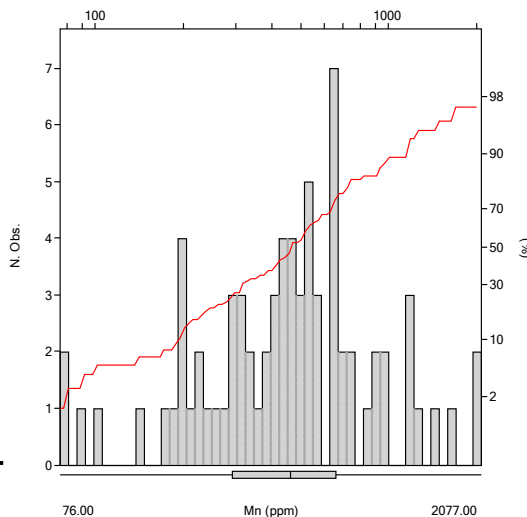
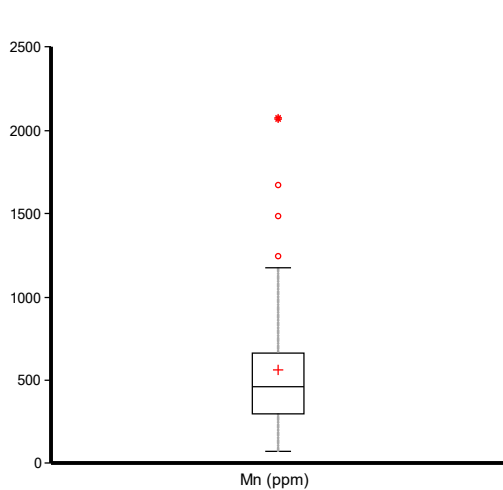
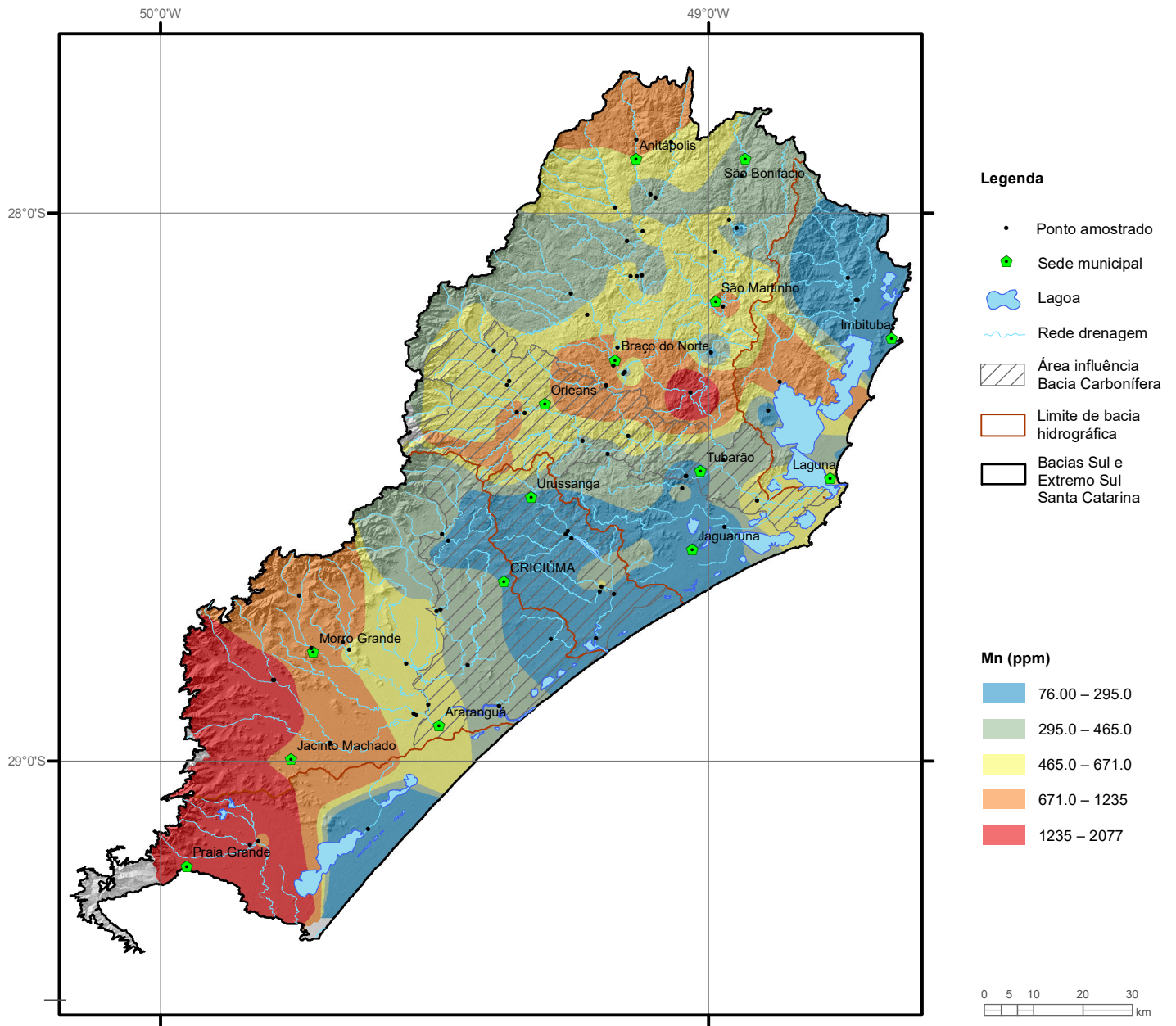
MANGANÊS

Mn

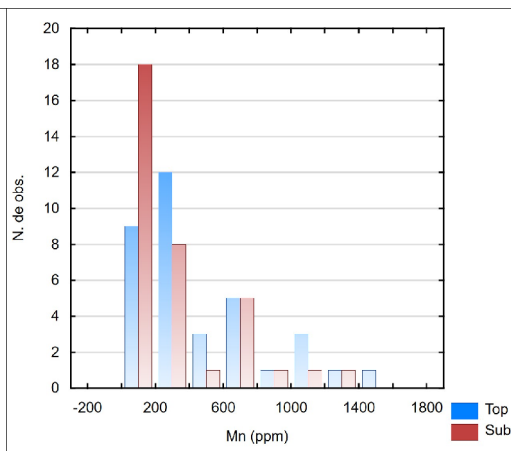
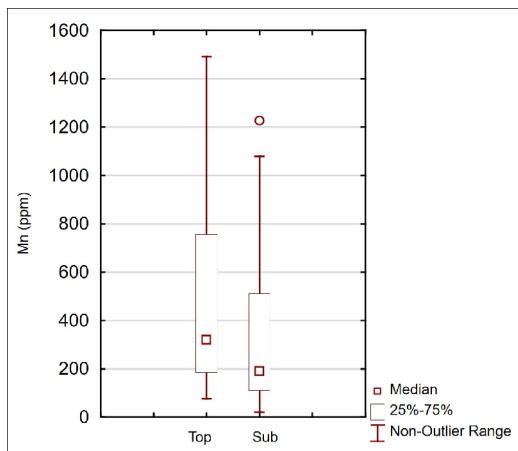
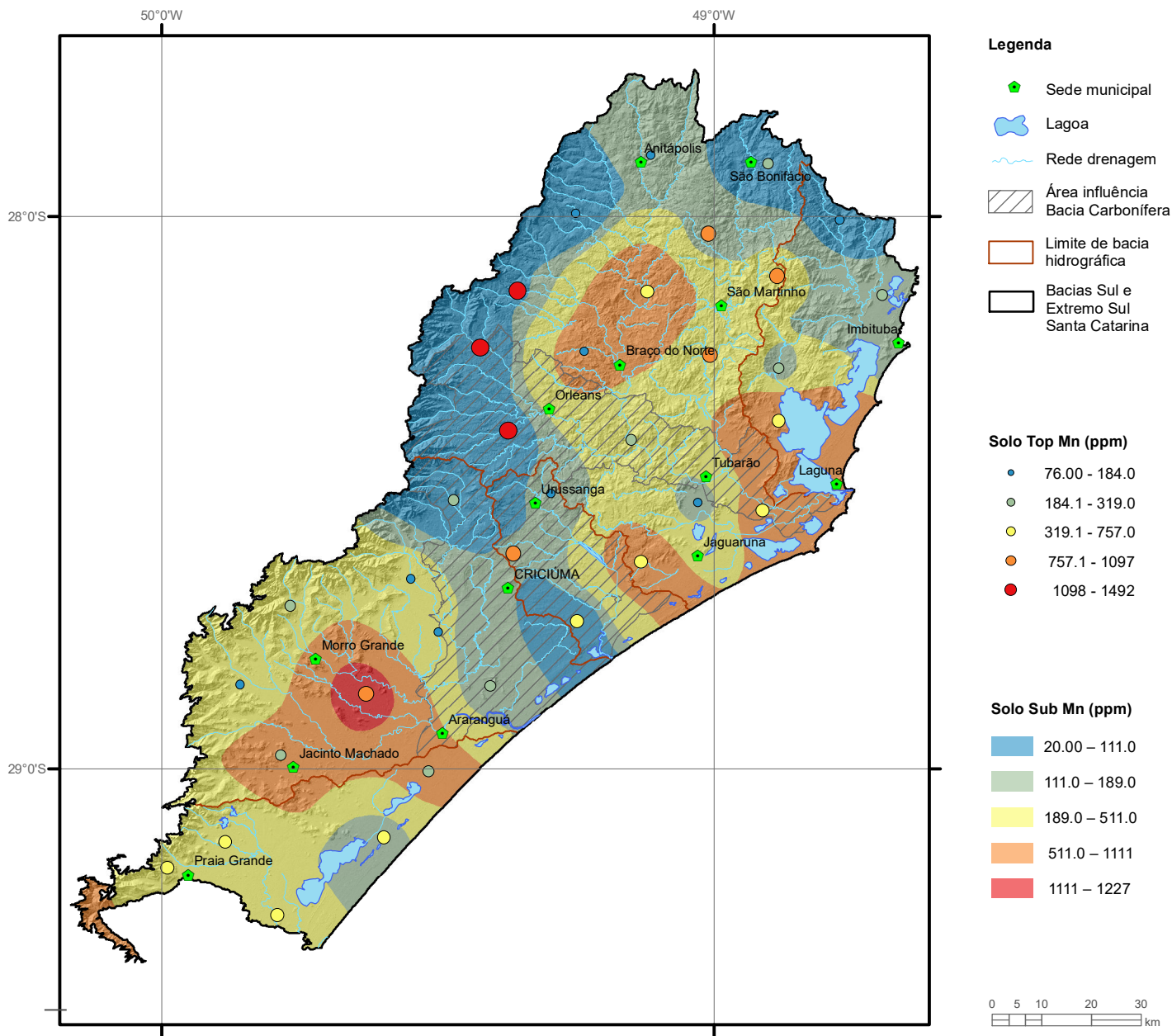
Carga



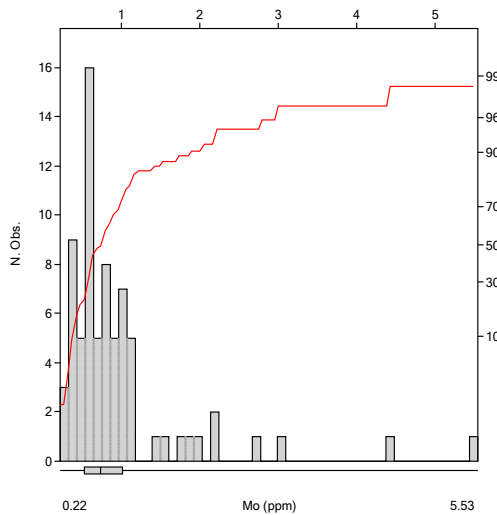
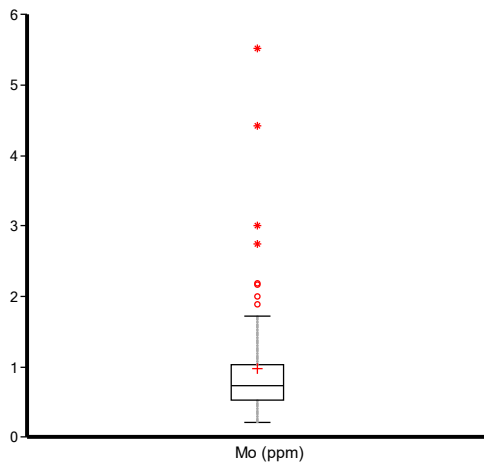
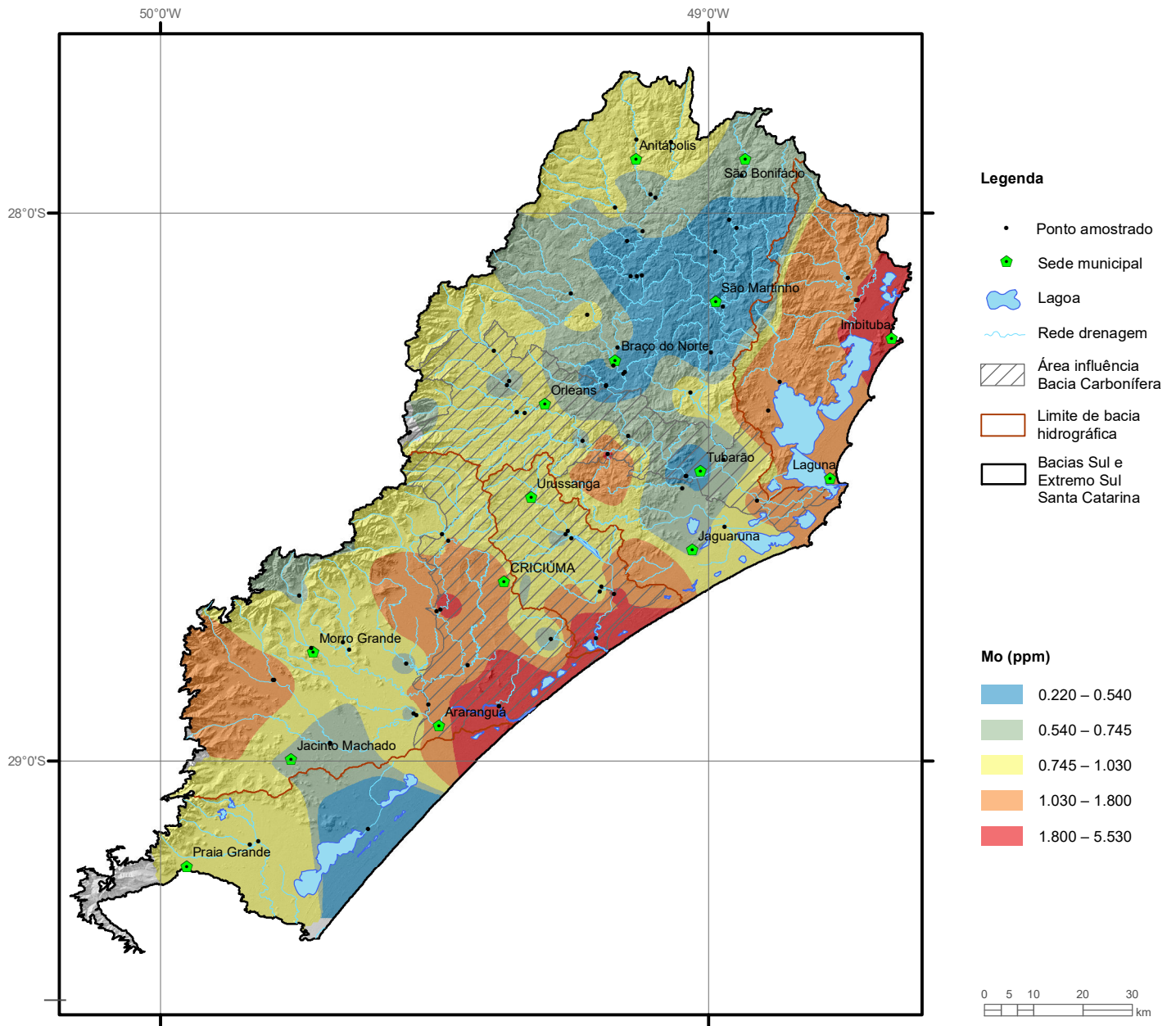
Estatística Descritiva	
Elemento	Mn (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.00001
Valor Máximo	115.07
Média	3.3742
Desvio Padrão	14.108
Quartil Superior	0.5012
Mediana	0.0581
Quartil Inferior	0.0158



Elemento	Mn (ppm)
Limite de Detecção	5
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	76.0
Valor Máximo	2077.0
Média	562.6
Desvio Padrão	411.7
Quartil Superior	671.0
Mediana	465.0
Quartil Inferior	295.0
Clarke	1060
NOAA/2008 (LEL)	460



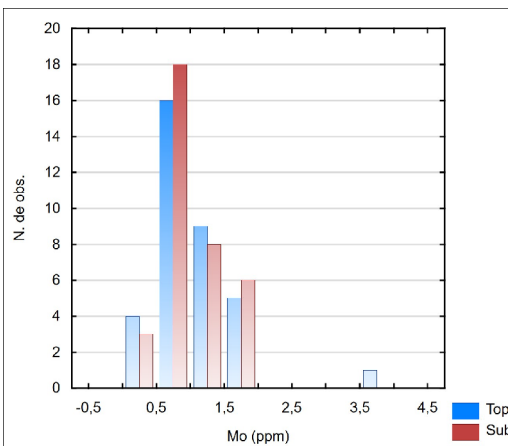
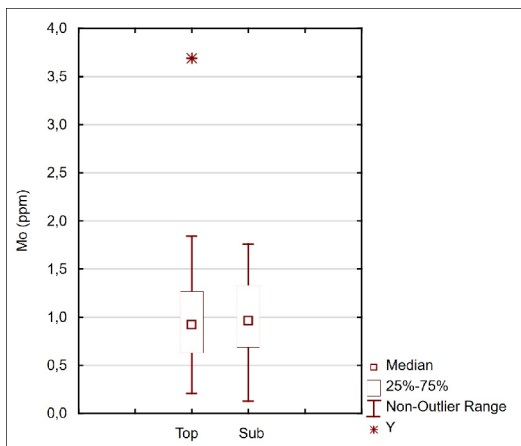
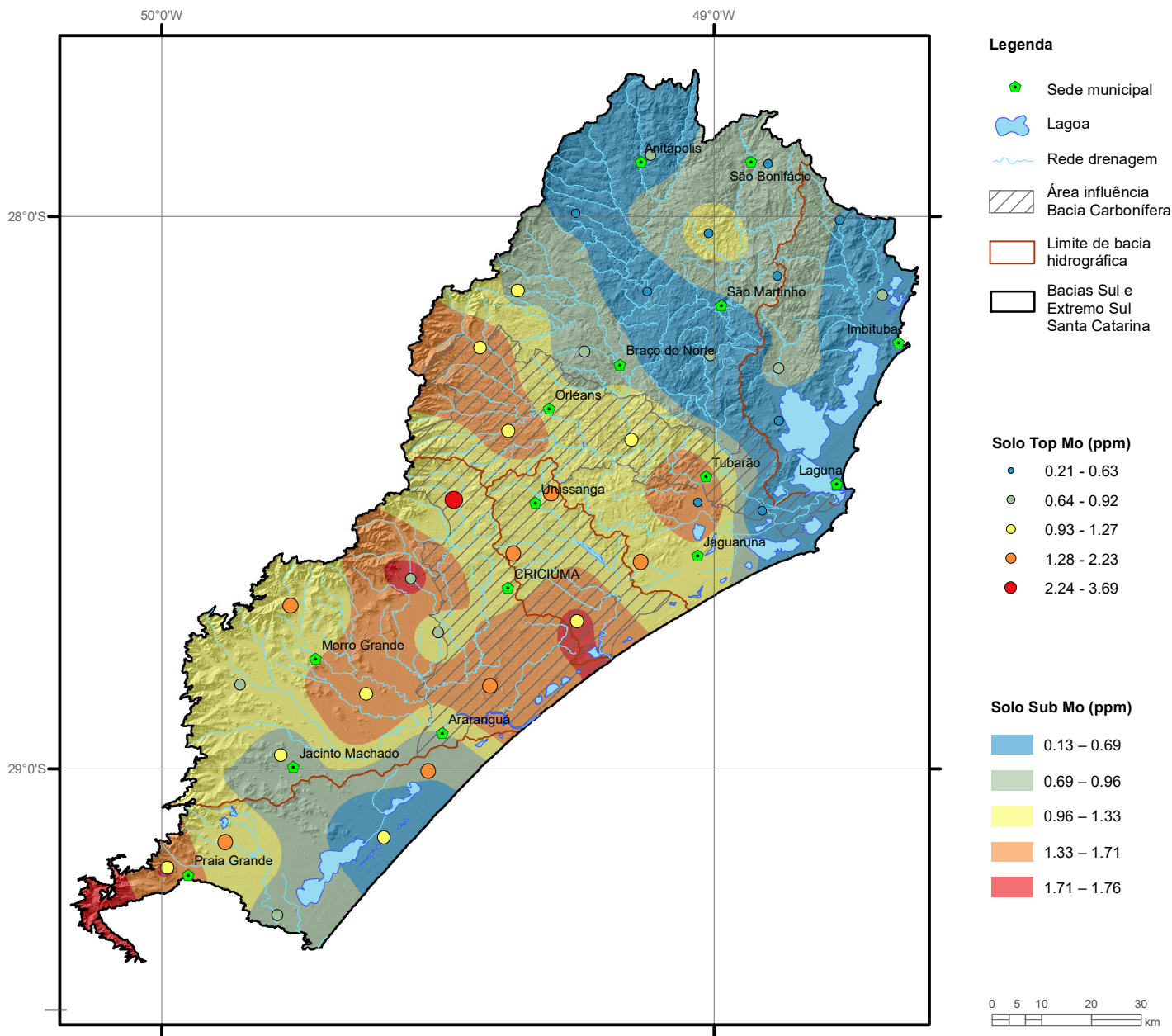
Elemento	Mn (ppm)	
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	5	5
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	76.0	20.0
Valor Máximo	1492.0	1227.0
Média	478.1	316.4
Desvio Padrão	370.1	306.6
Quartil Superior	757.0	511.0
Mediana	319.0	189.0
Quartil Inferior	184.0	111.0
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008 (Eco-SSL)		220



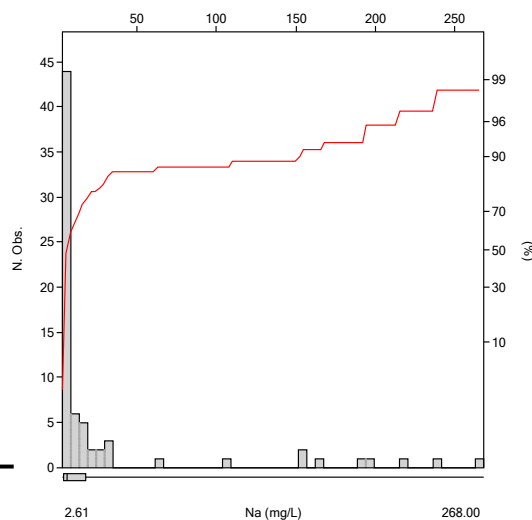
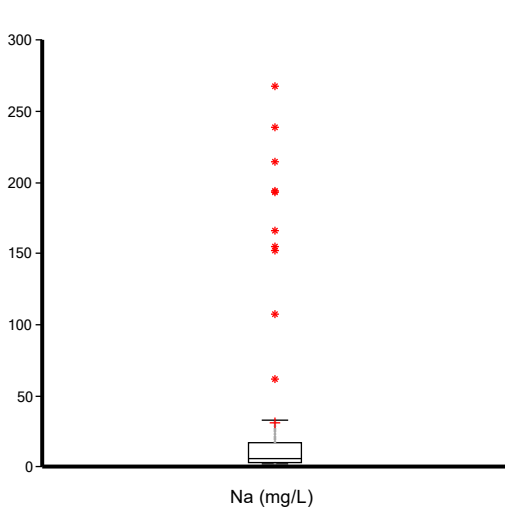
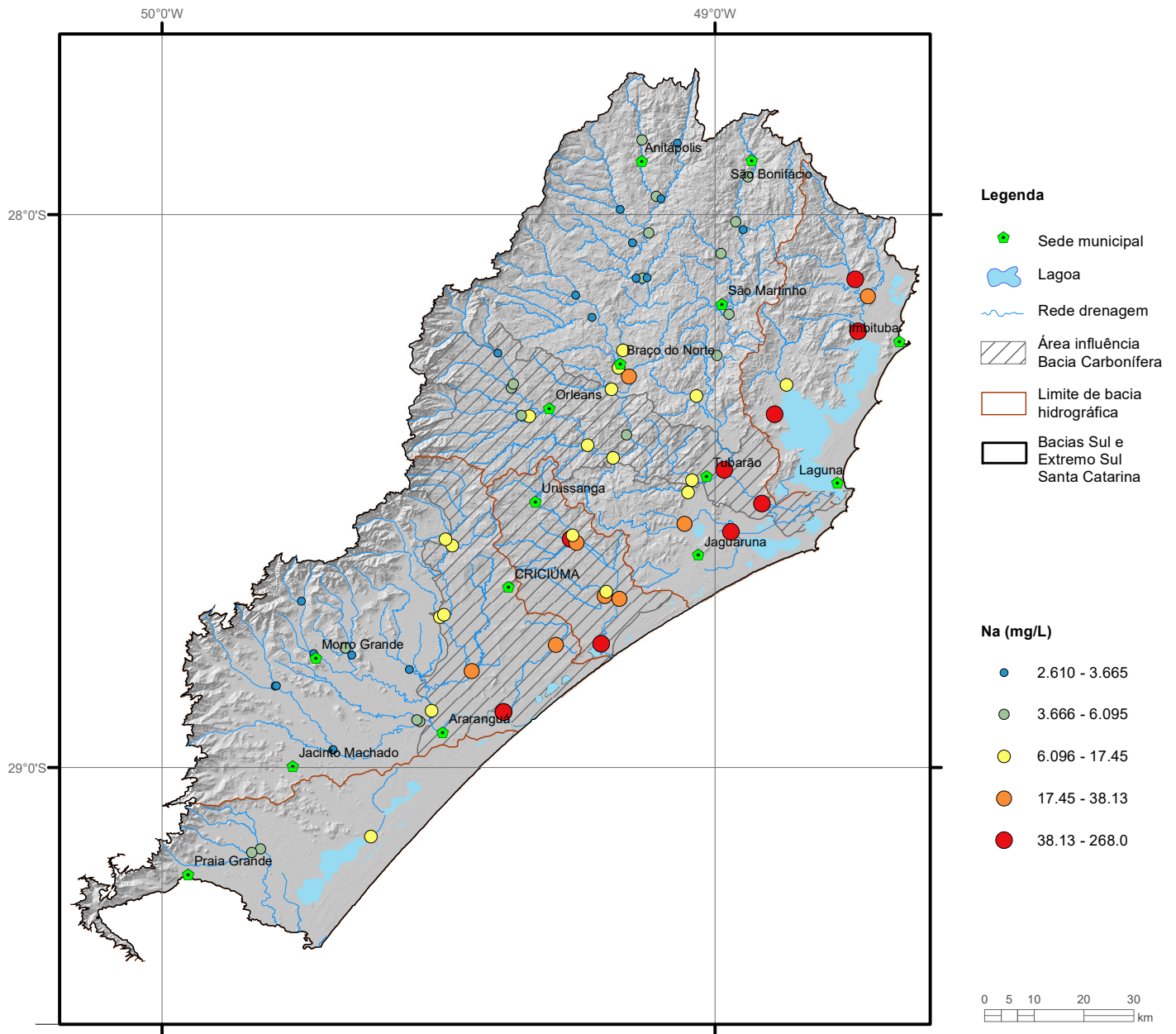
Elemento	Mo (ppm)
Limite de Detecção	0.05
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.220
Valor Máximo	5.530
Média	0.970
Desvio Padrão	0.868
Quartil Superior	1.030
Mediana	0.745
Quartil Inferior	0.540
Clarke	1.2
CONAMA 454/2012	-

MOLIBDÊNIO

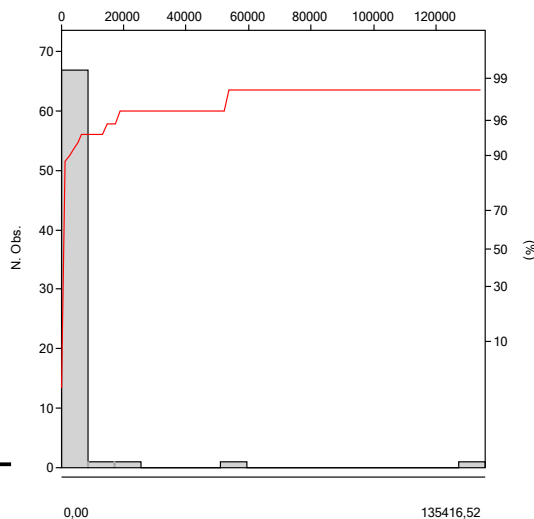
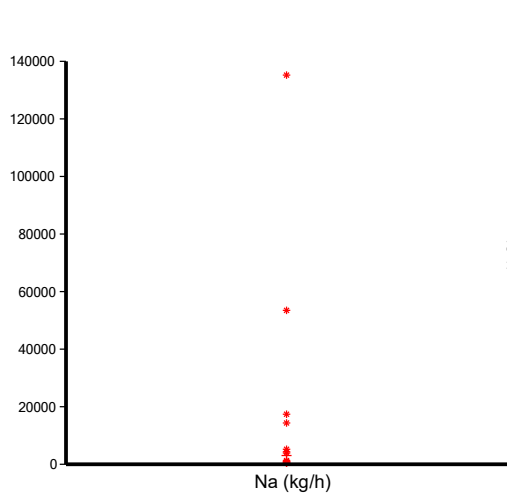
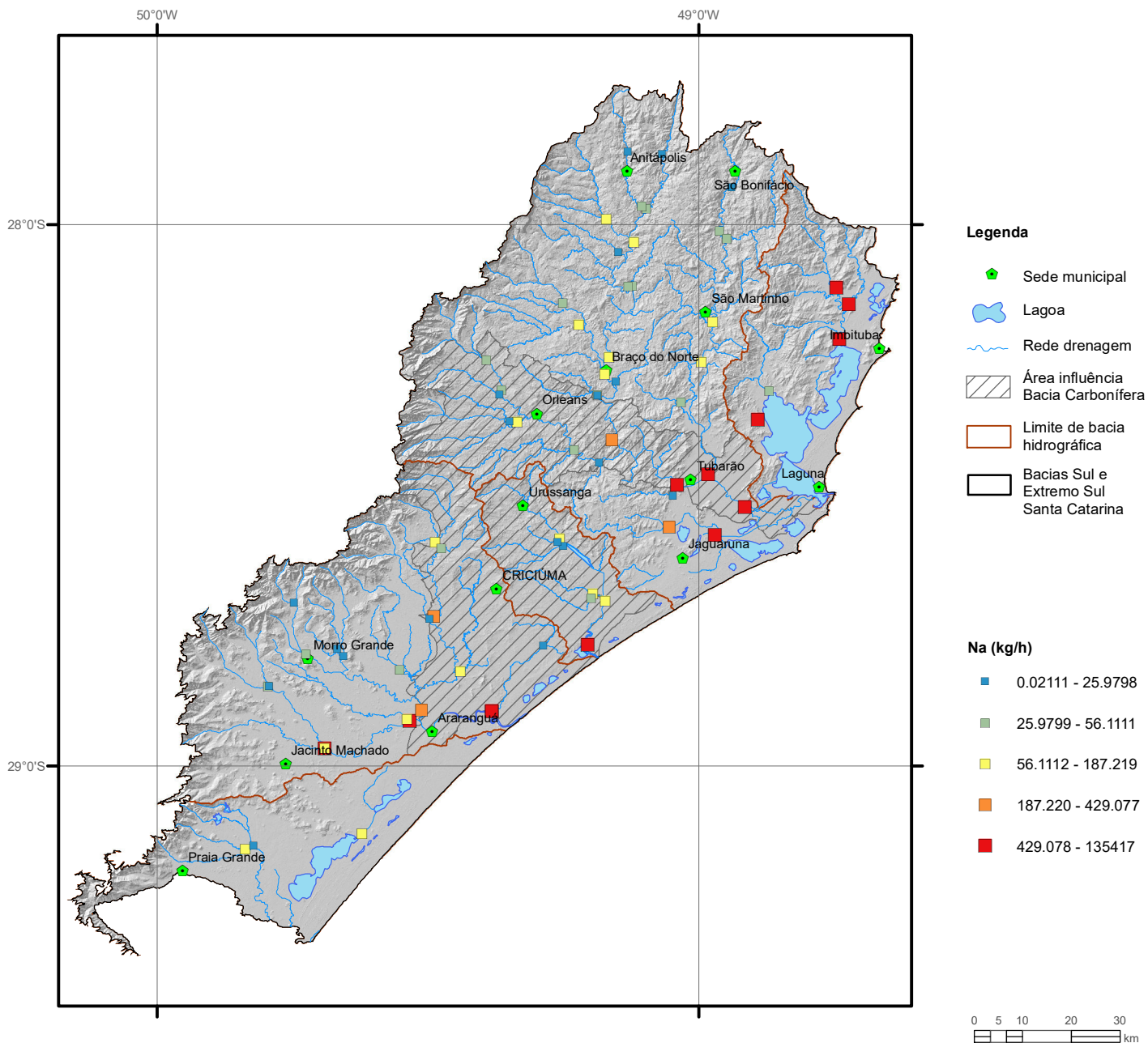
Mo Solo



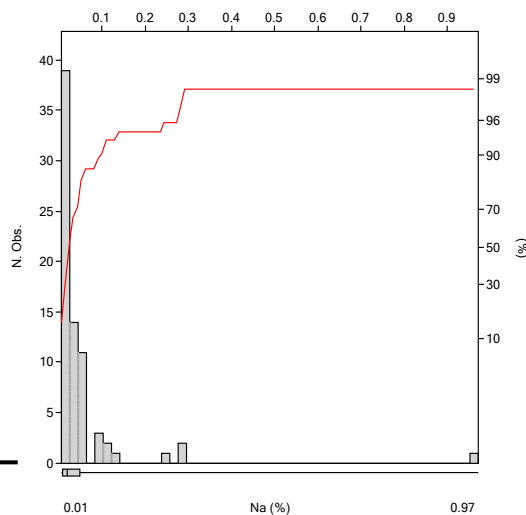
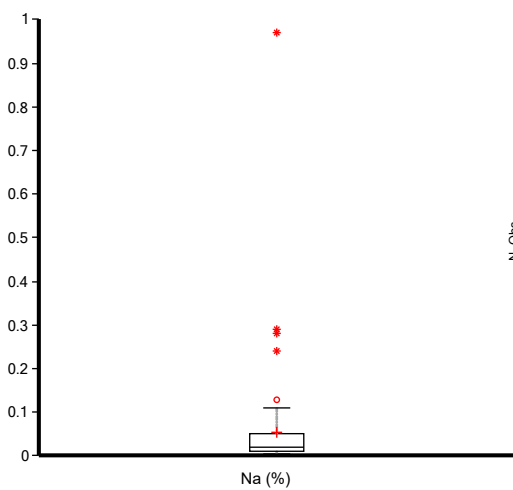
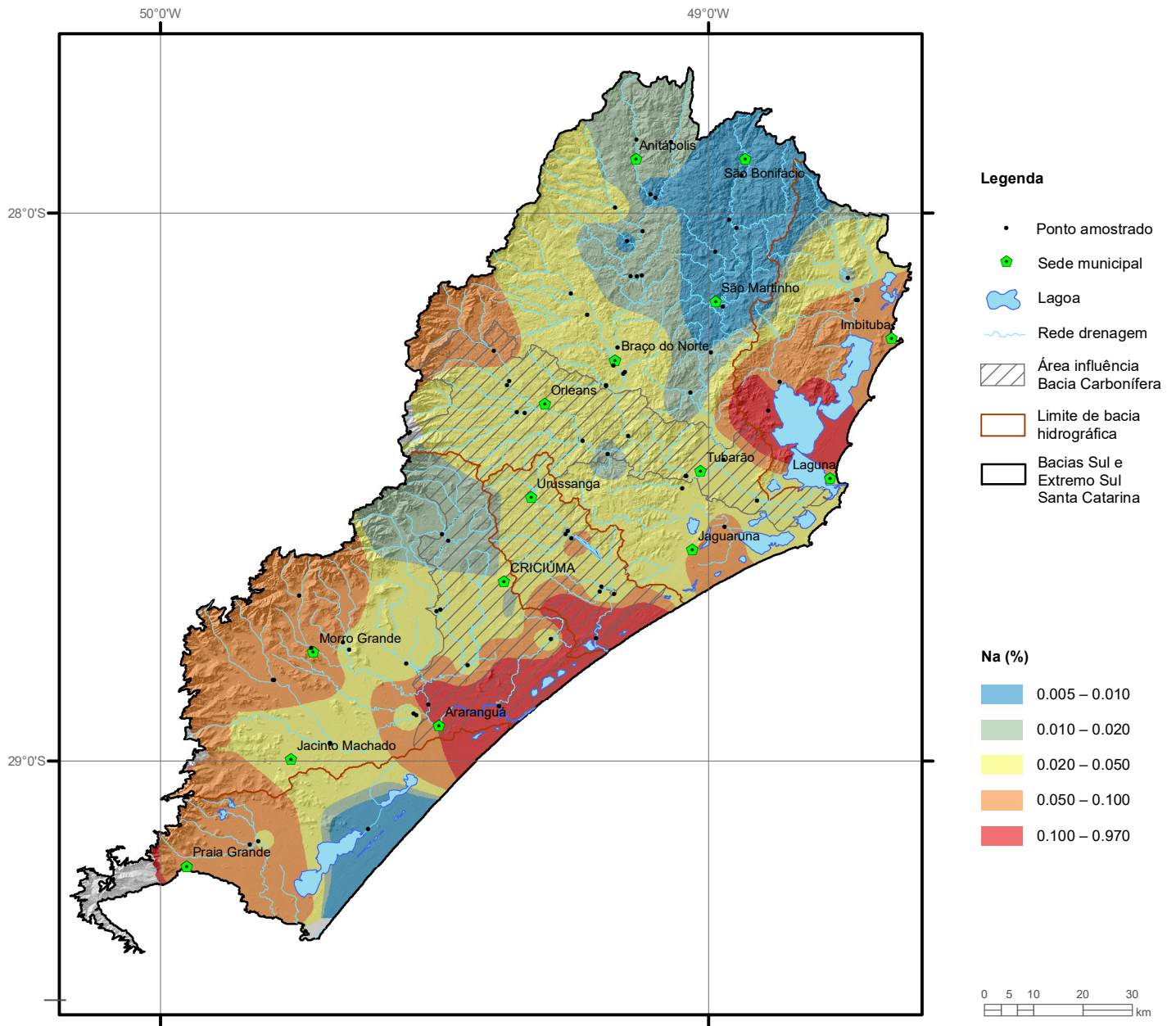
Elemento	Mo (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.05	0.05
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.21	0.13
Valor Máximo	3.69	1.76
Média	1.03	1.01
Desvio Padrão	0.63	0.43
Quartil Superior	1.27	1.33
Mediana	0.92	0.96
Quartil Inferior	0.63	0.69
CONAMA 420/2009 (VP)		30
NOAA/2008 (Target)		3



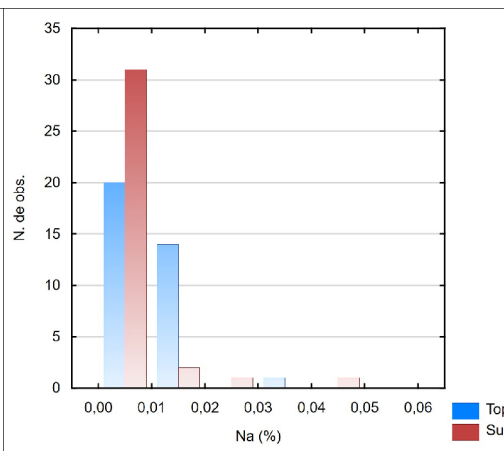
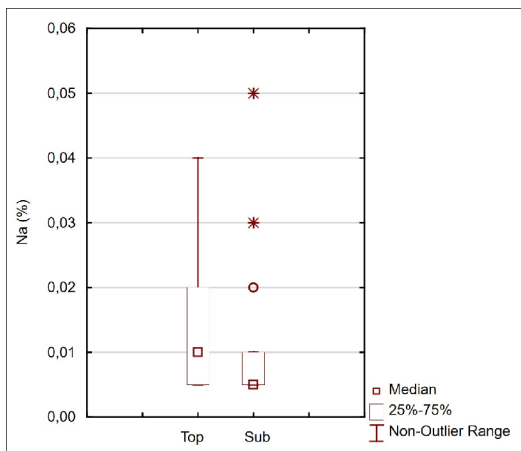
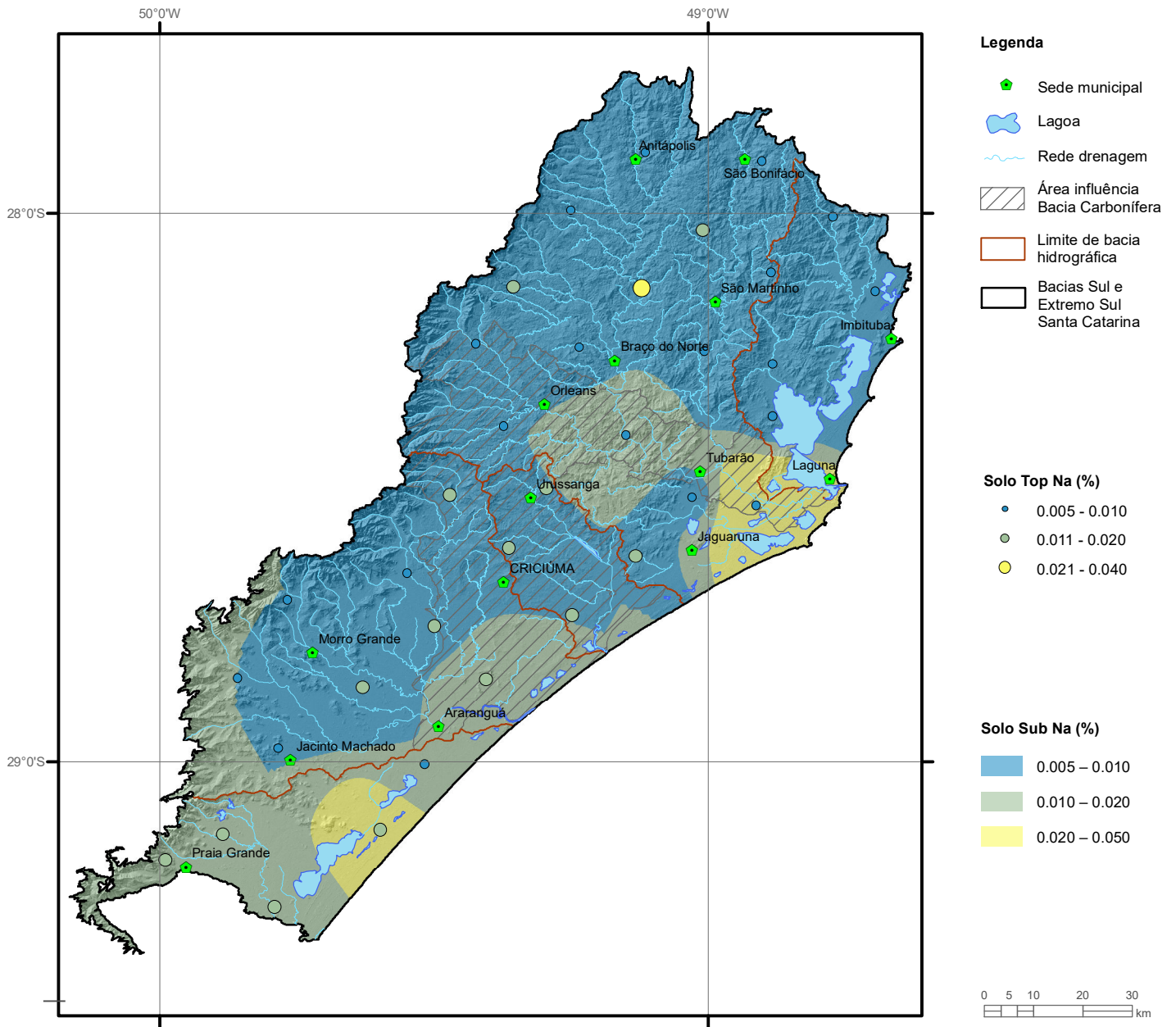
Elemento	Na (mg/L)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	72
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	2.610
Valor Máximo	268.0
Média	31.61
Desvio Padrão	62.38
Quartil Superior	17.45
Mediana	6.095
Quartil Inferior	3.665
Portaria MS 2914/2011	200
WHO (2011)	50



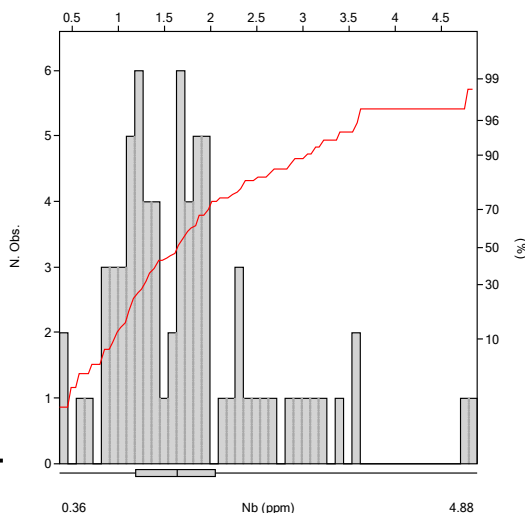
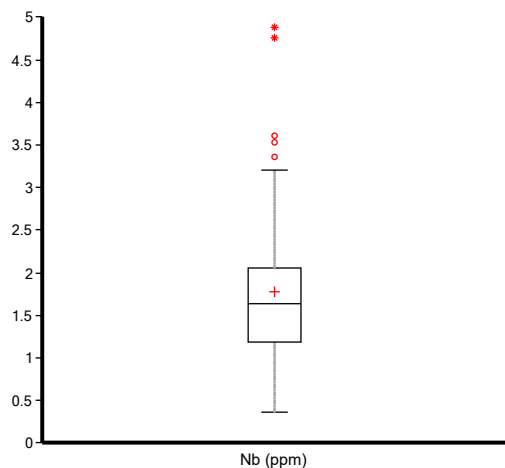
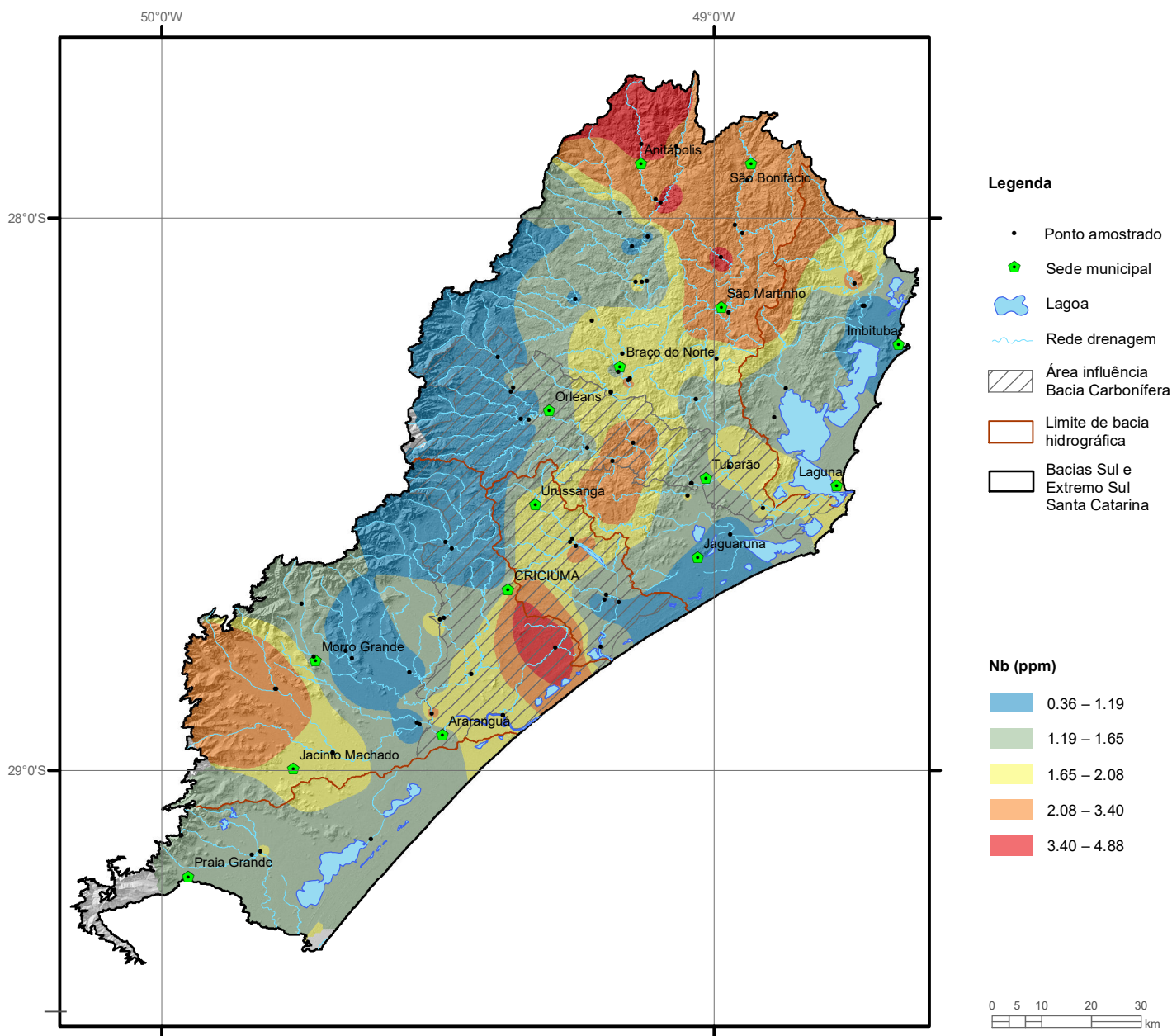
Estatística Descritiva	
Elemento	Na (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.02111
Valor Máximo	135417
Média	3402.71
Desvio Padrão	17181.8
Quartil Superior	187.219
Mediana	56.1111
Quartil Inferior	25.9798



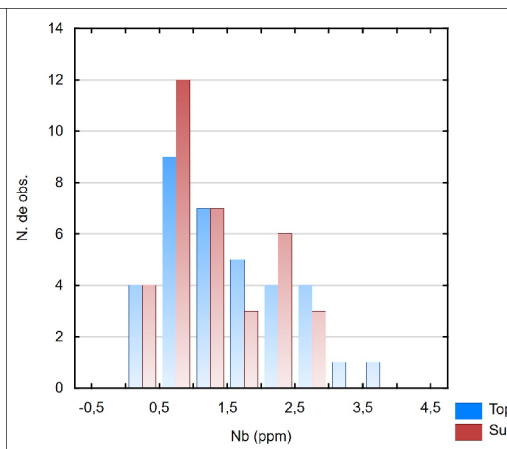
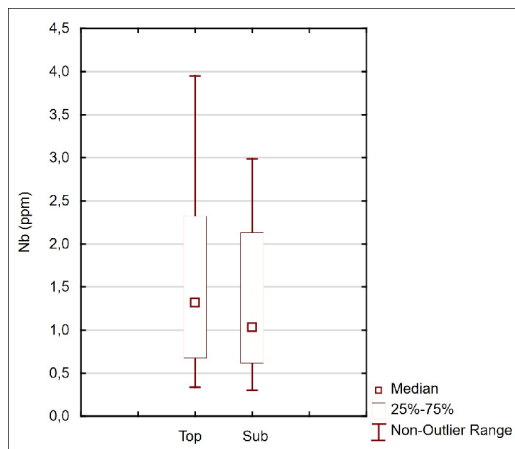
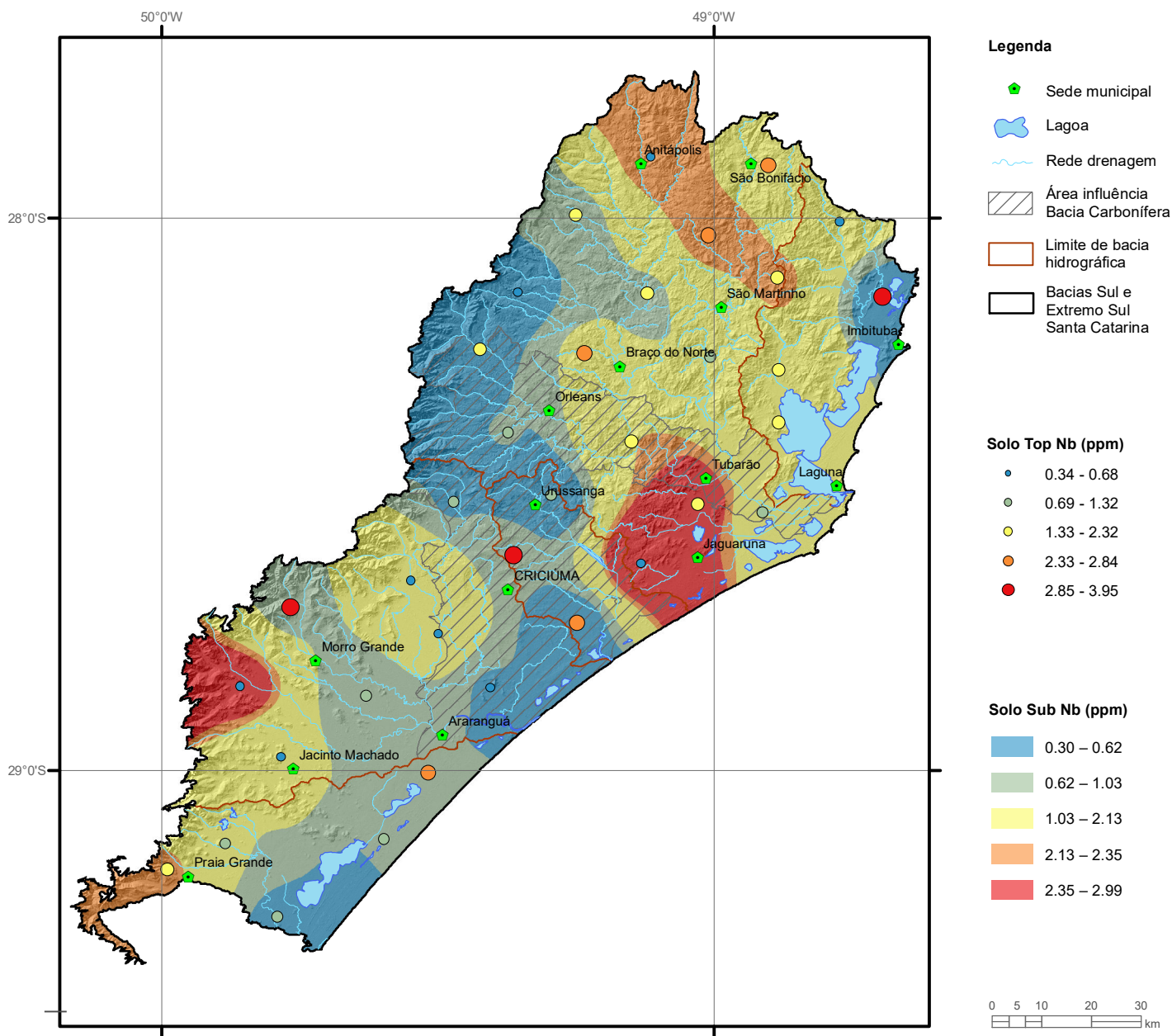
Elemento	Na (%)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	63
Valor Mínimo	0.005
Valor Máximo	0.970
Média	0.053
Desvio Padrão	0.121
Quartil Superior	0.050
Mediana	0.020
Quartil Inferior	0.010
Clarke	2.43
CONAMA 454/2012	-



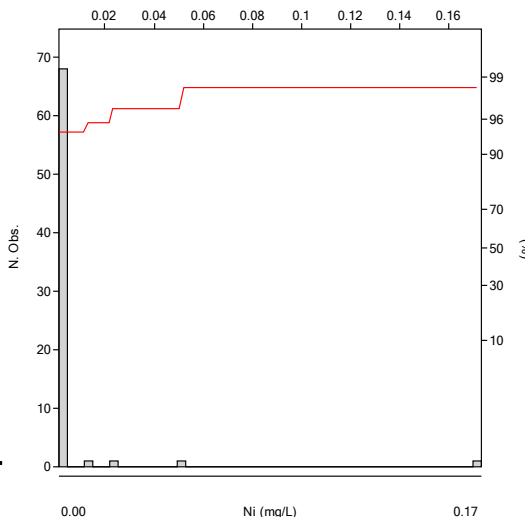
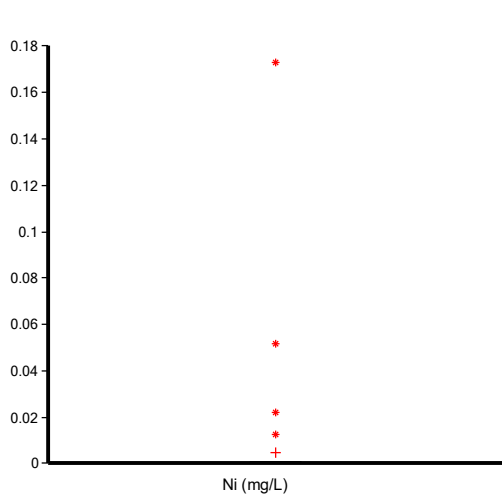
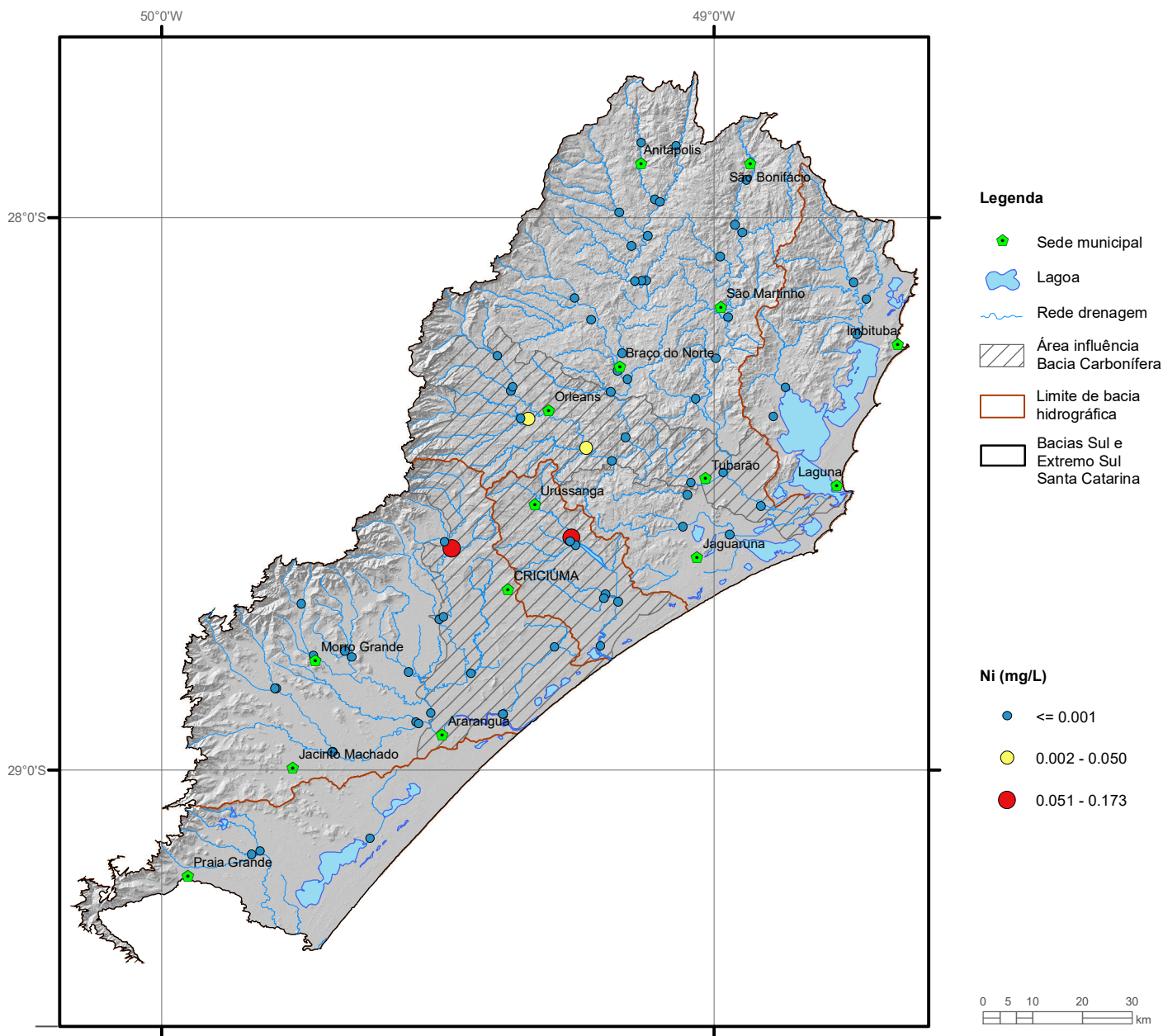
Elemento	Na (%)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	23	17
Valor Mínimo	0.005	0.005
Valor Máximo	0.040	0.050
Média	0.013	0.010
Desvio Padrão	0.01	0.01
Quartil Superior	0.020	0.010
Mediana	0.010	0.005
Quartil Inferior	0.005	0.005
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



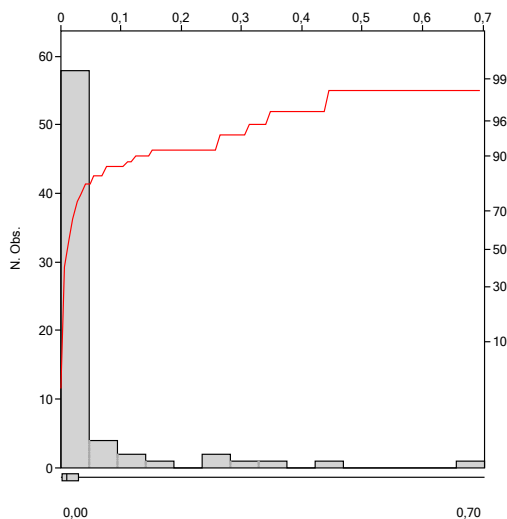
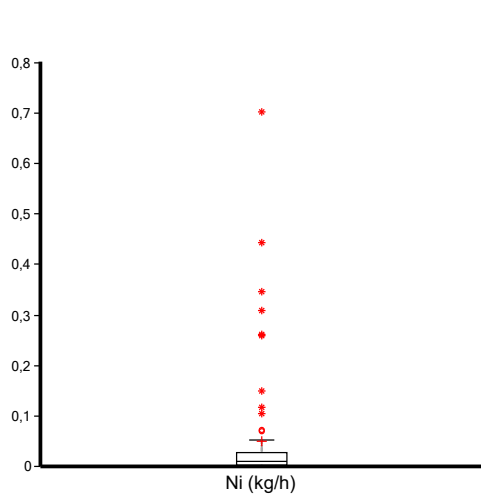
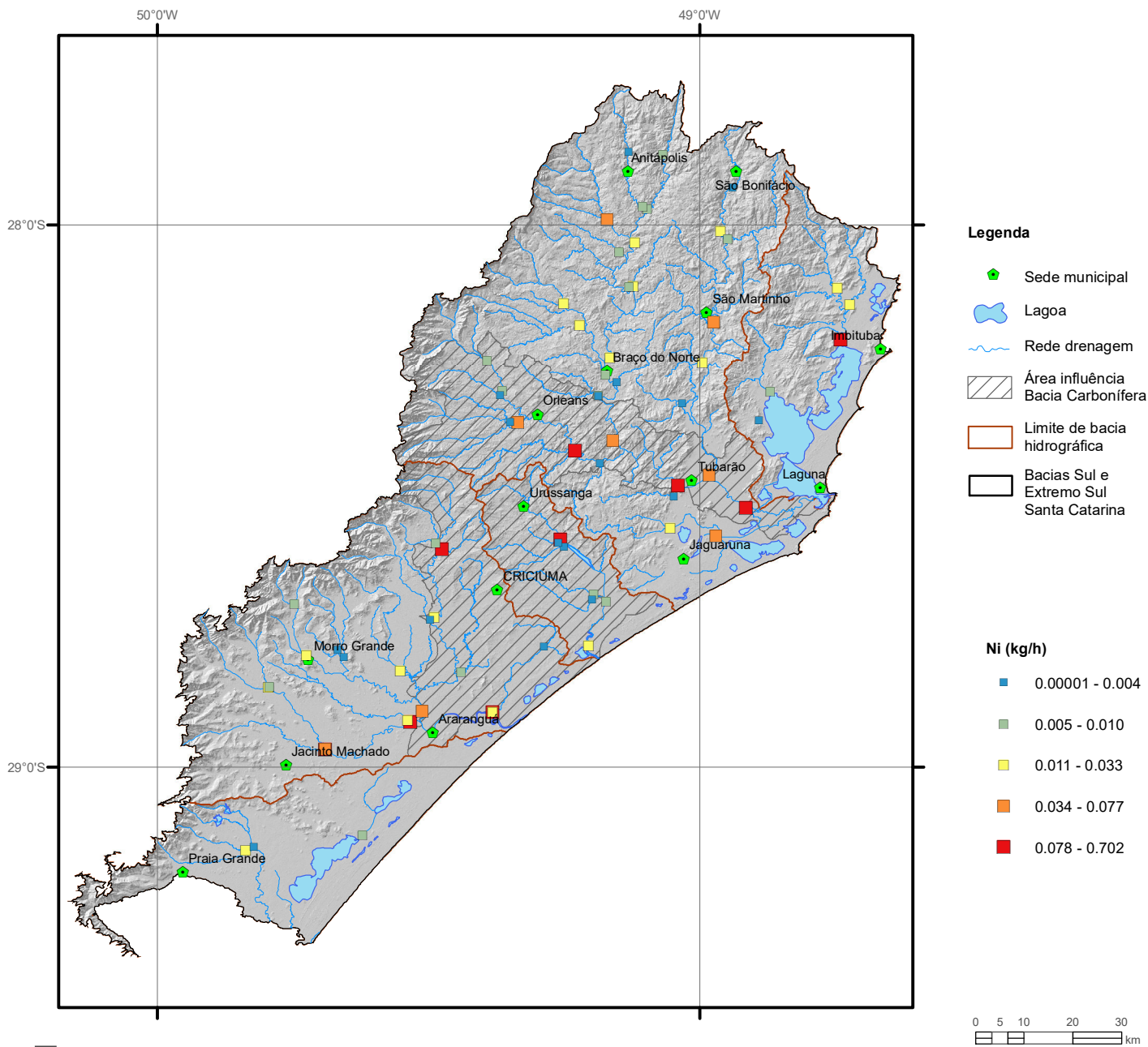
Elemento	Nb (ppm)
Limite de Detecção	0.05
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.36
Valor Máximo	4.88
Média	1.78
Desvio Padrão	0.88
Quartil Superior	2.08
Mediana	1.65
Quartil Inferior	1.19
Clarke	20
CONAMA 454/2012	-



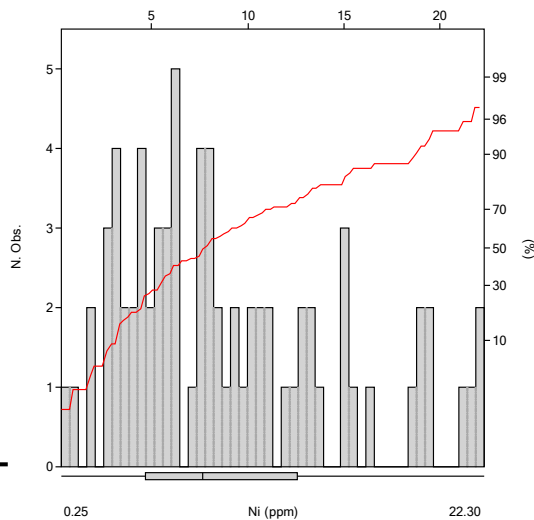
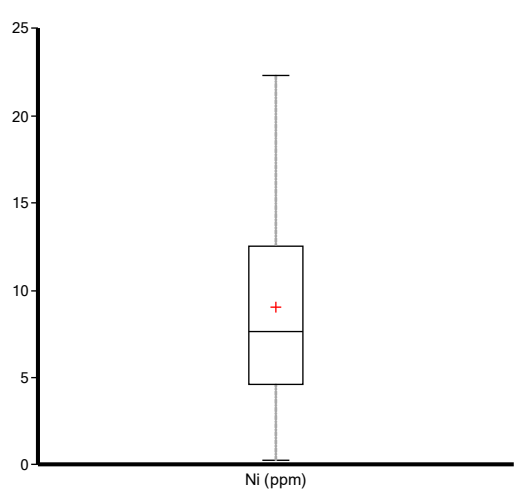
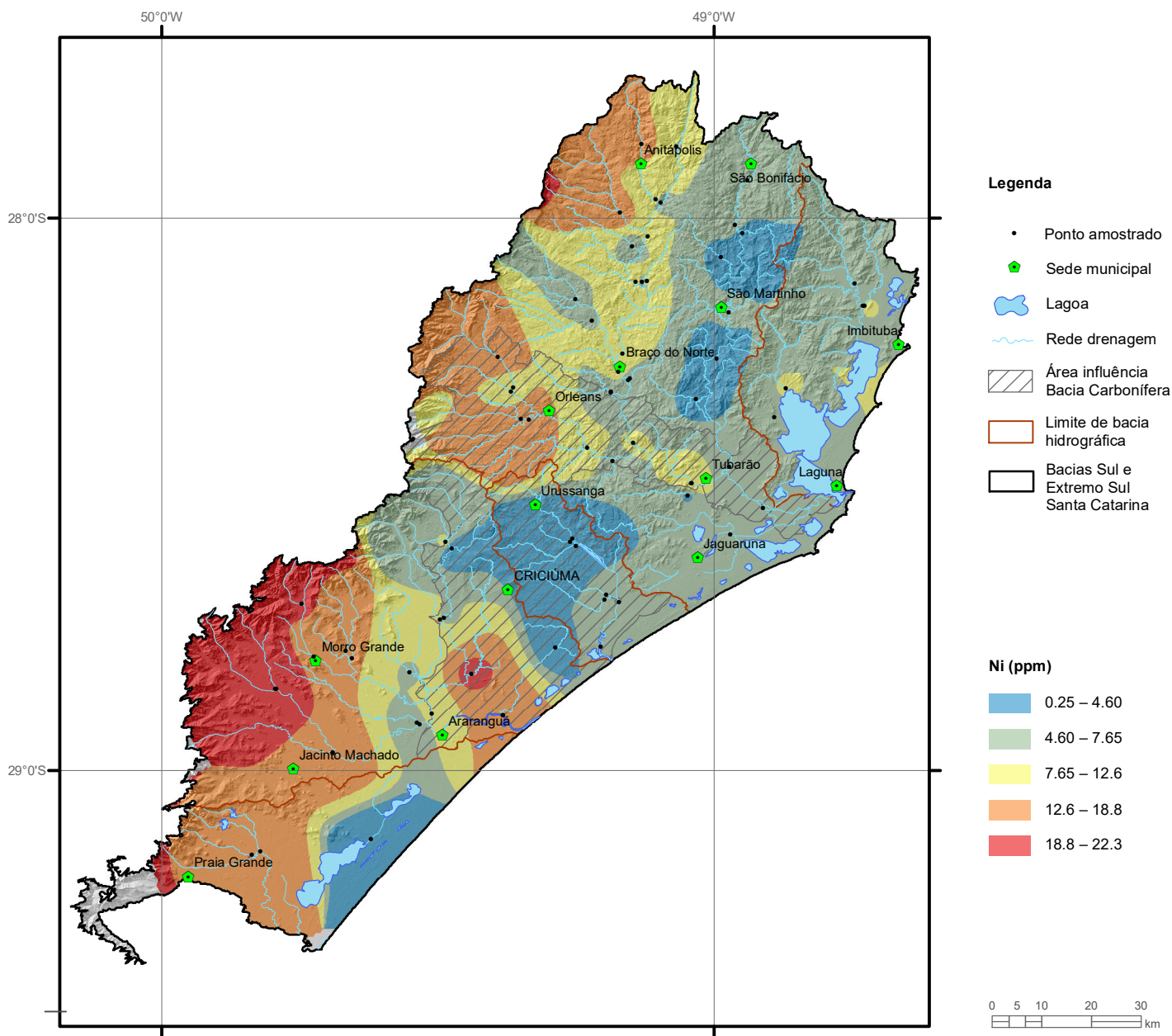
Elemento	Nb (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.05	0.05
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.34	0.30
Valor Máximo	3.95	2.99
Média	1.51	1.29
Desvio Padrão	0.94	0.80
Quartil Superior	2.32	2.13
Mediana	1.32	1.03
Quartil Inferior	0.68	0.62
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



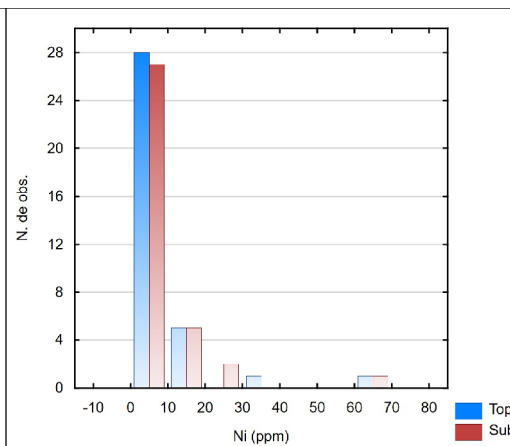
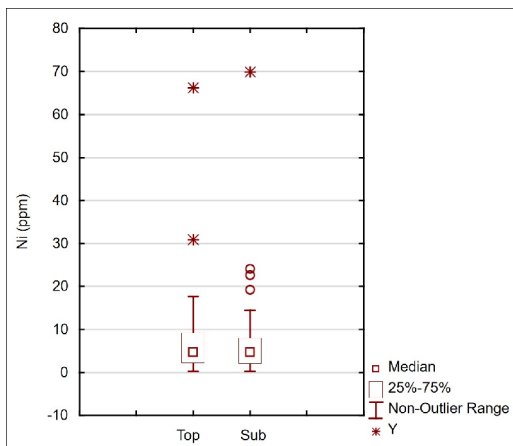
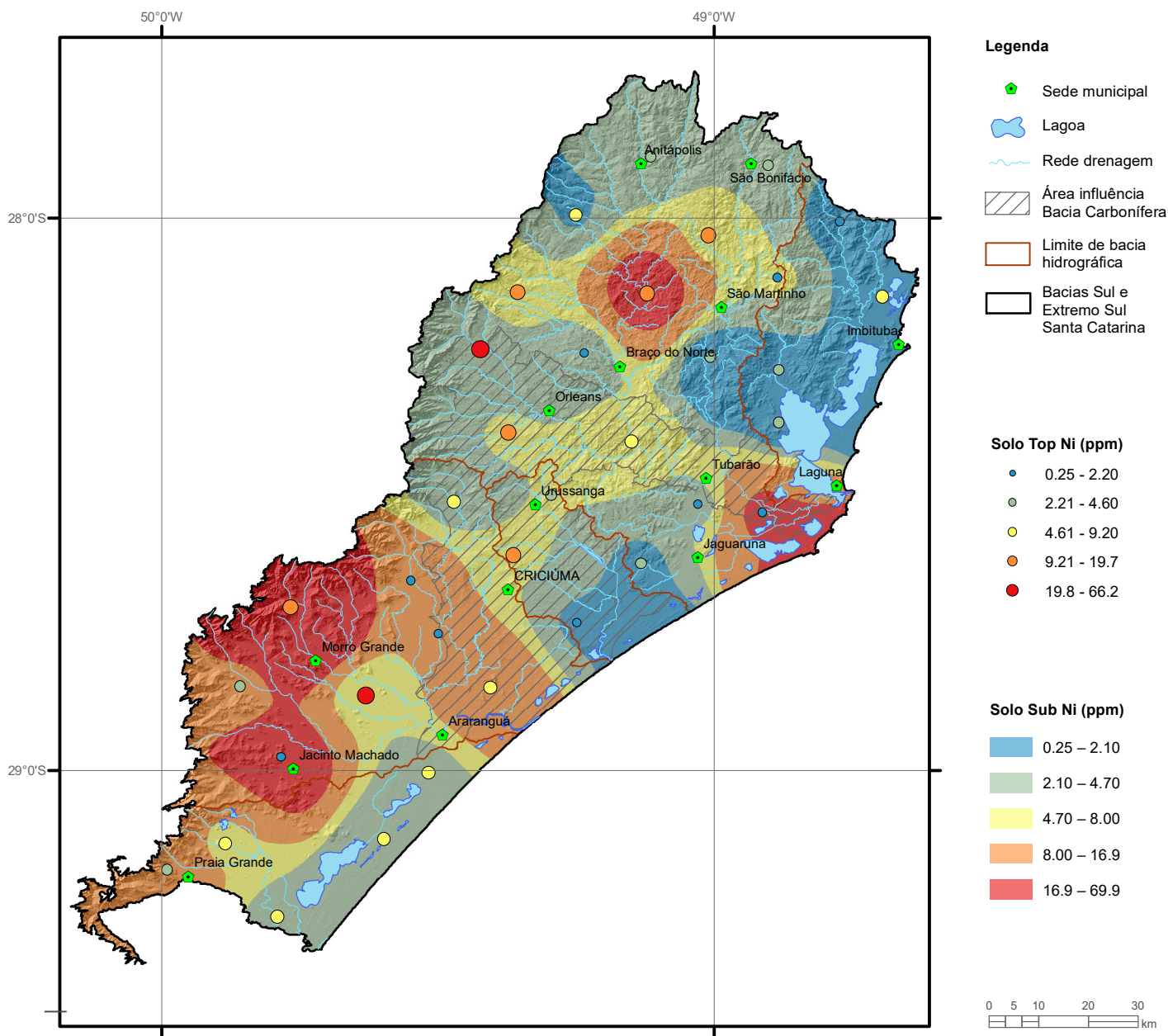
Elemento	Ni (mg/L)
Limite de Detecção	0.002
Número de dados	72
Número de dados > LD	4
Valor Mínimo	0.001
Valor Máximo	0.173
Média	0.005
Desvio Padrão	0.021
Quartil Superior	0.001
Mediana	0.001
Quartil Inferior	0.001
CONAMA 357/2005 (II)	0.025
Portaria MS 2914/2011	0.070



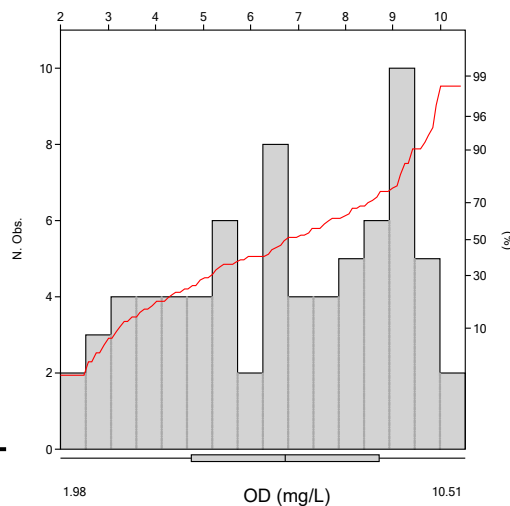
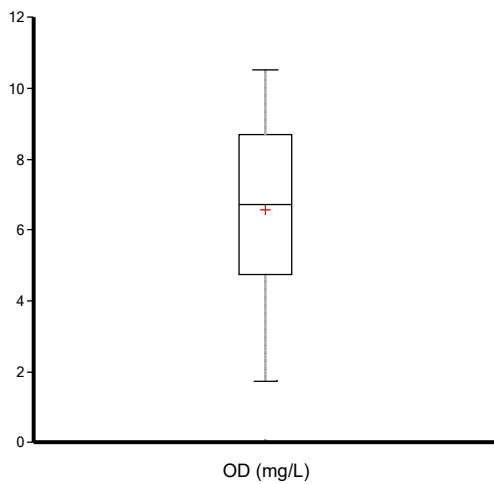
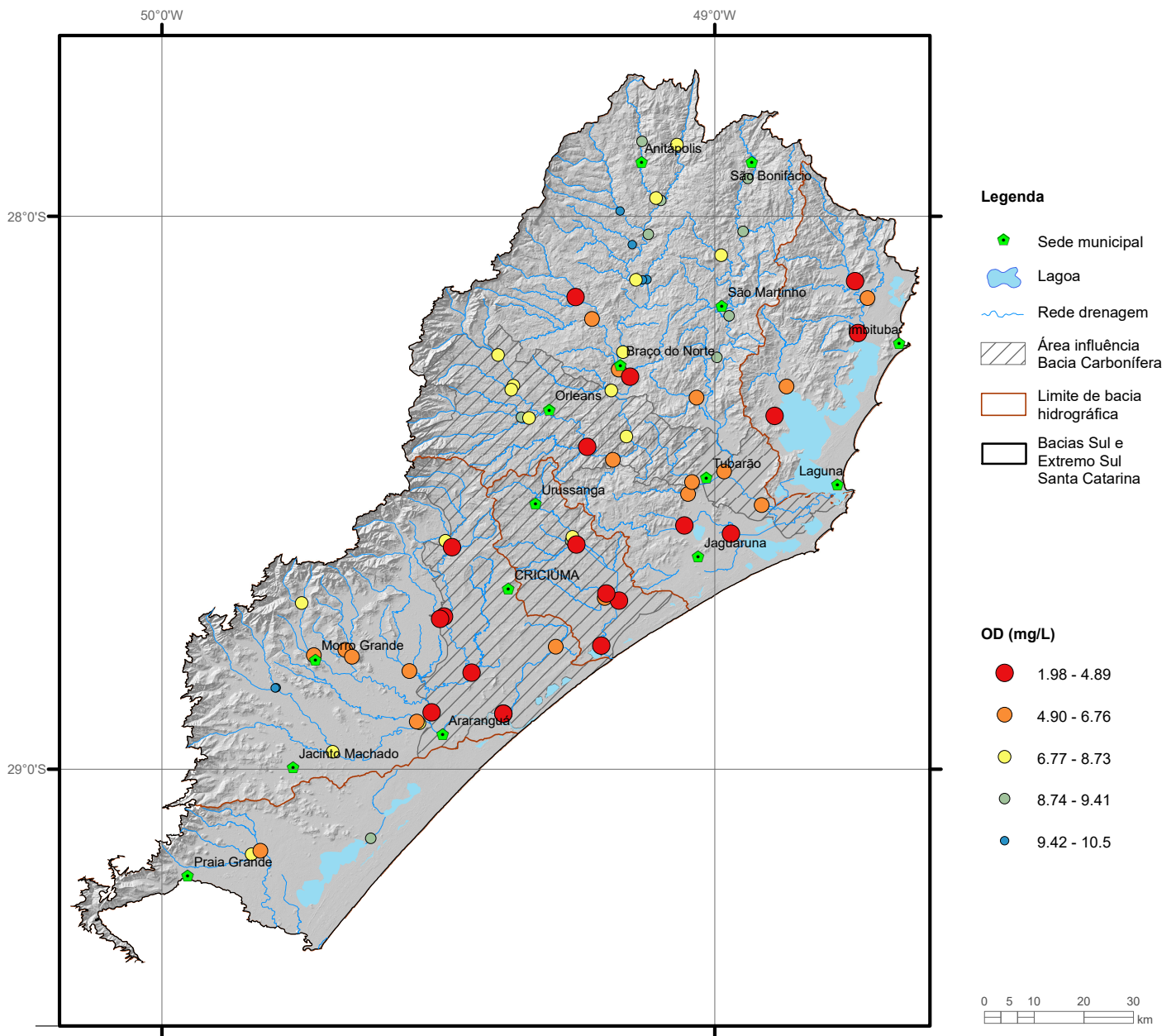
Estatística Descritiva	
Elemento	Ni (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.00001
Valor Máximo	0.702
Média	0.051
Desvio Padrão	0.115
Quartil Superior	0.033
Mediana	0.010
Quartil Inferior	0.004



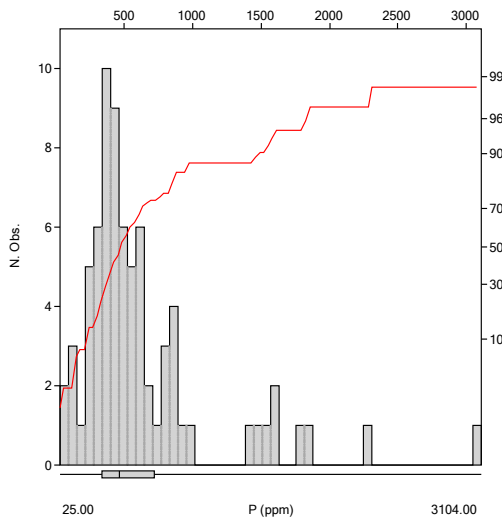
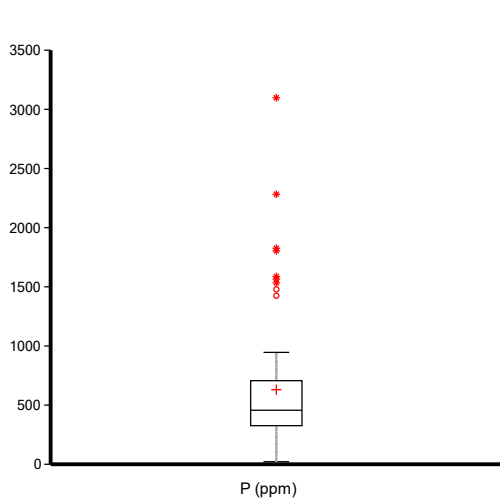
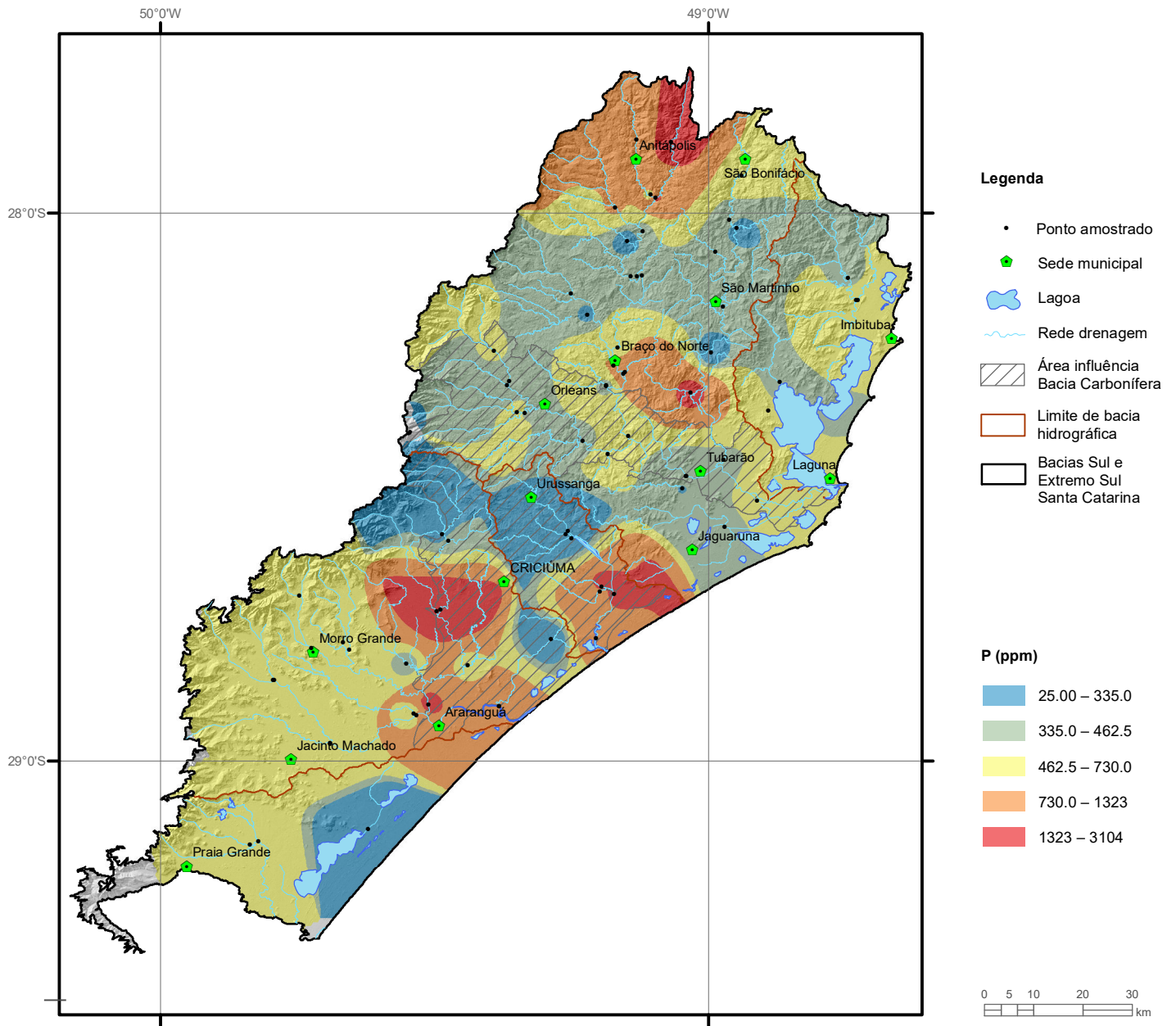
Elemento	Ni (ppm)
Limite de Detecção	0.5
Número de dados	74
Número de dados > LD	73
Valor Mínimo	0.25
Valor Máximo	22.30
Média	9.03
Desvio Padrão	5.68
Quartil Superior	12.60
Mediana	7.65
Quartil Inferior	4.60
Clarke	99
CONAMA 454/2012 (N1)	18



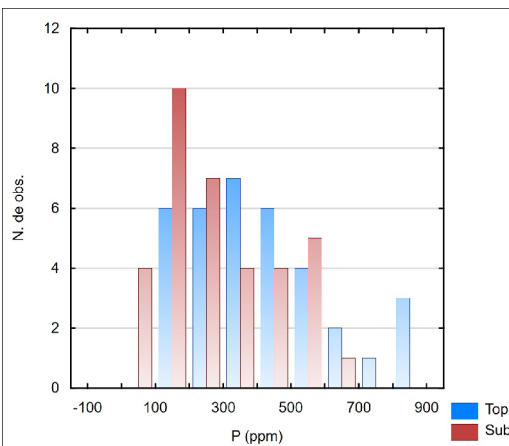
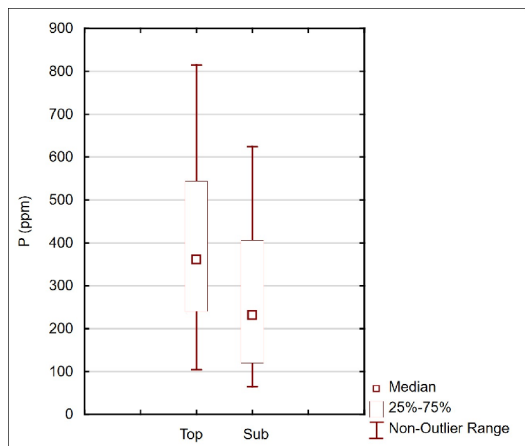
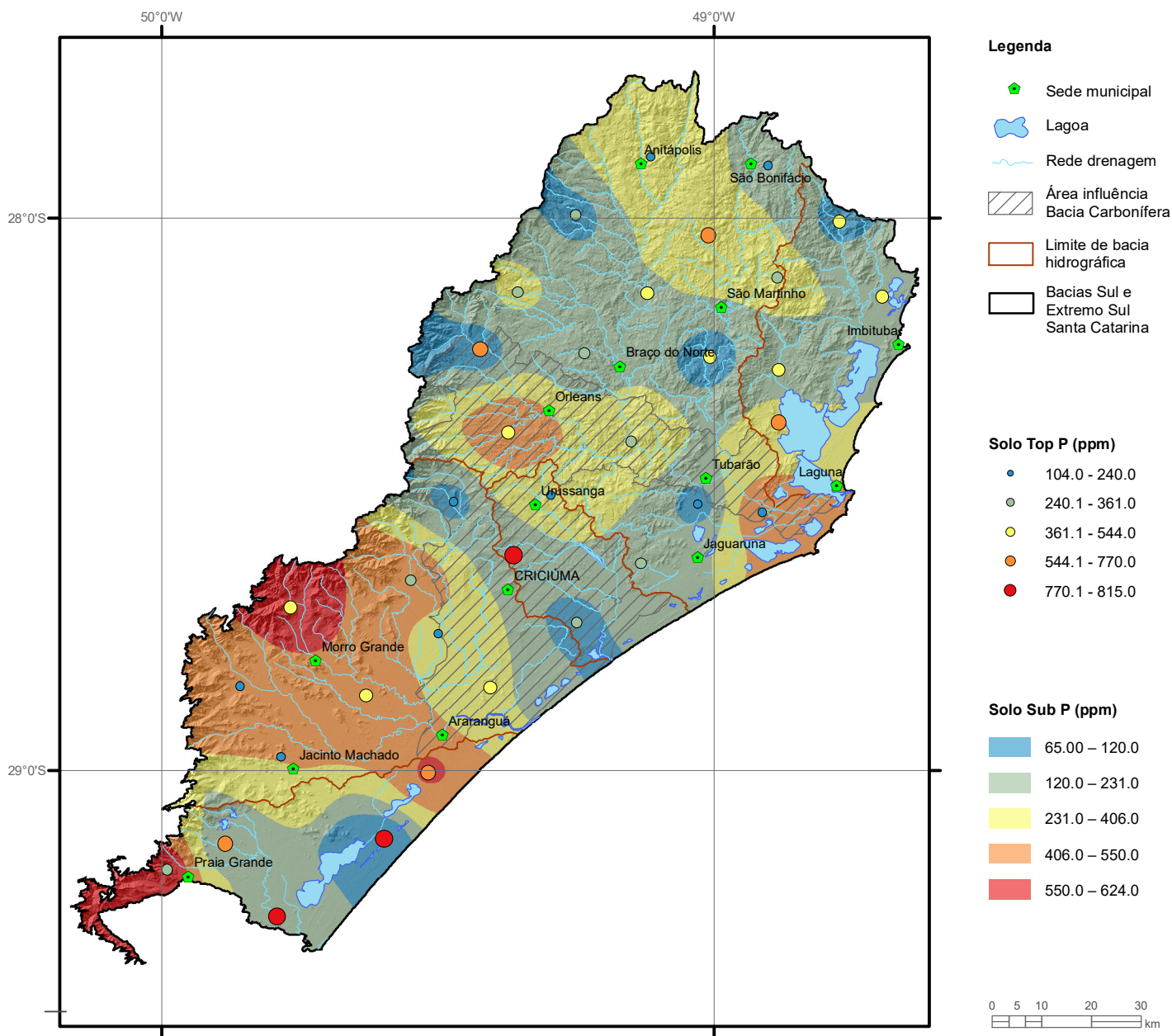
Elemento	Ni (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.5	0.5
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	32	32
Valor Mínimo	0.25	0.25
Valor Máximo	66.2	69.9
Média	7.94	8.23
Desvio Padrão	11.84	12.39
Quartil Superior	9.20	8.00
Mediana	4.60	4.70
Quartil Inferior	2.20	2.10
CONAMA 420/2009 (VP)	30.0	
NOAA/2008 (Eco-SSL)	13.6	



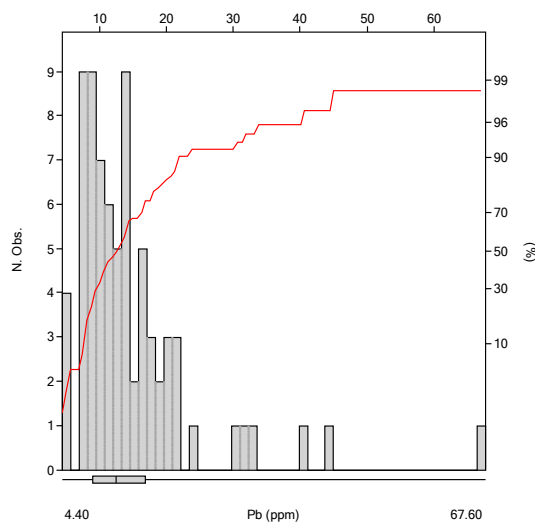
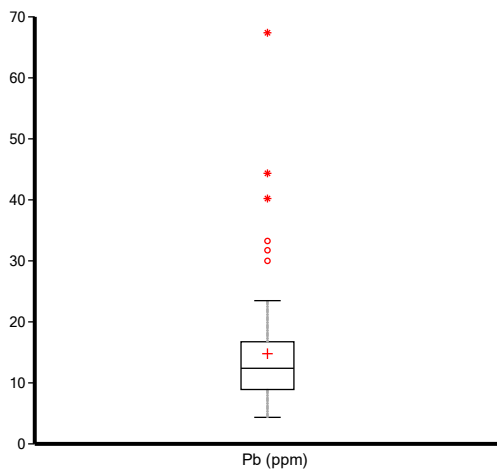
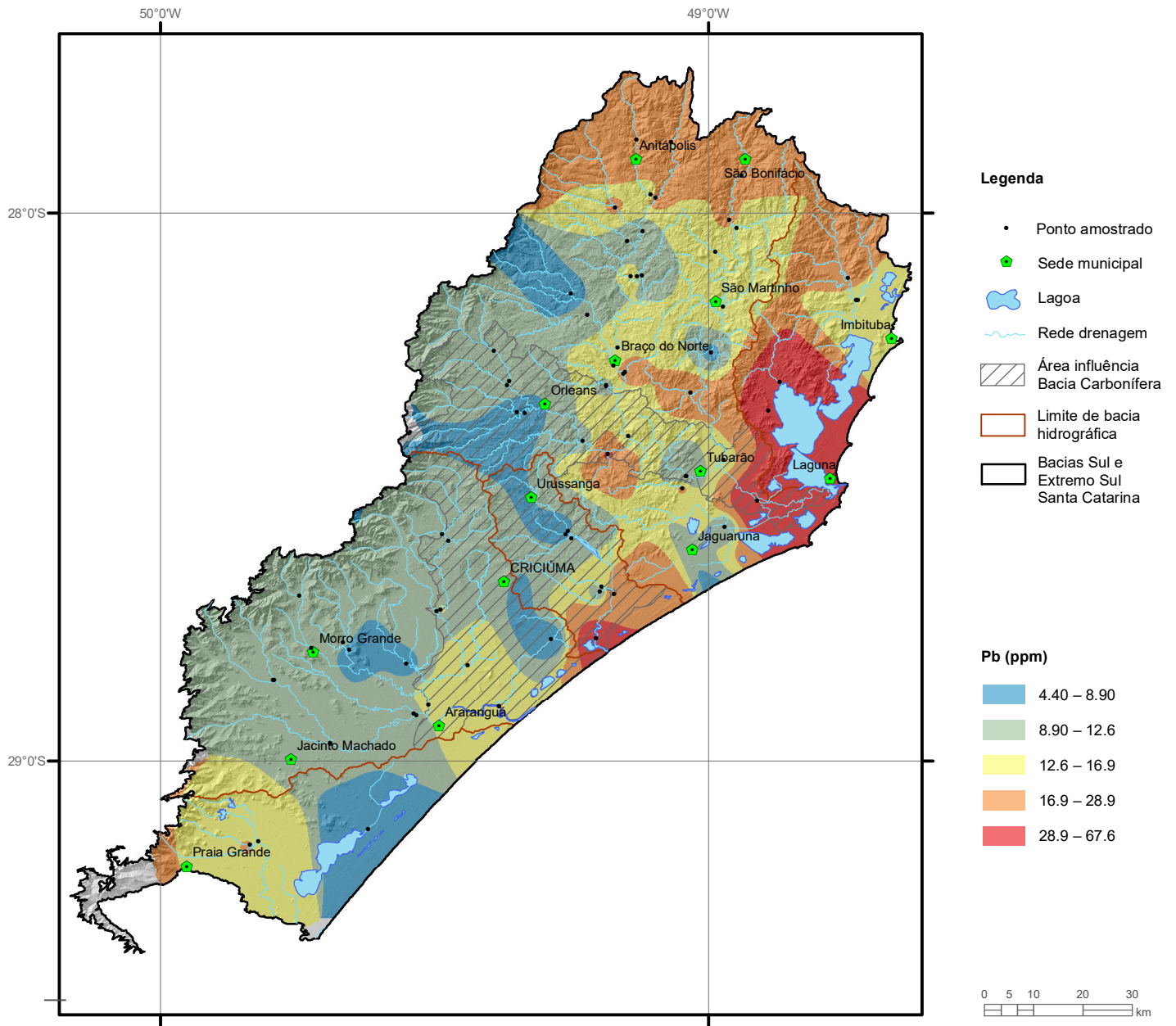
Elemento	OD (mg/L)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	73
Número de dados > LD	73
Valor Mínimo	1.98
Valor Máximo	10.5
Média	6.67
Desvio Padrão	2.32
Quartil Superior	8.73
Mediana	6.76
Quartil Inferior	4.89
CONAMA 357/2005 (II)	> 5



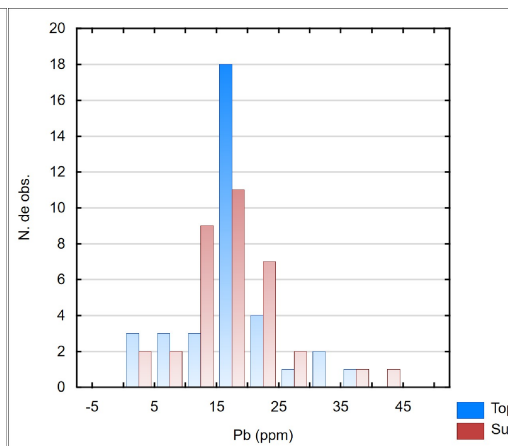
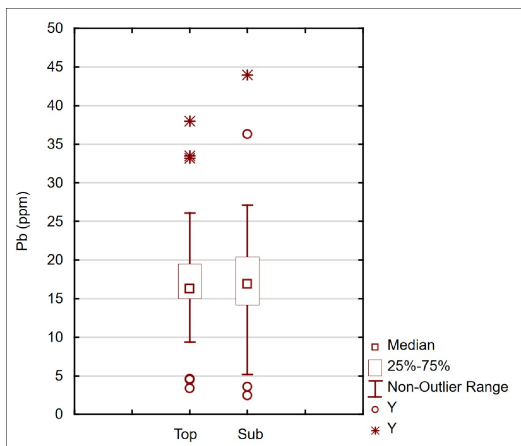
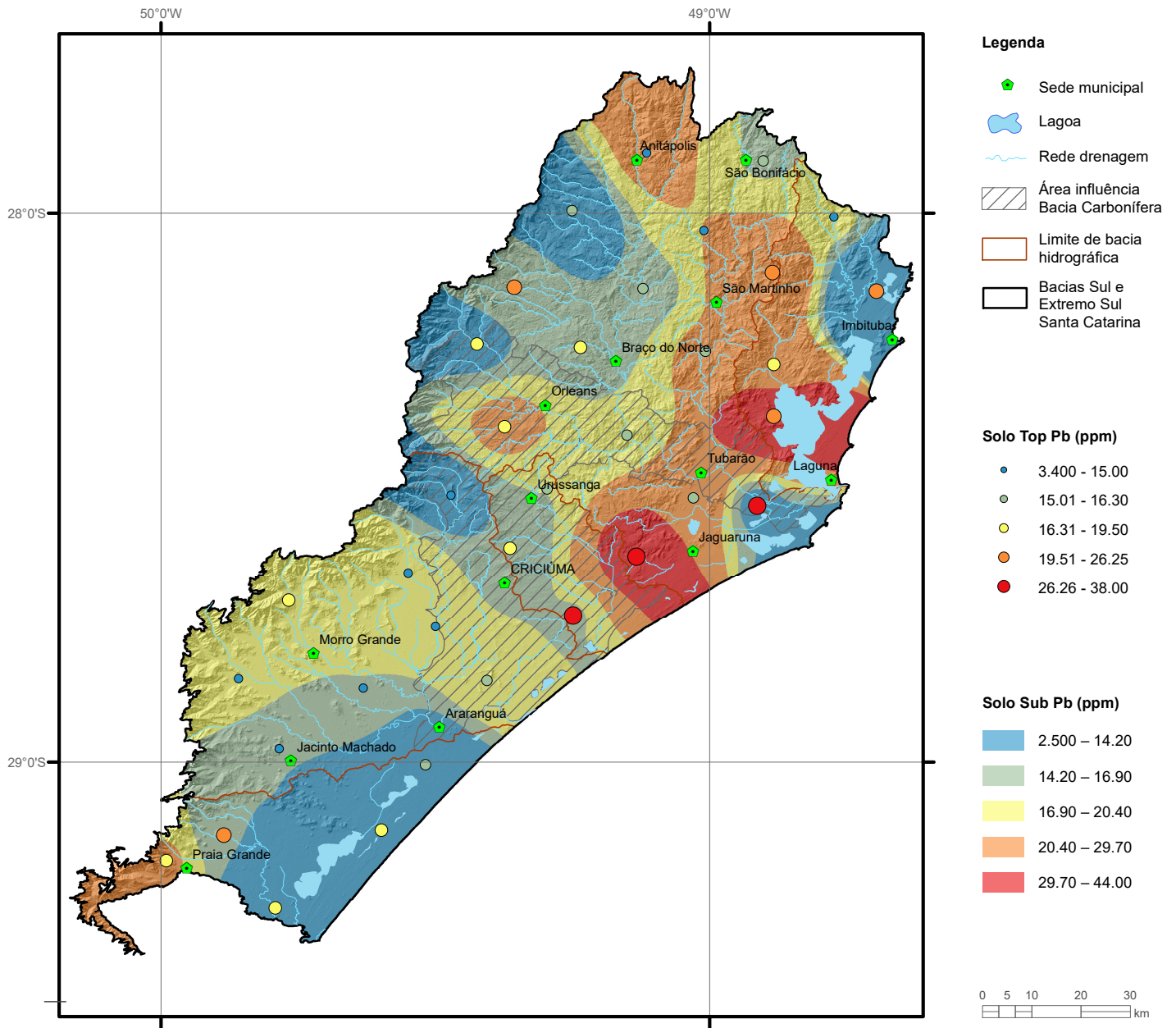
Elemento	P (ppm)
Limite de Detecção	50
Número de dados	74
Número de dados > LD	73
Valor Mínimo	25.0
Valor Máximo	3104.0
Média	632.0
Desvio Padrão	530.4
Quartil Superior	730.0
Mediana	462.5
Quartil Inferior	335.0
Clarke	700
CONAMA 454/2012 (VA)	2000



Elemento	P (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	50	50
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	104.0	65.00
Valor Máximo	815.0	624.0
Média	398.0	283.1
Desvio Padrão	203.7	171.6
Quartil Superior	544.0	406.0
Mediana	361.0	231.0
Quartil Inferior	240.0	120.0
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-

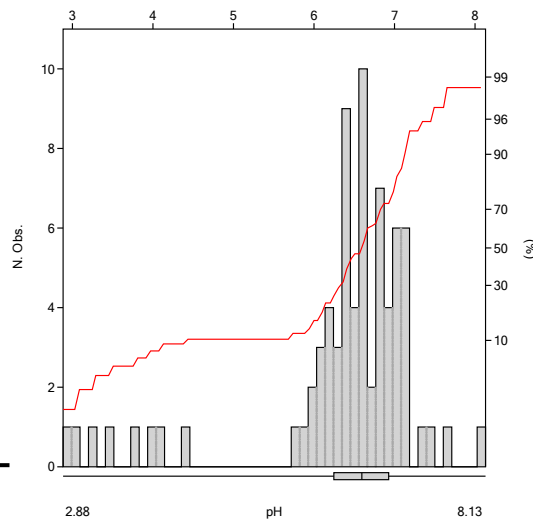
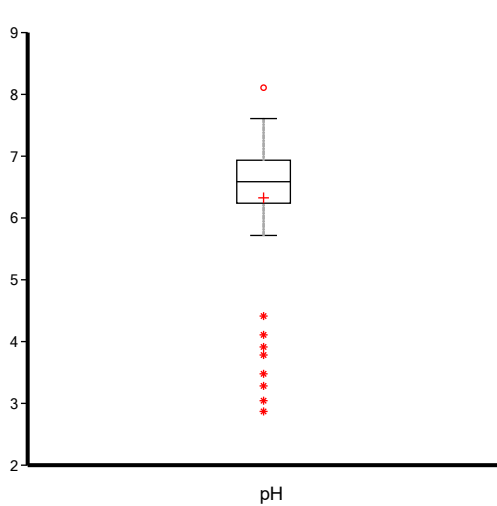
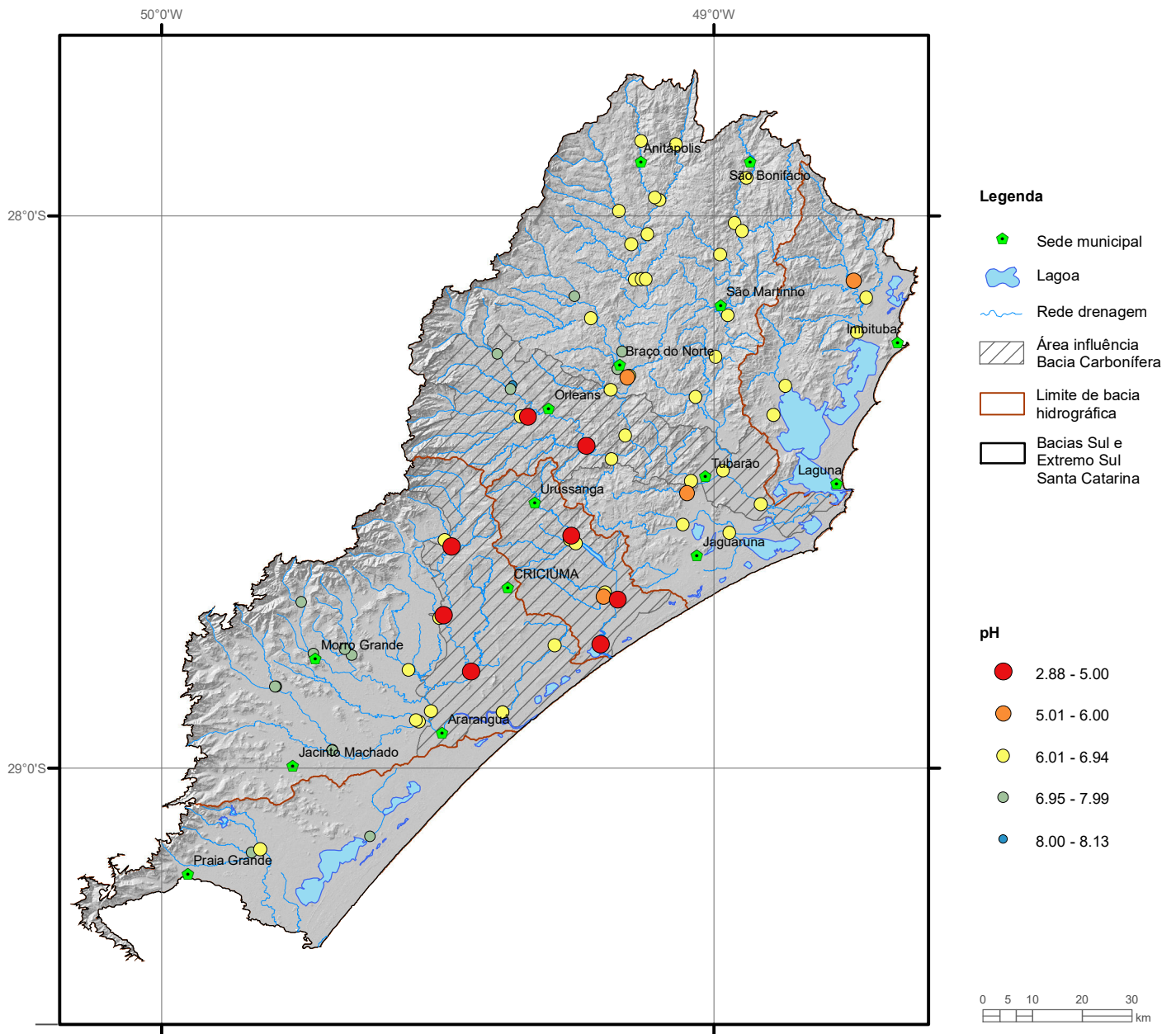


Elemento	Pb (ppm)
Limite de Detecção	0.2
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	4.40
Valor Máximo	67.60
Média	14.81
Desvio Padrão	9.80
Quartil Superior	16.90
Mediana	12.60
Quartil Inferior	8.90
Clarke	13
CONAMA 454/2012 (N1)	35



Elemento	Pb (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.2	0.2
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	3.400	2.500
Valor Máximo	38.00	44.00
Média	17.26	17.56
Desvio Padrão	7.5	8.0
Quartil Superior	19.50	20.40
Mediana	16.30	16.90
Quartil Inferior	15.00	14.20
CONAMA 420/2009 (VP)	72	
NOAA/2008 (Target)	55	

POTENCIAL DE HIDROGÊNIO pH Água Superficial

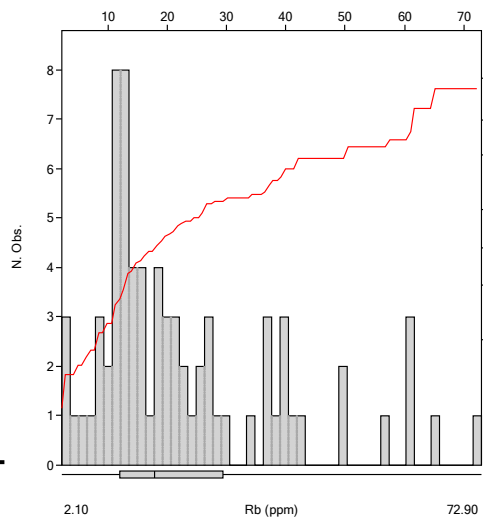
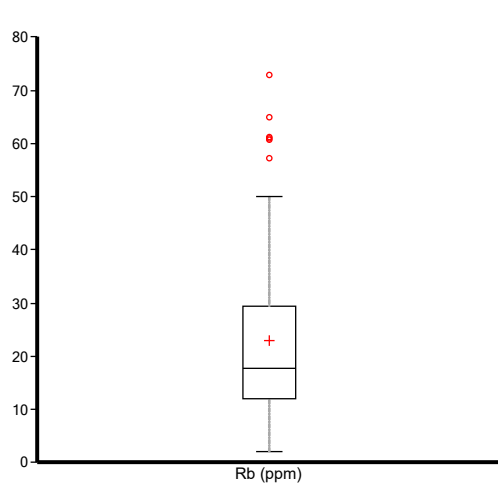
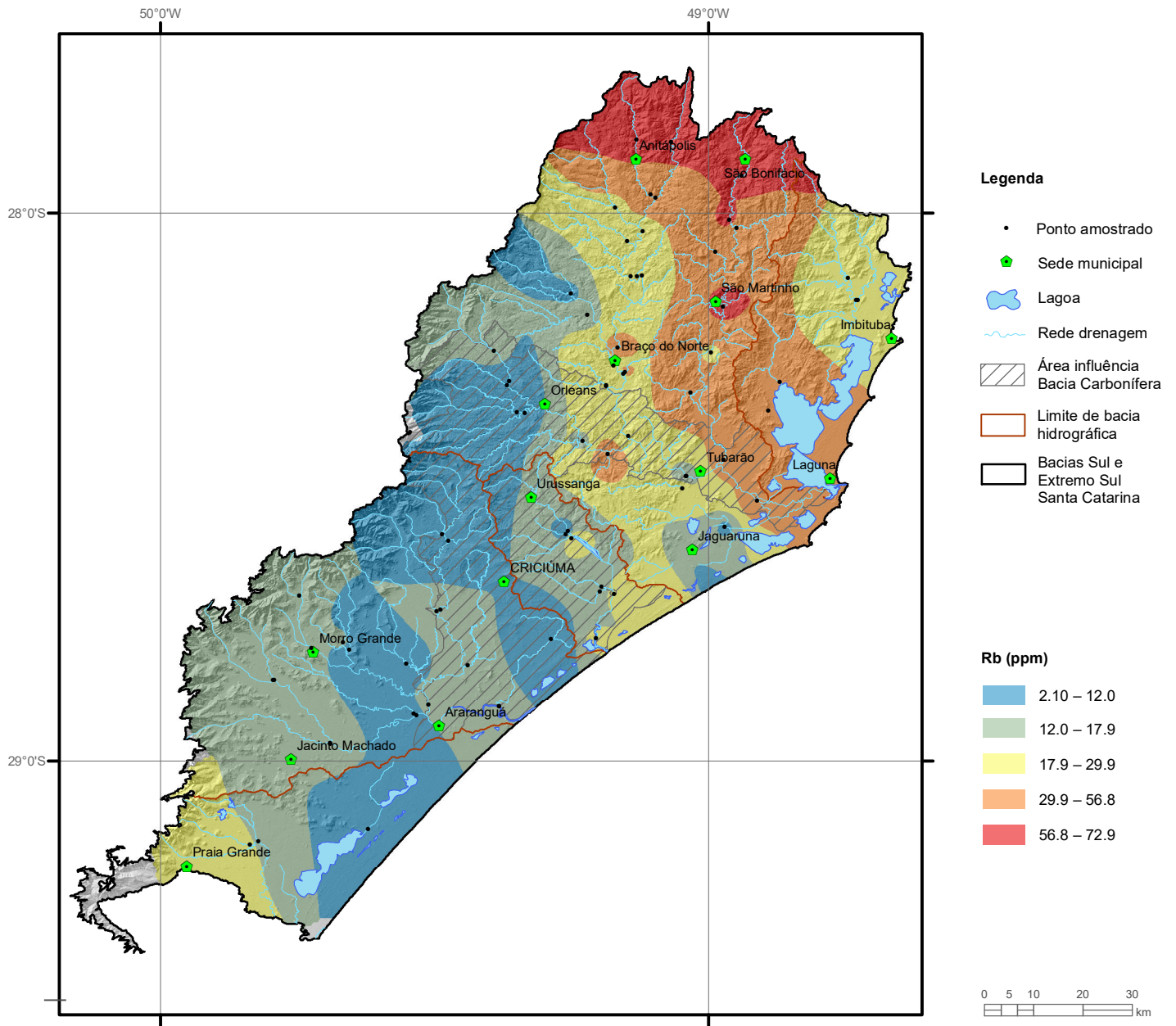


Elemento	pH
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	2.88
Valor Máximo	8.13
Média	6.33
Desvio Padrão	1.05
Quartil Superior	6.94
Mediana	6.60
Quartil Inferior	6.24
CONAMA 357/2005 (II)	6 a 9
Portaria MS 2914/2011	6 a 9

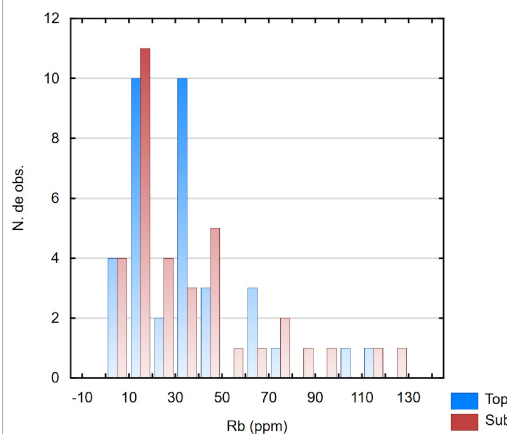
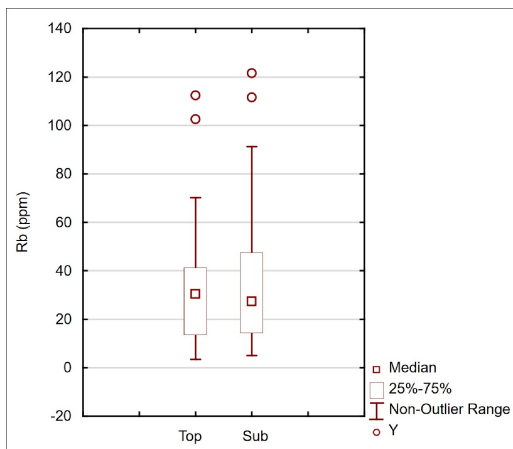
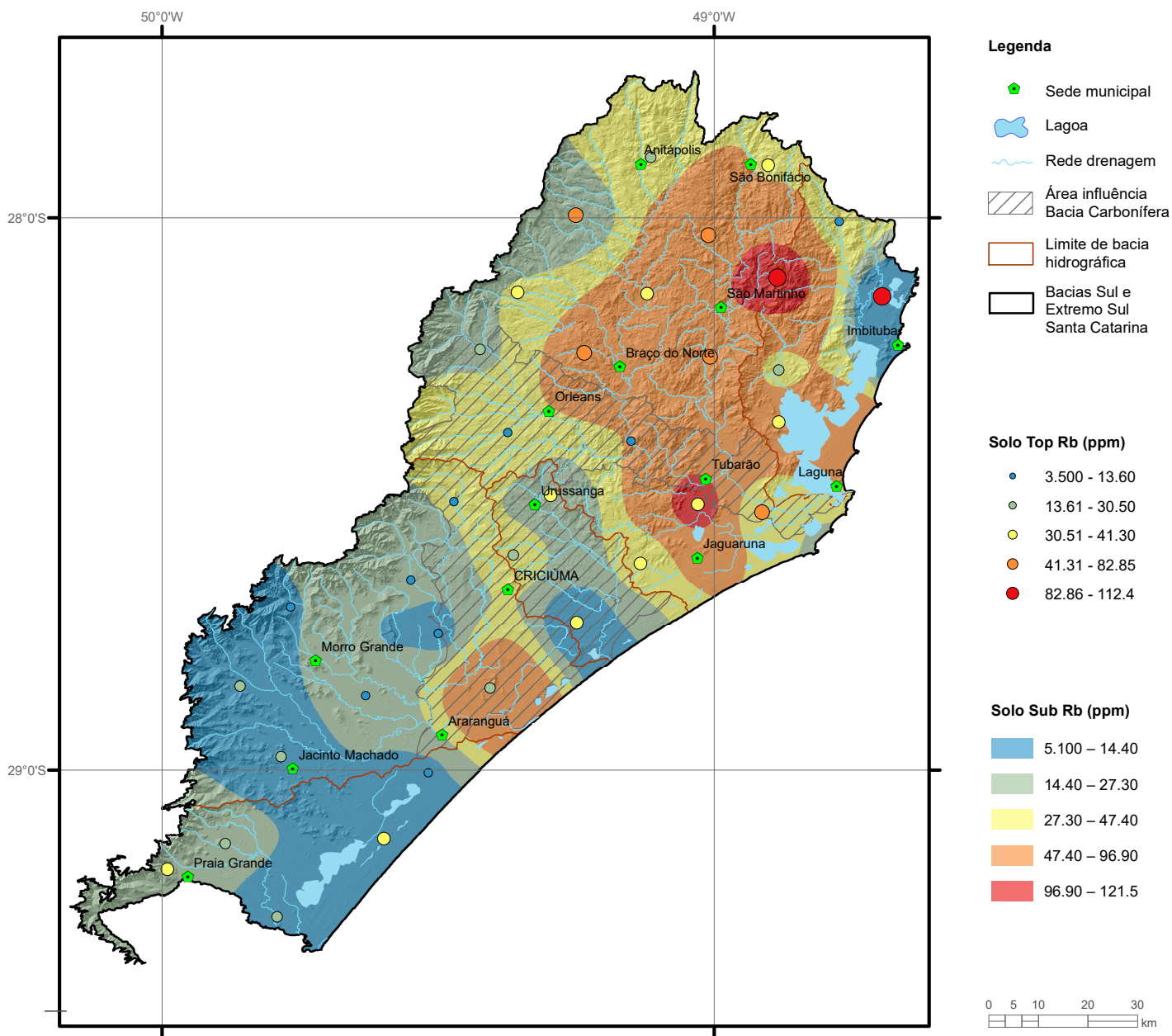
RUBÍDIO

Rb

Sedimento



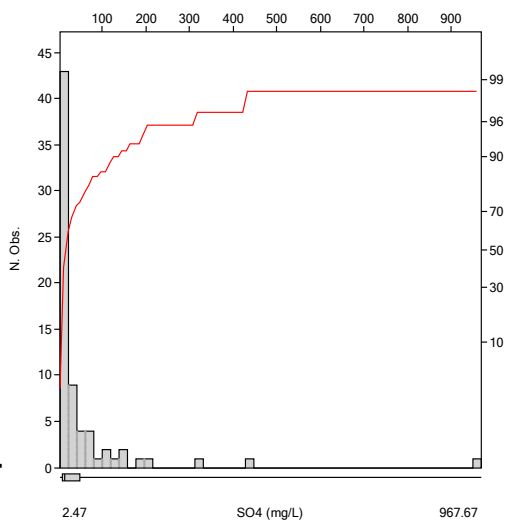
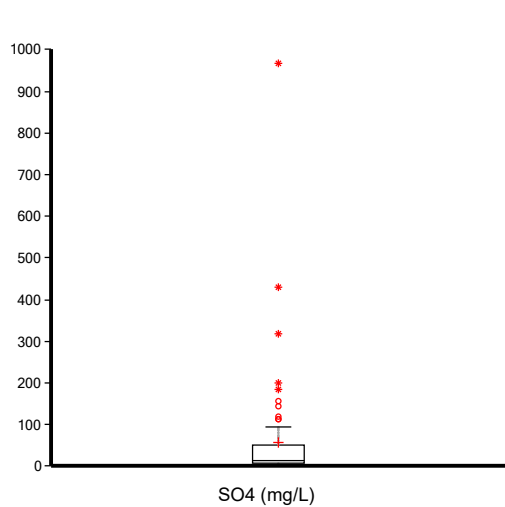
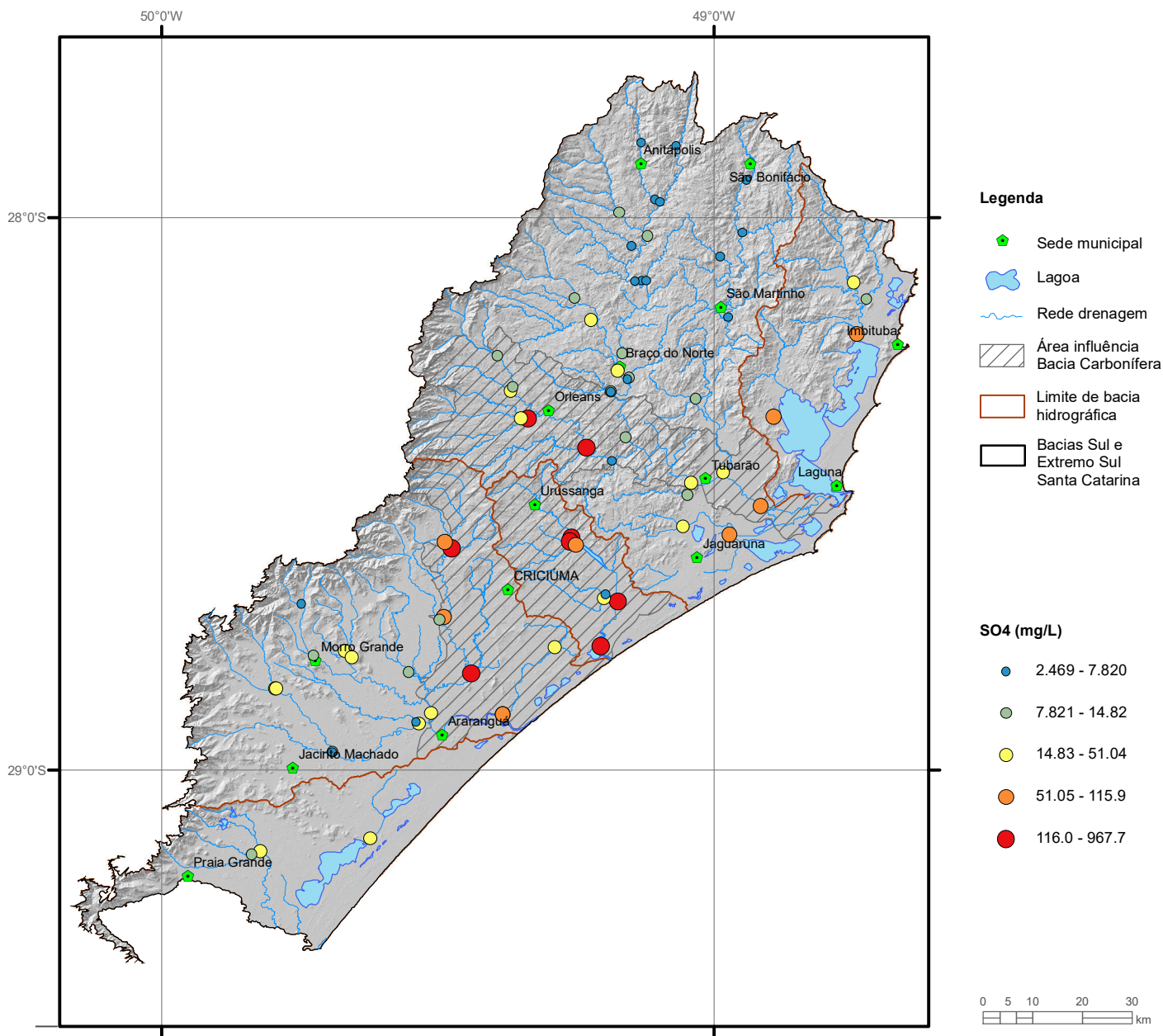
Elemento	Rb (ppm)
Limite de Detecção	0.2
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	2.10
Valor Máximo	72.90
Média	23.10
Desvio Padrão	16.37
Quartil Superior	29.90
Mediana	17.85
Quartil Inferior	12.00
Clarke	78
CONAMA 454/2012	-



Elemento	Rb (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.2	0.2
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	3.500	5.100
Valor Máximo	112.4	121.5
Média	32.87	37.09
Desvio Padrão	25.6	30.4
Quartil Superior	41.30	47.40
Mediana	30.50	27.30
Quartil Inferior	13.60	14.40
CONAMA 420/2009	-	-
NOAA/2008	-	-

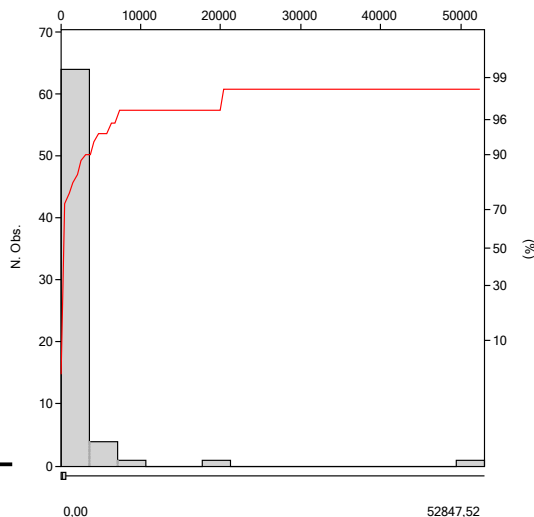
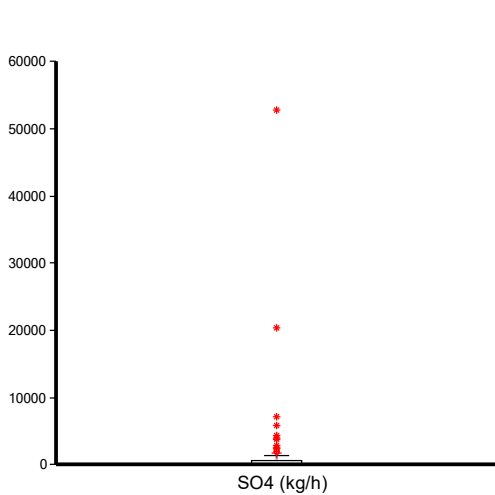
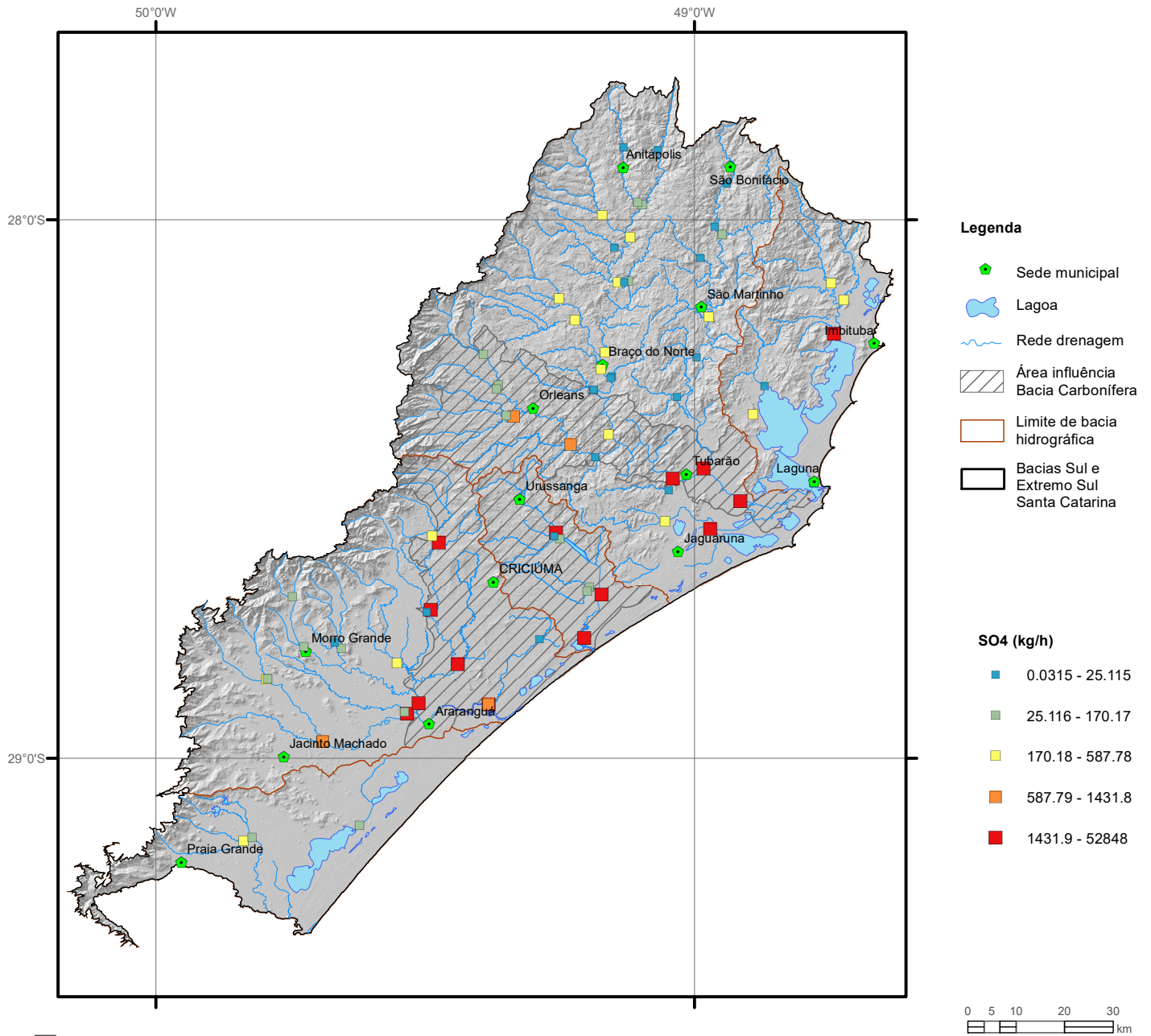
SULFATO SO₄

Água Superficial

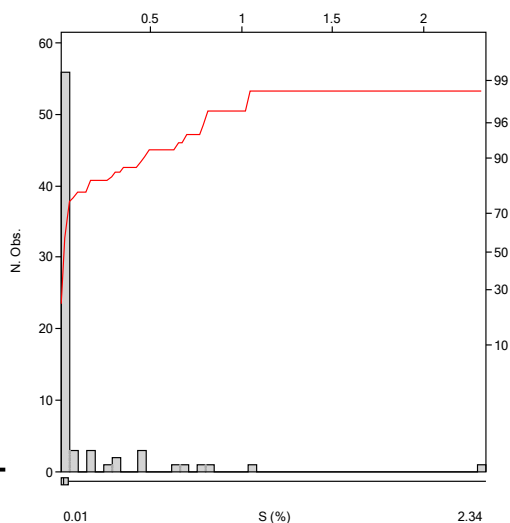
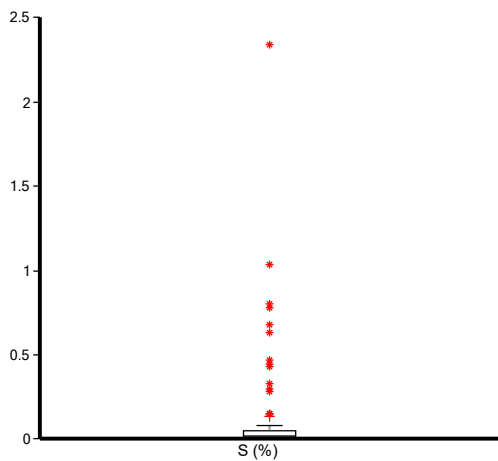
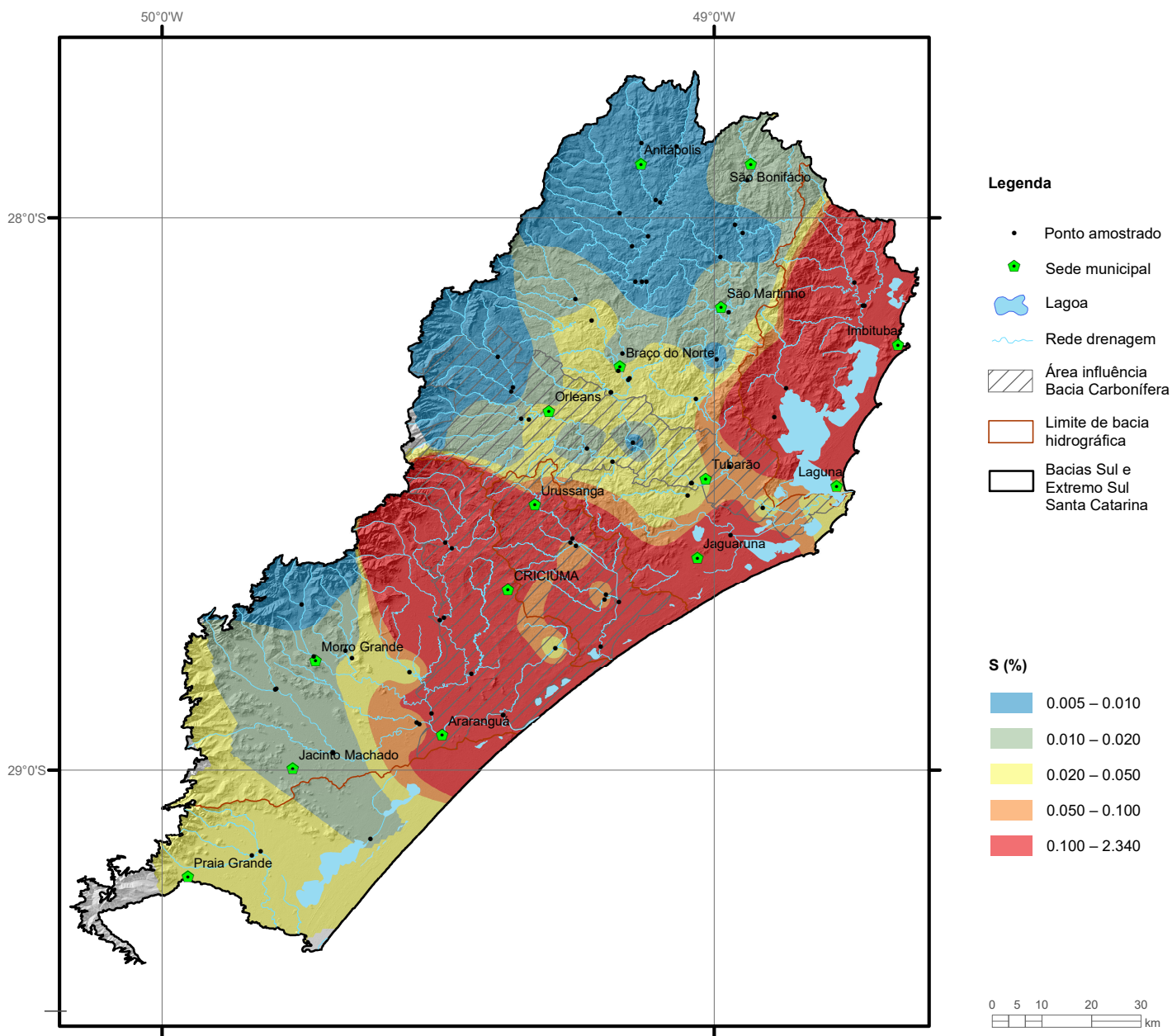


Elemento	SO ₄ (mg/L)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	71
Número de dados > LD	71
Valor Mínimo	2.469
Valor Máximo	967.7
Média	56.9
Desvio Padrão	131.3
Quartil Superior	51.04
Mediana	14.82
Quartil Inferior	7.82
CONAMA 357/2005 (II)	250
Portaria MS 2914/2011	250

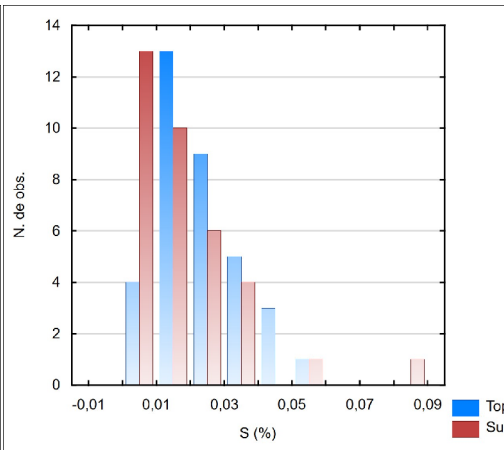
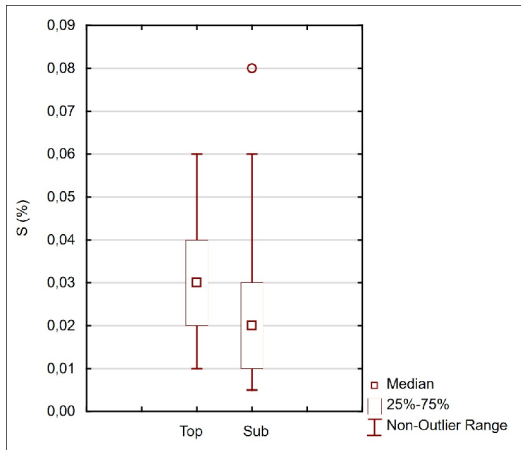
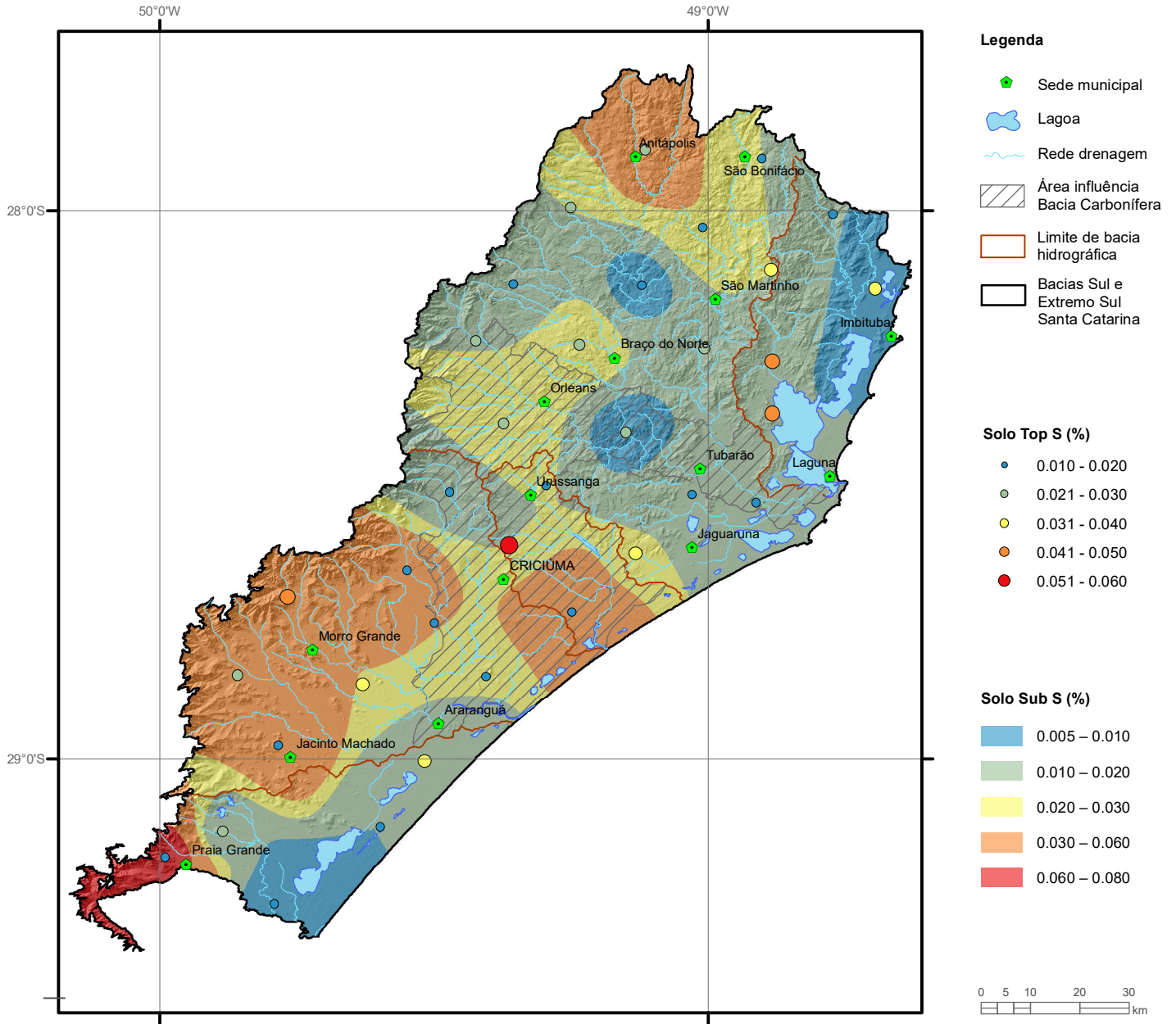
SULFATO SO_4 Carga



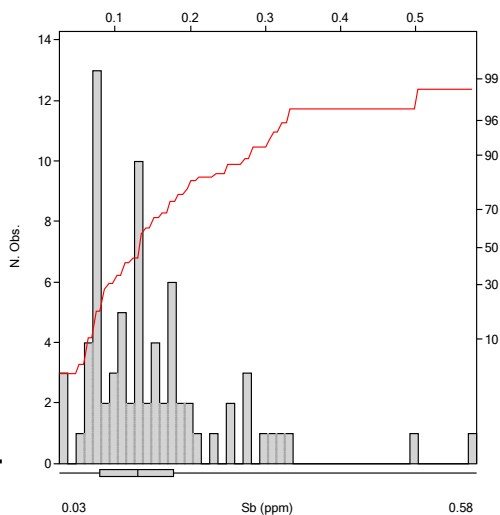
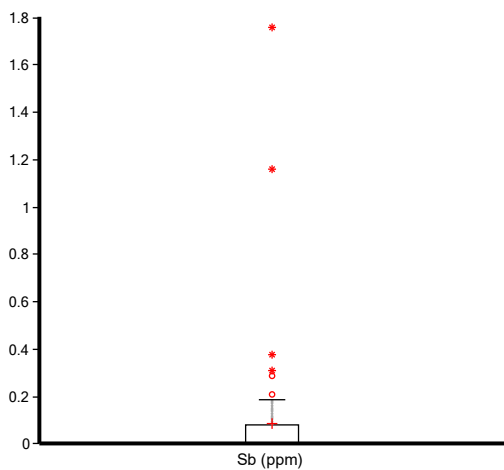
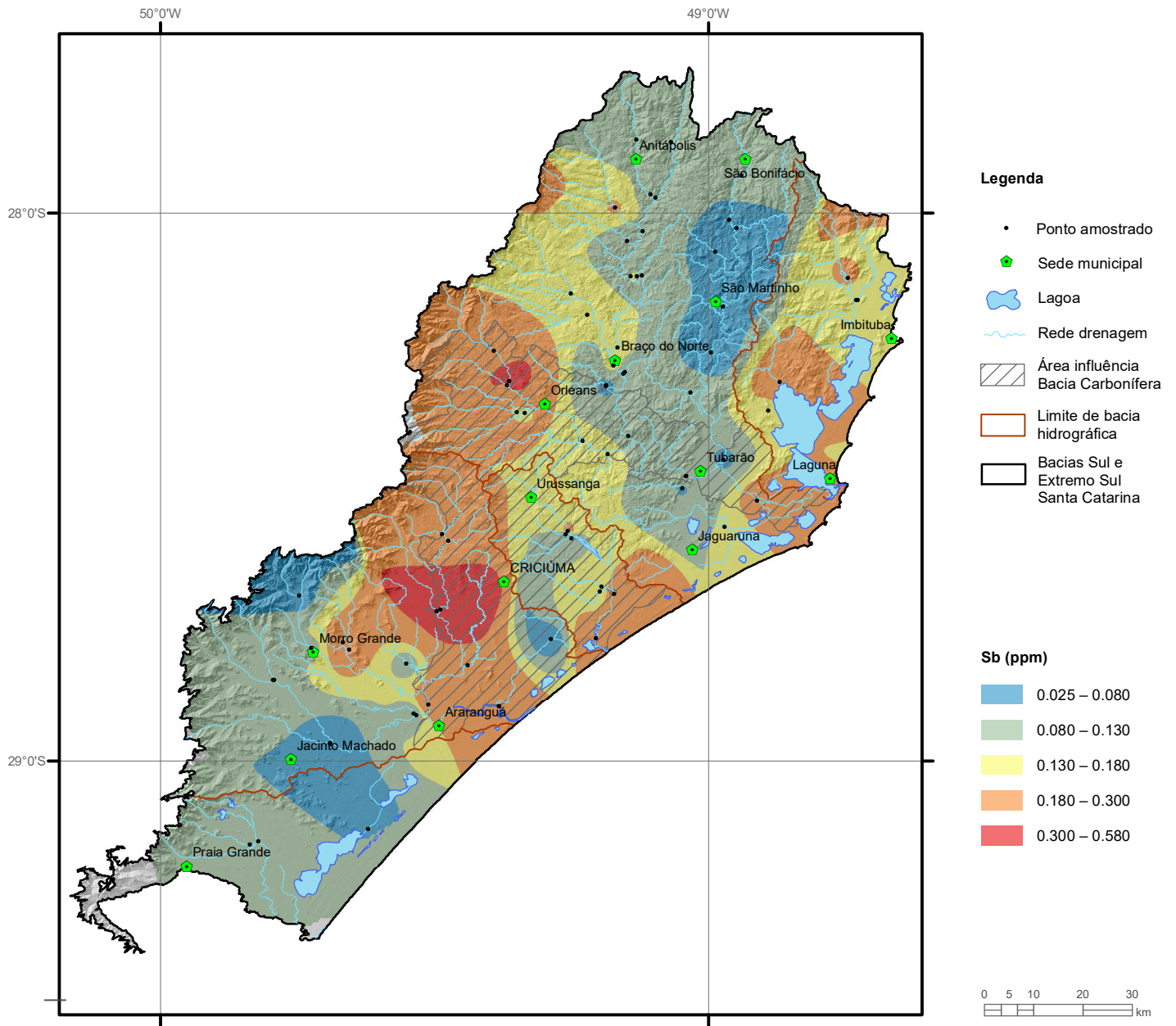
Estatística Descritiva	
Elemento	SO4 (kg/h)
Número de dados	73
Valor Mínimo	0.0315
Valor Máximo	52848
Média	1717.2
Desvio Padrão	6633.8
Quartil Superior	587.78
Mediana	170.17
Quartil Inferior	25.115



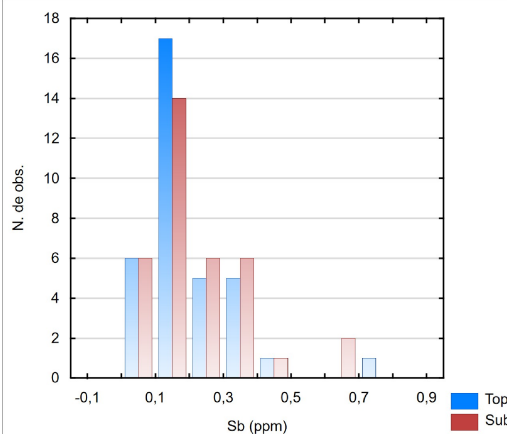
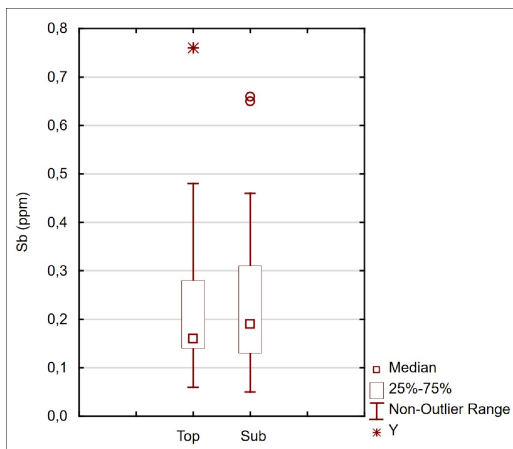
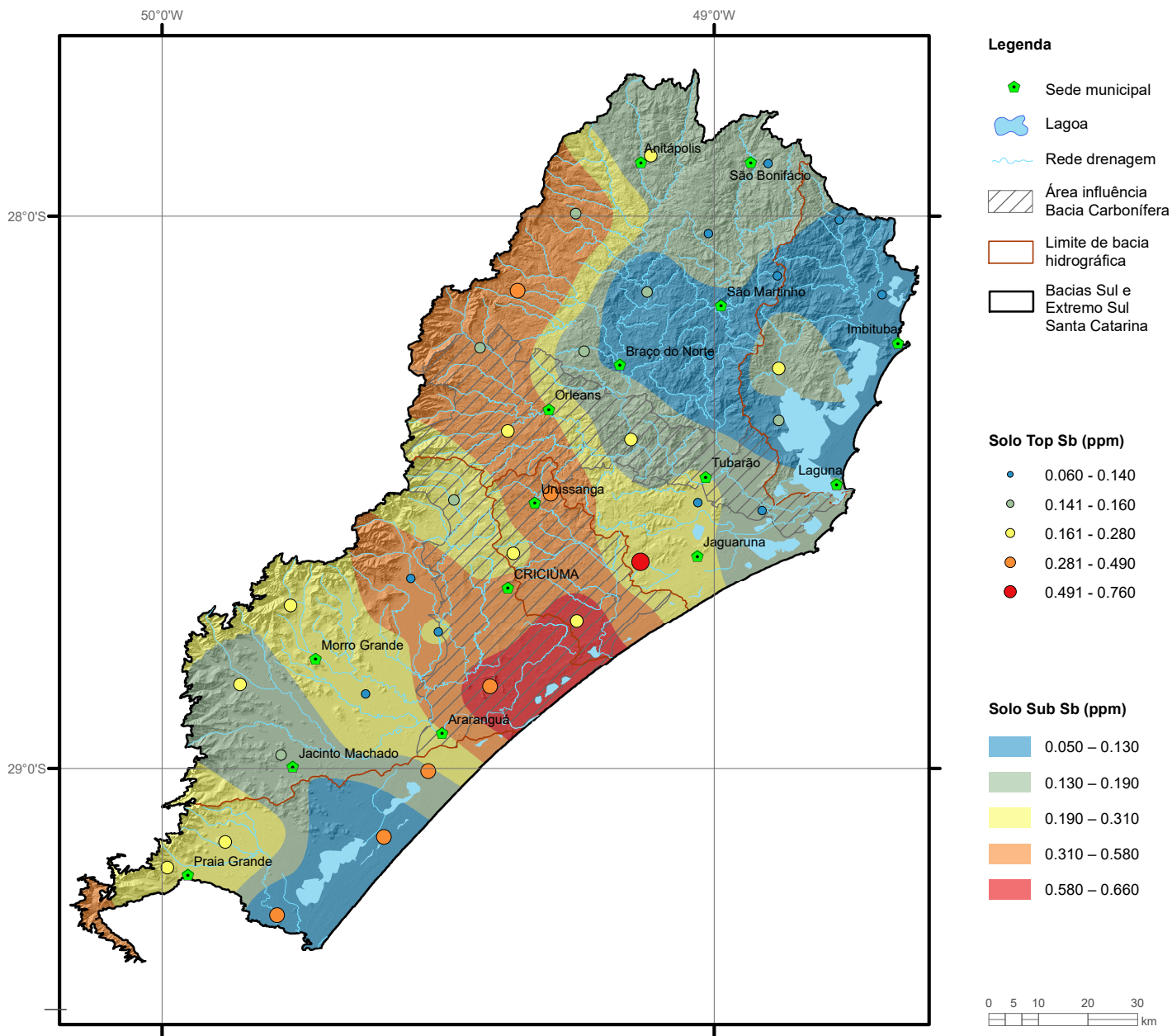
Elemento	S (%)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	56
Valor Mínimo	0.005
Valor Máximo	2.340
Média	0.138
Desvio Padrão	0.336
Quartil Superior	0.050
Mediana	0.020
Quartil Inferior	0.010
Clarke	0.034
NOAA/2008 (UET Sulfeto)	0.013



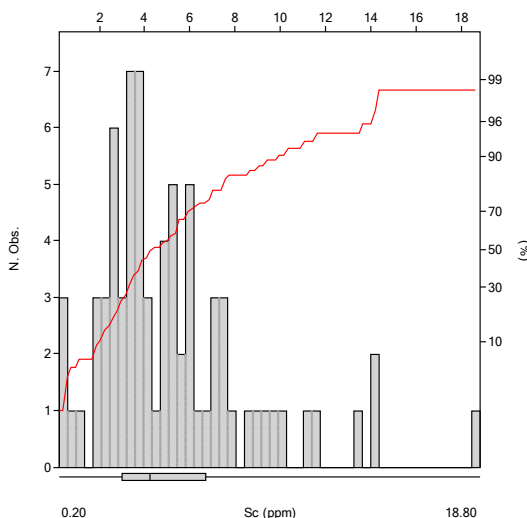
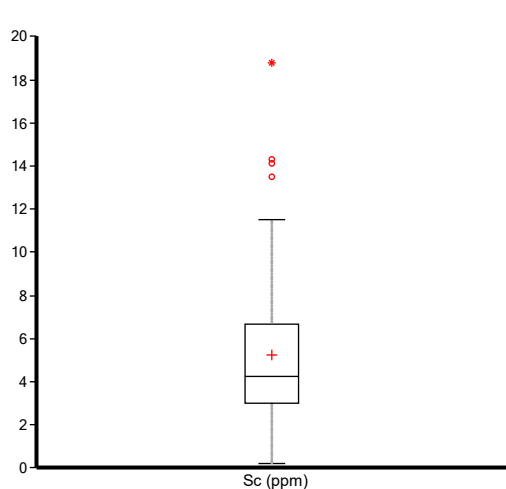
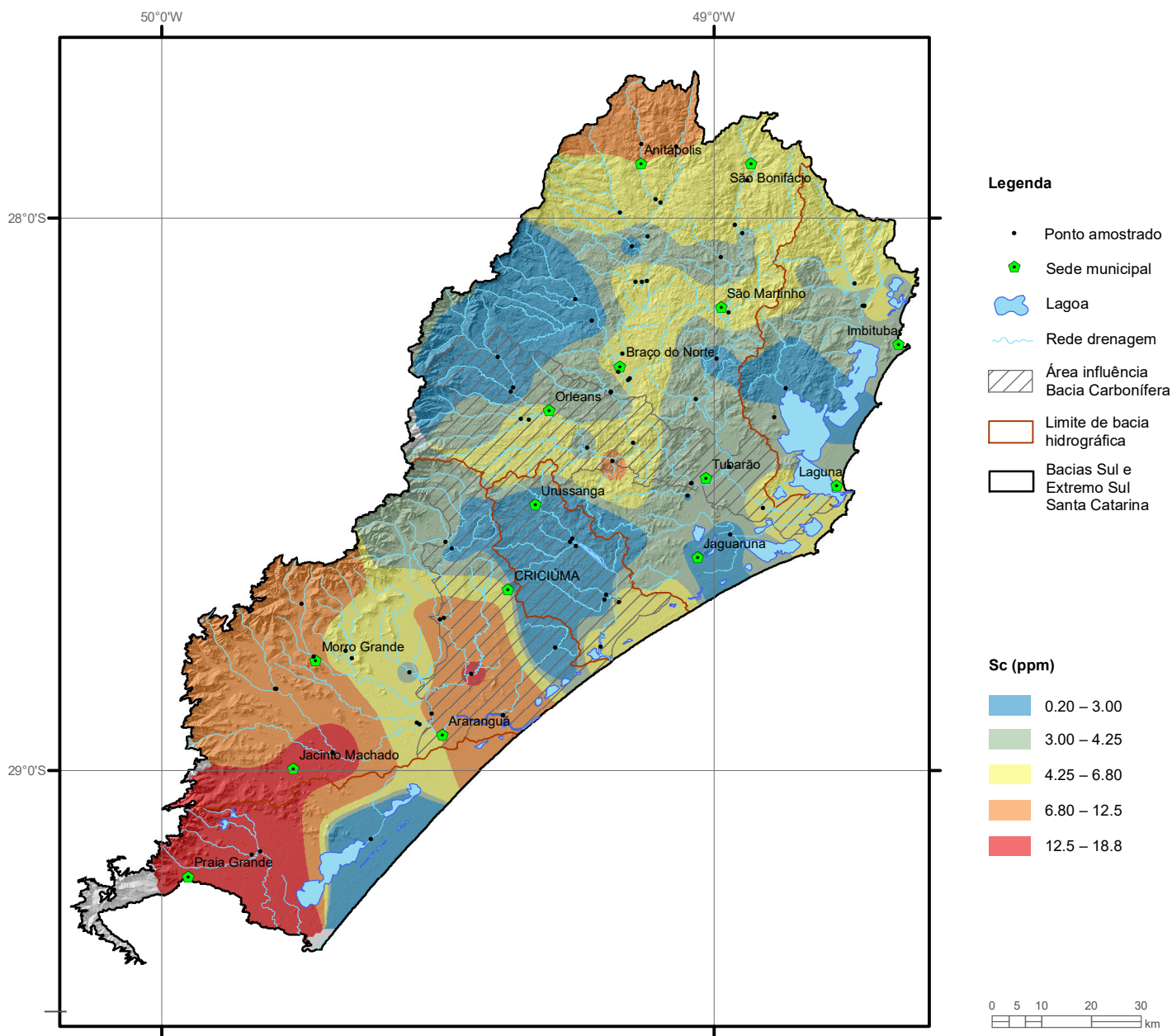
Elemento	S (%)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	31
Valor Mínimo	0.010	0.005
Valor Máximo	0.06	0.08
Média	0.028	0.023
Desvio Padrão	0.01	0.02
Quartil Superior	0.040	0.030
Mediana	0.030	0.020
Quartil Inferior	0.020	0.010
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008 (Background)		0.12



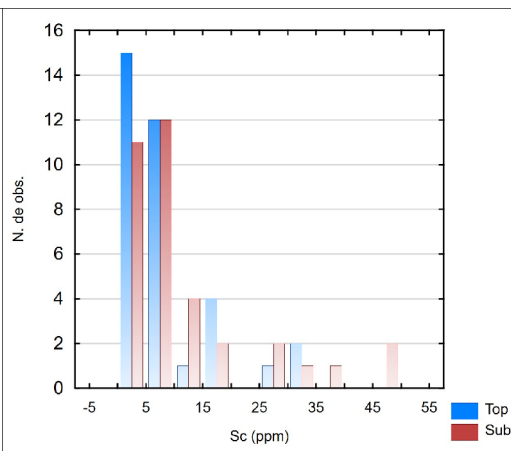
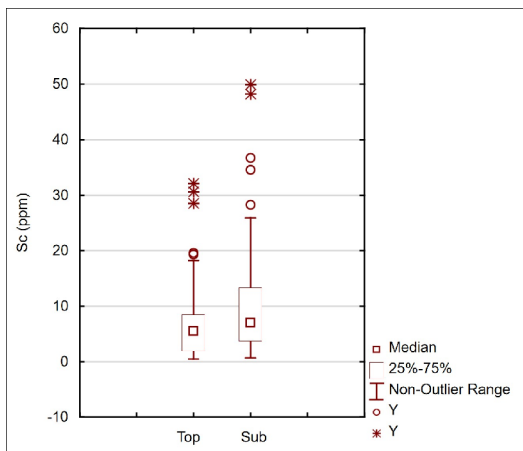
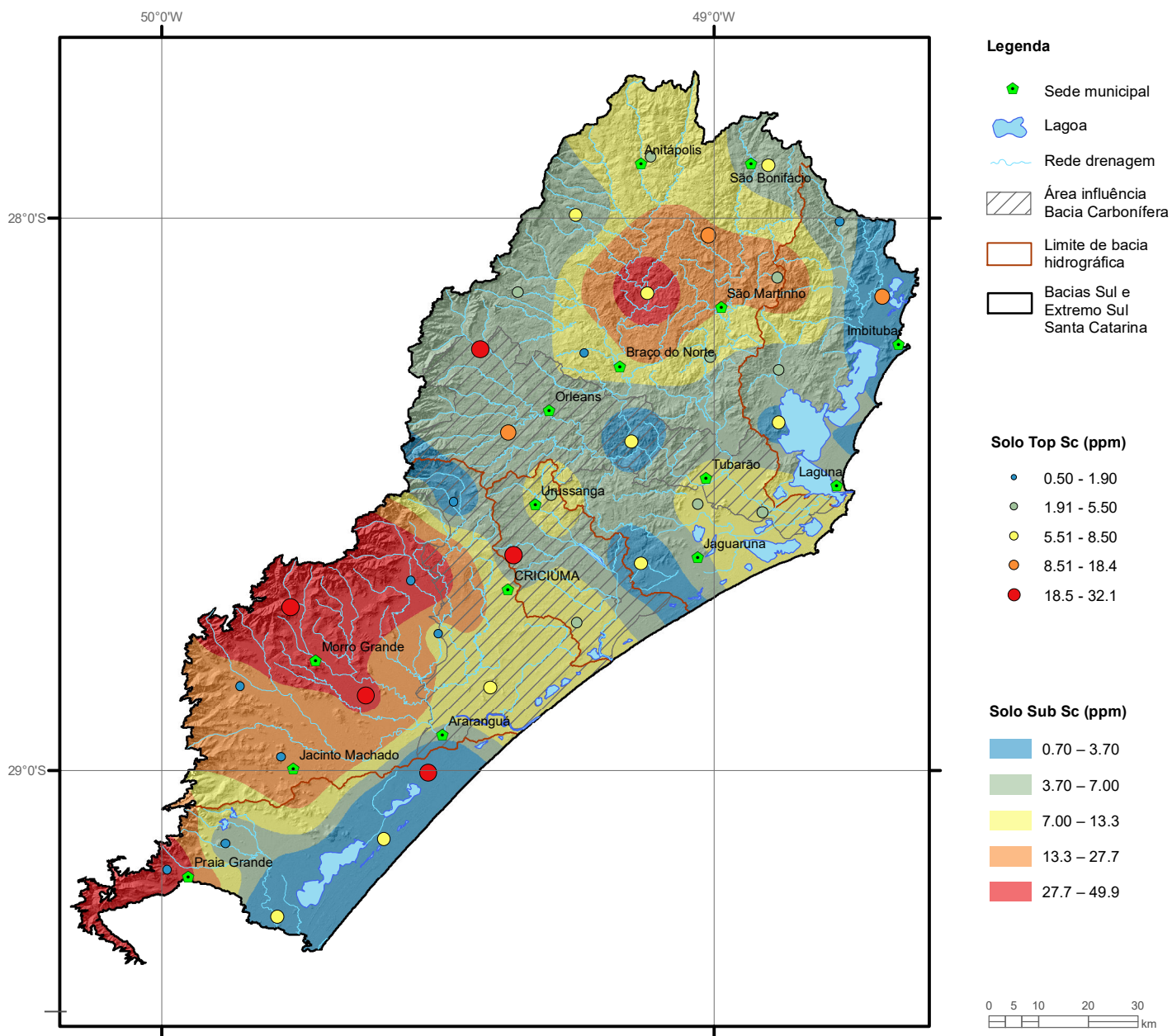
Elemento	Sb (ppm)
Limite de Detecção	0.05
Número de dados	74
Número de dados > LD	71
Valor Mínimo	0.025
Valor Máximo	0.580
Média	0.149
Desvio Padrão	0.098
Quartil Superior	0.180
Mediana	0.130
Quartil Inferior	0.080
Clarke	0.2
NOAA/2008 (UET)	3



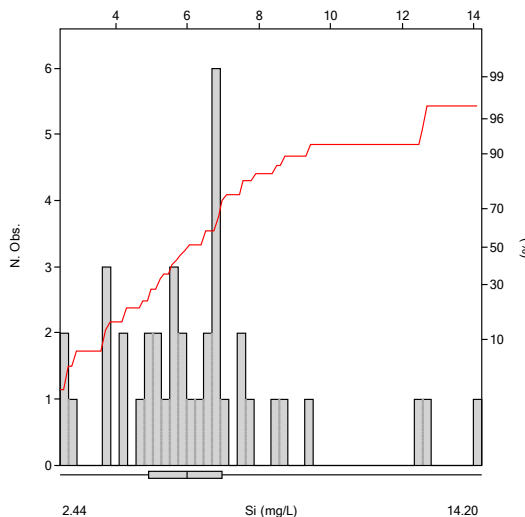
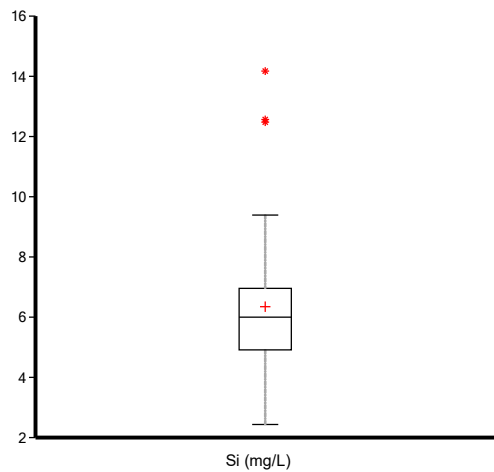
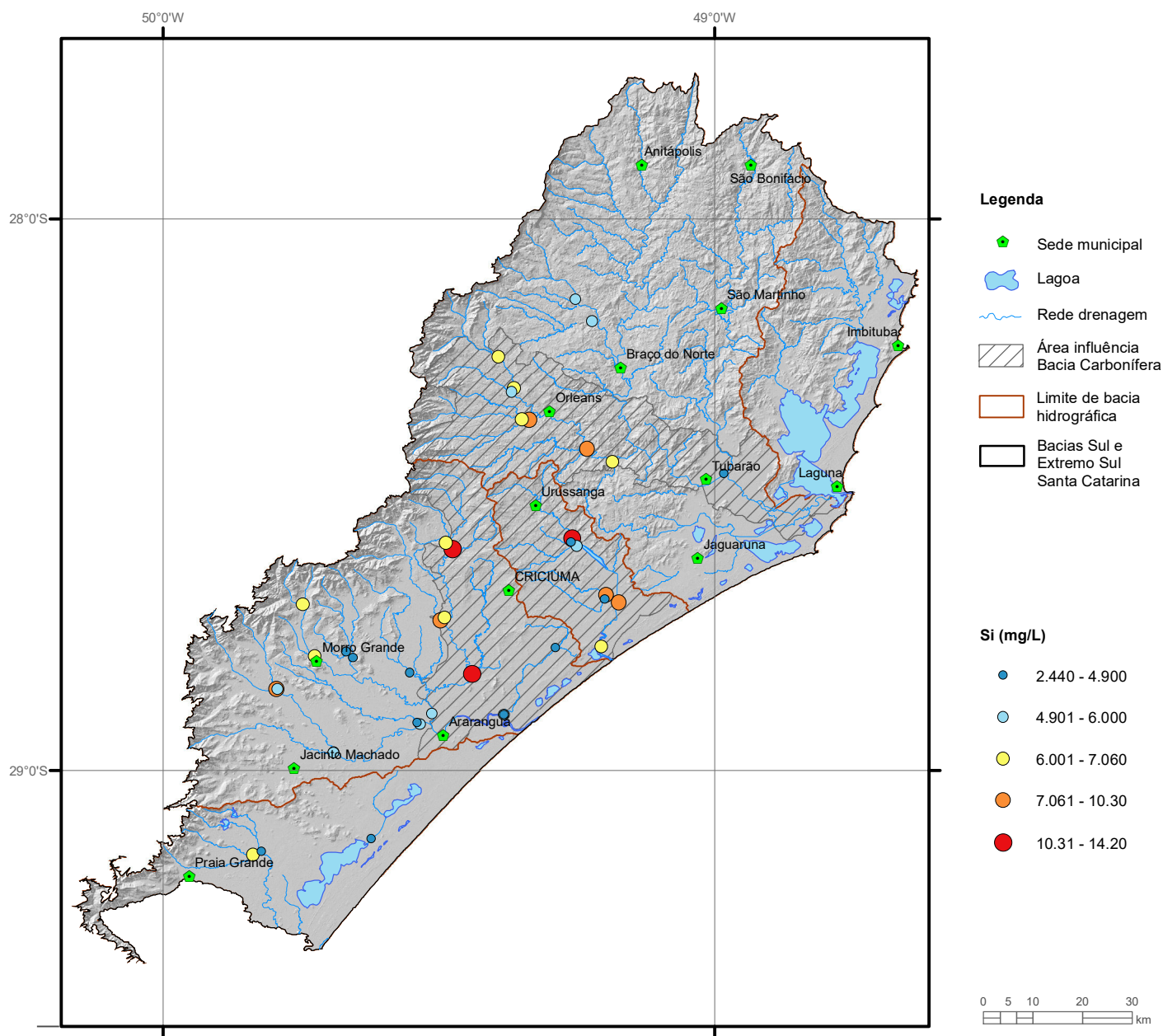
Elemento	Sb (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.05	0.05
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.060	0.050
Valor Máximo	0.76	0.66
Média	0.211	0.235
Desvio Padrão	0.14	0.15
Quartil Superior	0.280	0.310
Mediana	0.160	0.190
Quartil Inferior	0.140	0.130
CONAMA 420/2009 (VP)		2
NOAA/2008 (Target)		3



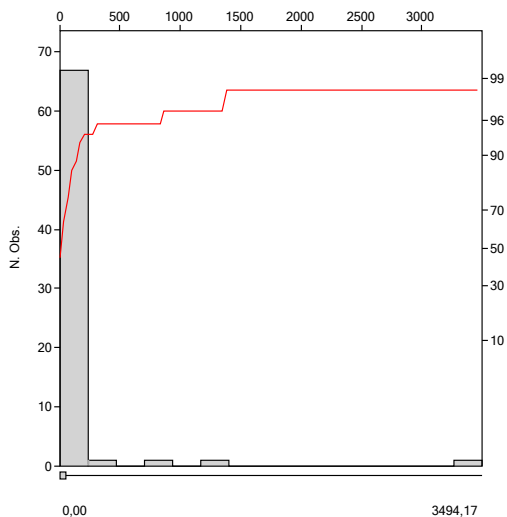
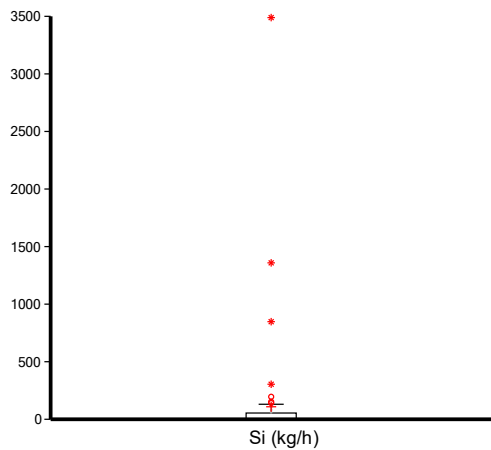
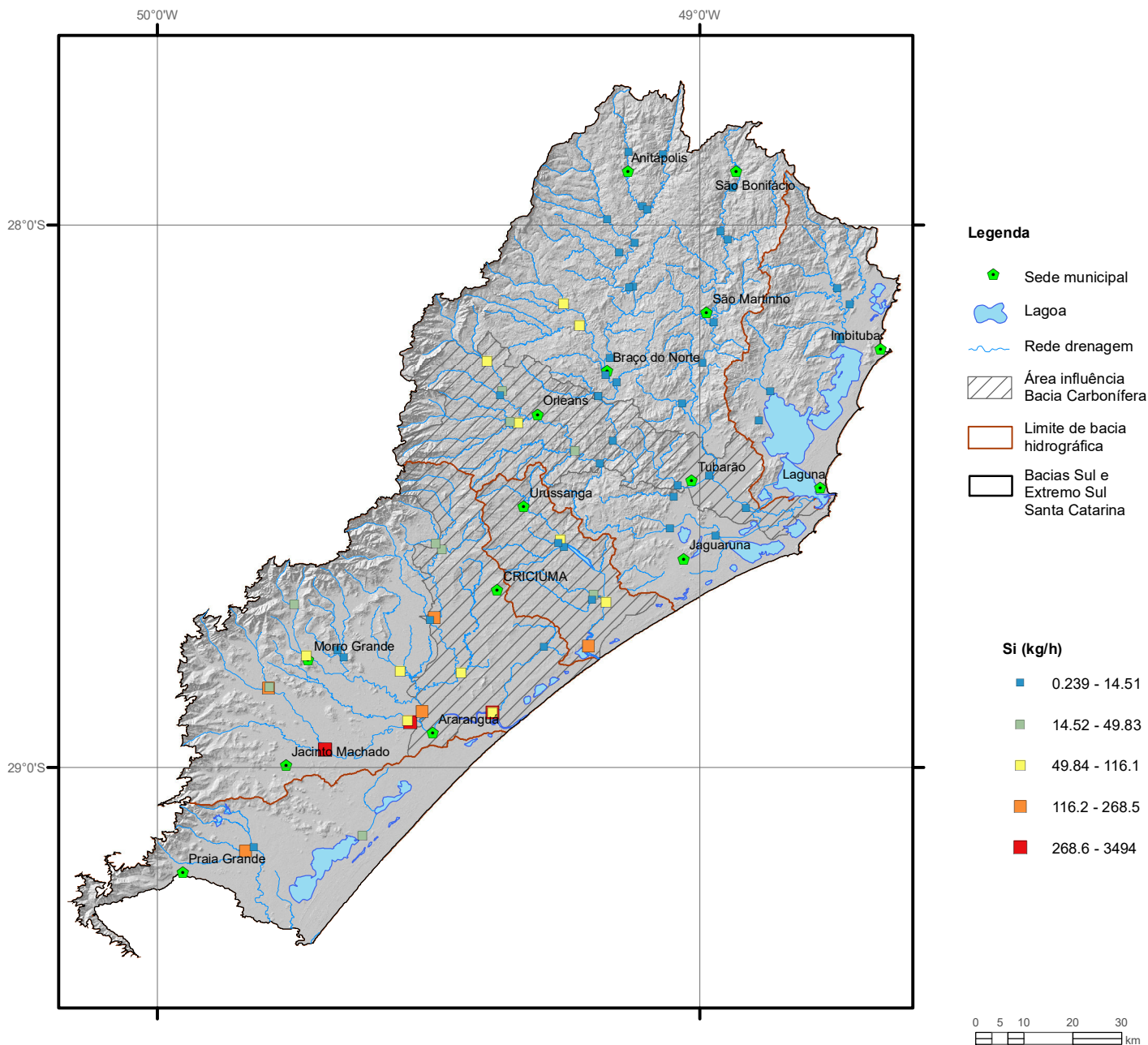
Elemento	Sc (ppm)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.20
Valor Máximo	18.80
Média	5.22
Desvio Padrão	3.47
Quartil Superior	6.80
Mediana	4.25
Quartil Inferior	3.00
Clarke	25
CONAMA 454/2012	-



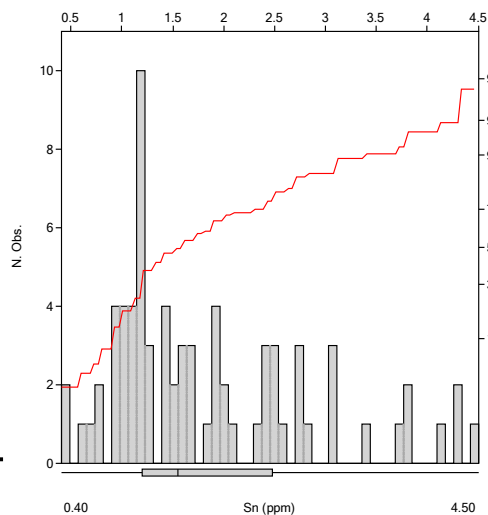
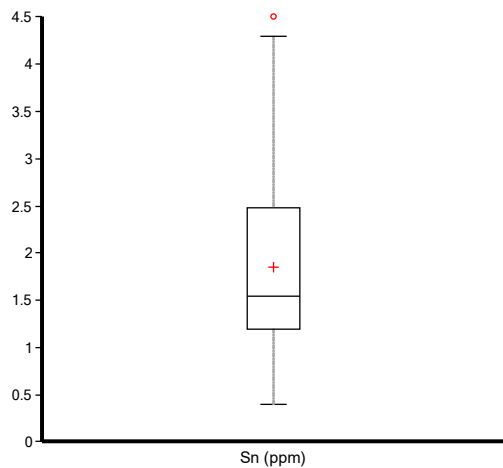
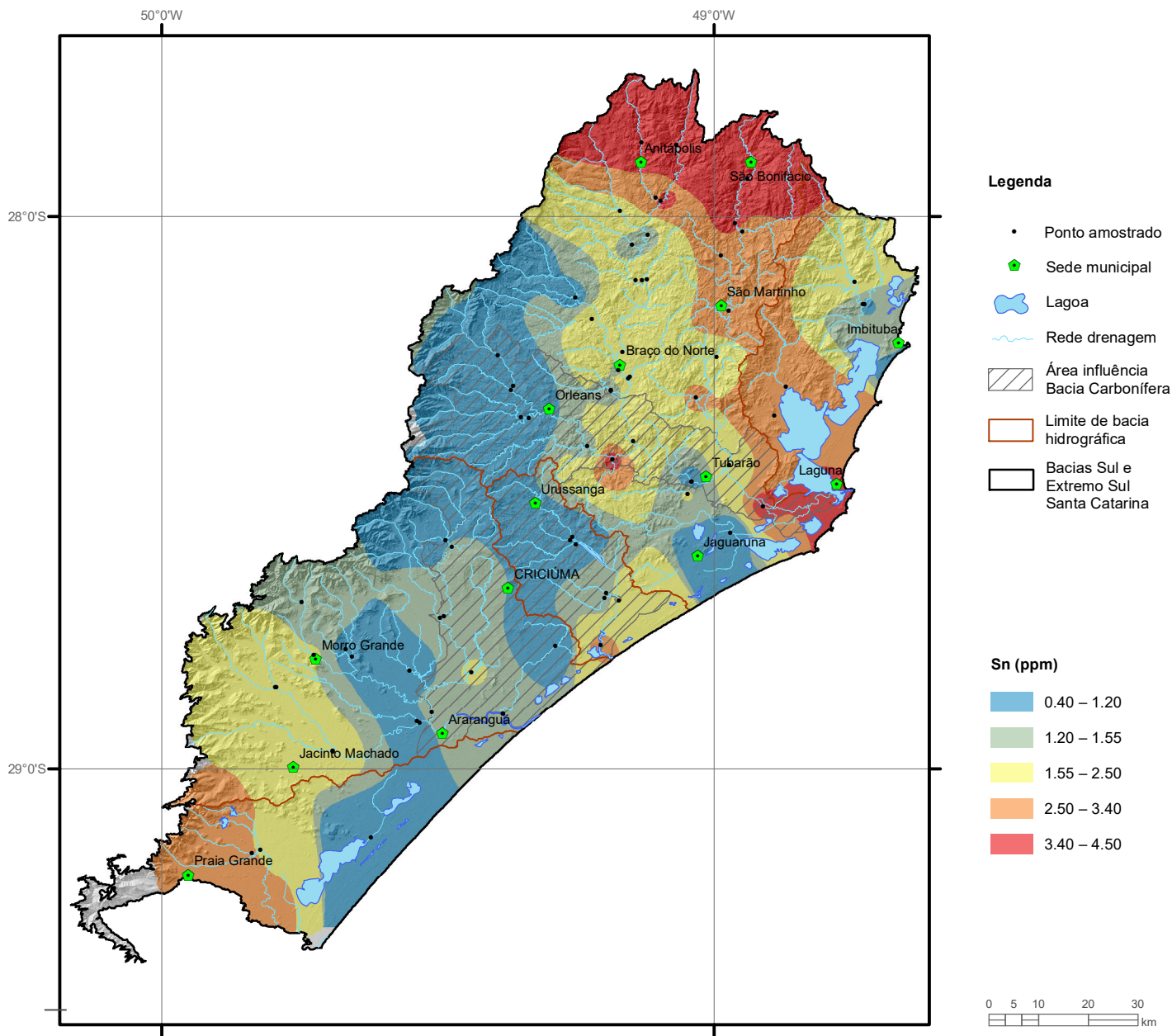
Elemento	Sc (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.1	0.1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.50	0.70
Valor Máximo	32.10	49.90
Média	8.05	11.92
Desvio Padrão	8.69	12.91
Quartil Superior	8.50	13.30
Mediana	5.50	7.00
Quartil Inferior	1.90	3.70
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



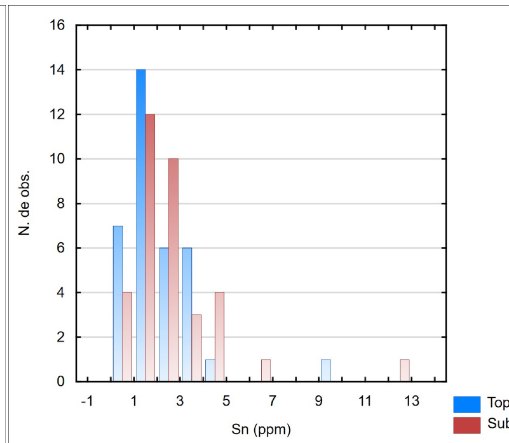
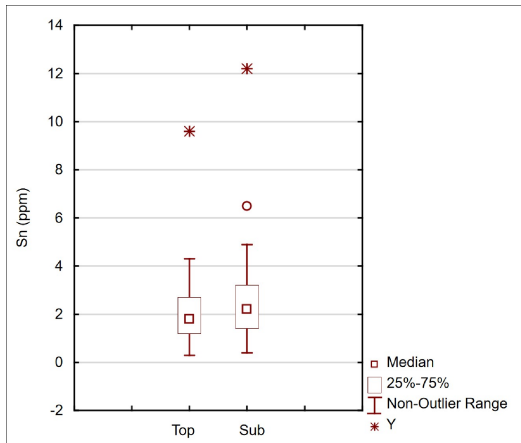
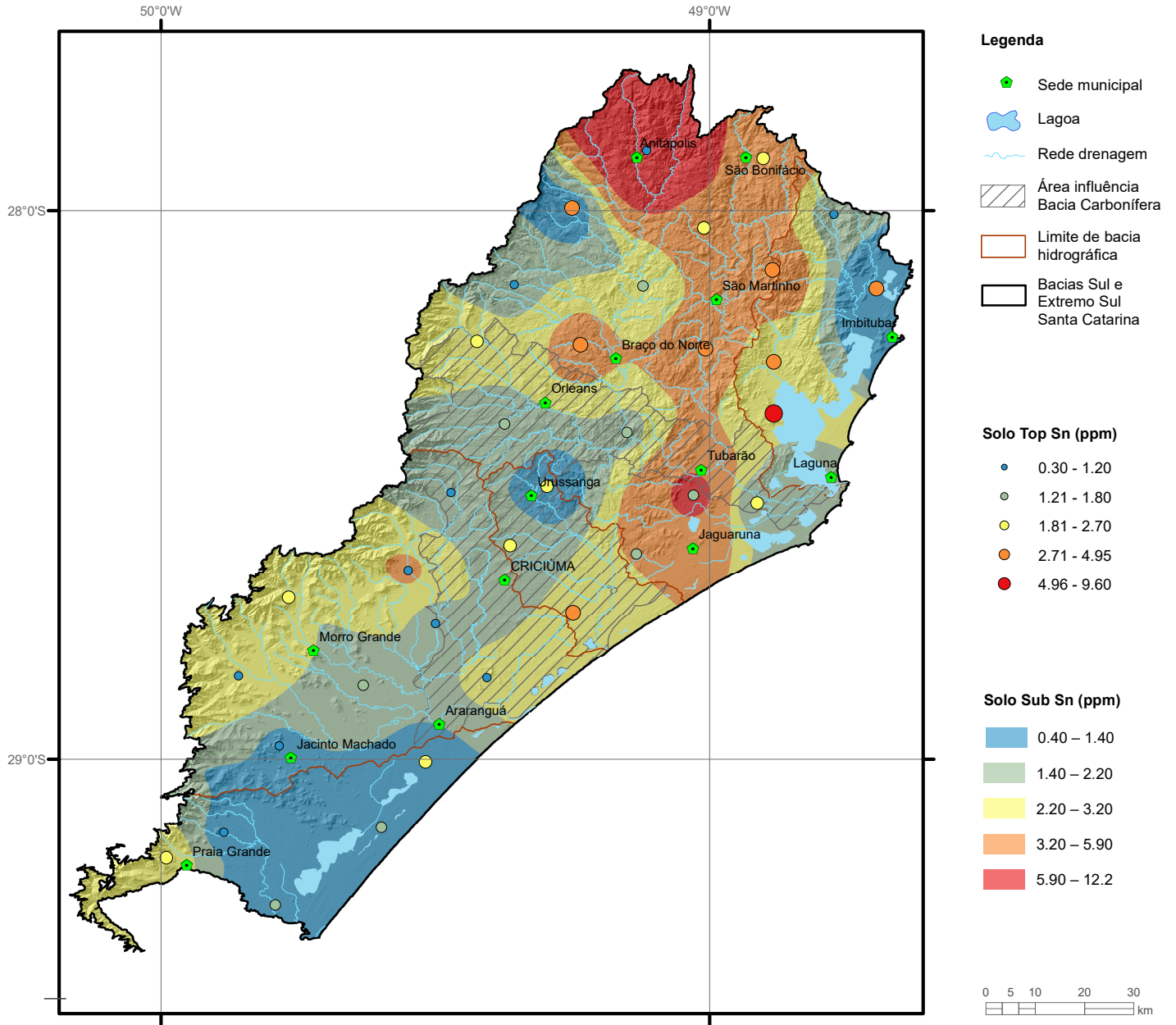
Elemento	Si (mg/L)
Limite de Detecção	0.025
Número de dados	39
Número de dados > LD	39
Valor Mínimo	2.44
Valor Máximo	14.20
Média	6.37
Desvio Padrão	2.56
Quartil Superior	7.06
Mediana	6.00
Quartil Inferior	4.90
CONAMA 357/2005	-
NOAA/2008	-



Estatística Descritiva	
Elemento	Si (kg/h)
Número de dados	39
Valor Mínimo	0.239
Valor Máximo	3494
Média	205.6
Desvio Padrão	595.2
Quartil Superior	116.1
Mediana	49.83
Quartil Inferior	14.51



Elemento	Sn (ppm)
Limite de Detecção	0.3
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.40
Valor Máximo	4.50
Média	1.86
Desvio Padrão	1.00
Quartil Superior	2.50
Mediana	1.55
Quartil Inferior	1.20
Clarke	2.1
NOAA/2008 (Background)	5.0

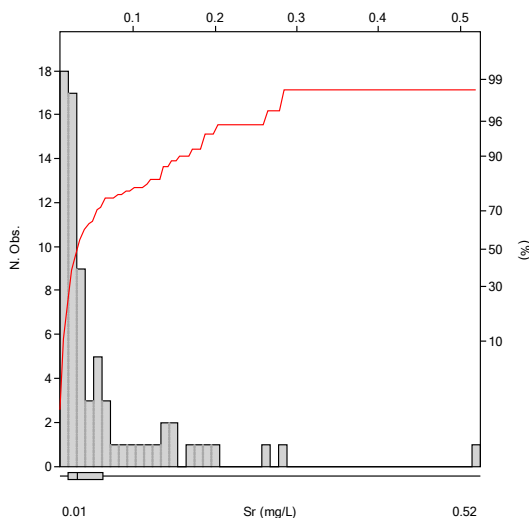
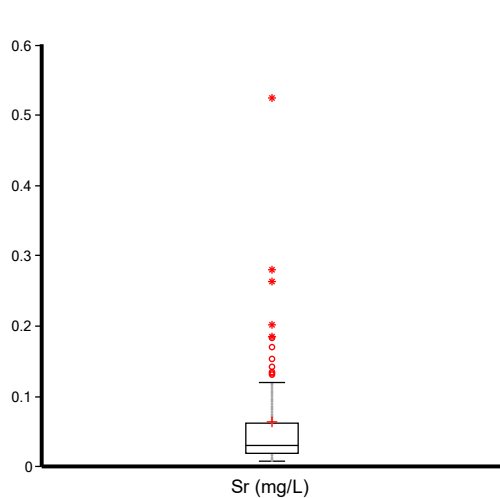
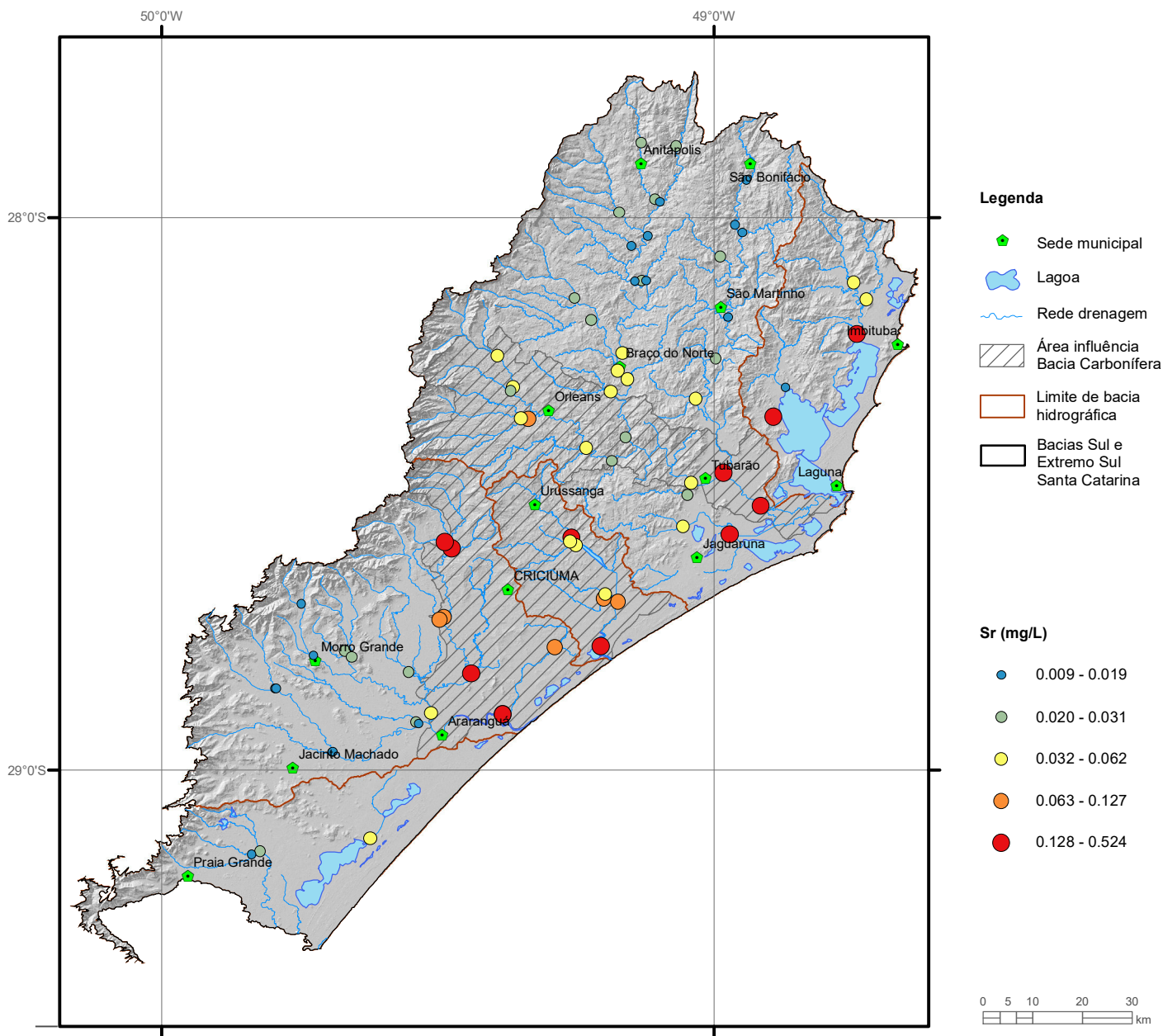


Elemento	Sn (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.3	0.3
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.30	0.40
Valor Máximo	9.60	12.20
Média	2.19	2.63
Desvio Padrão	1.65	2.13
Quartil Superior	2.70	3.20
Mediana	1.80	2.20
Quartil Inferior	1.20	1.40
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008 (Eco-SSL)		7.62

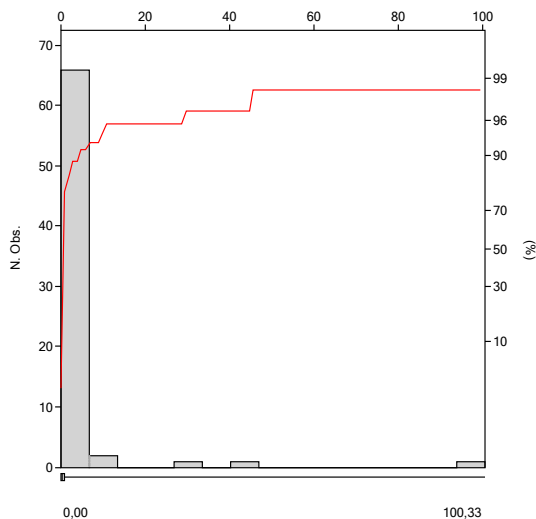
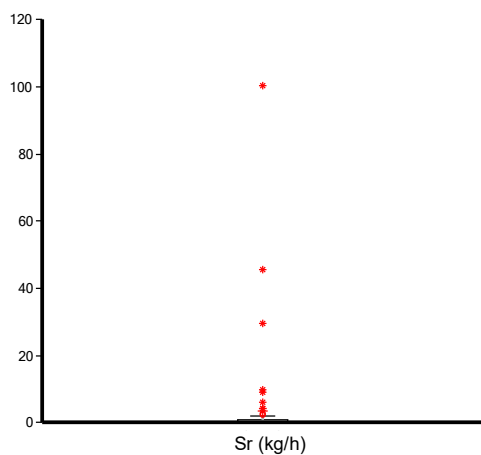
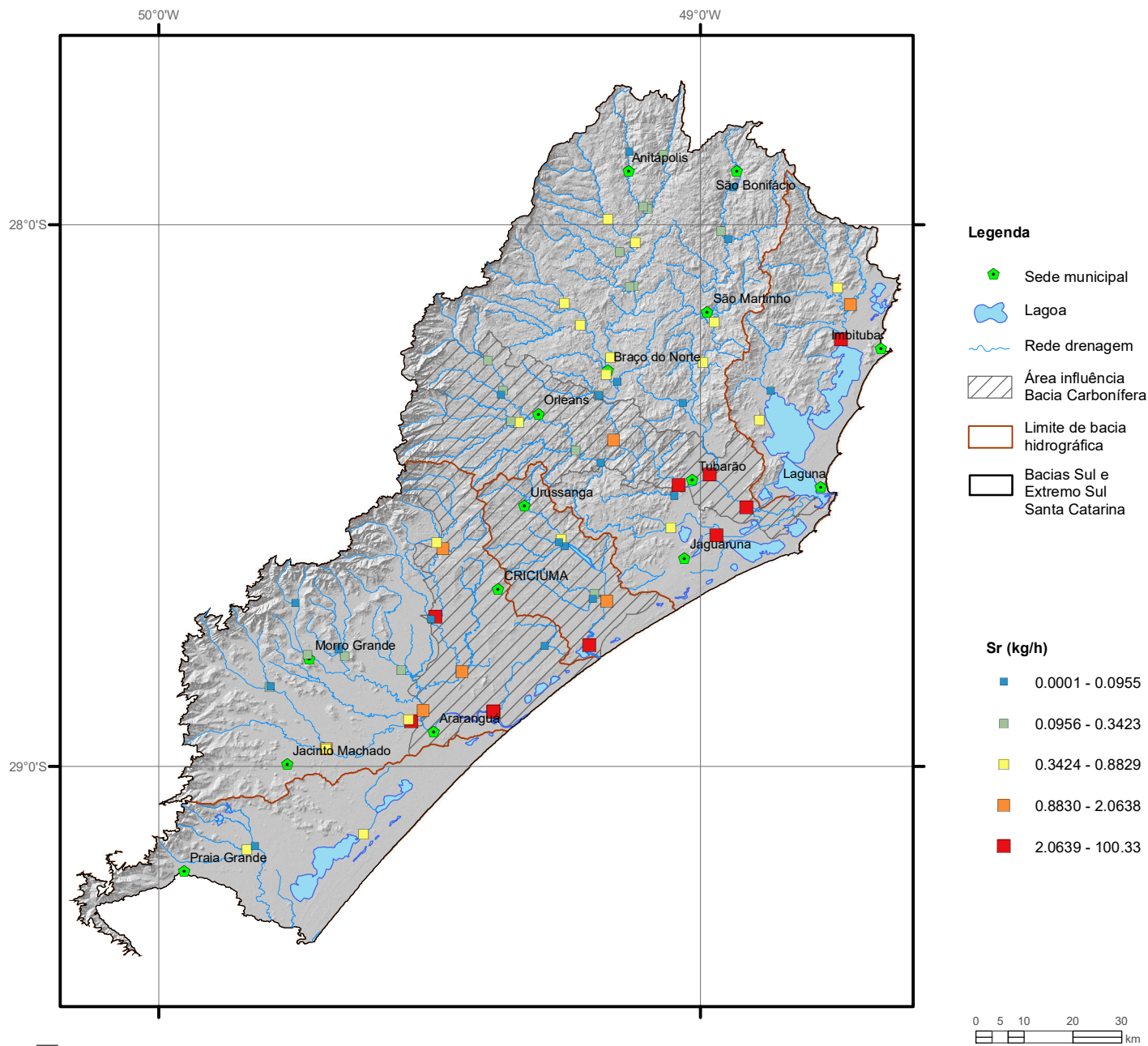
ESTRÔNCIO

Sr

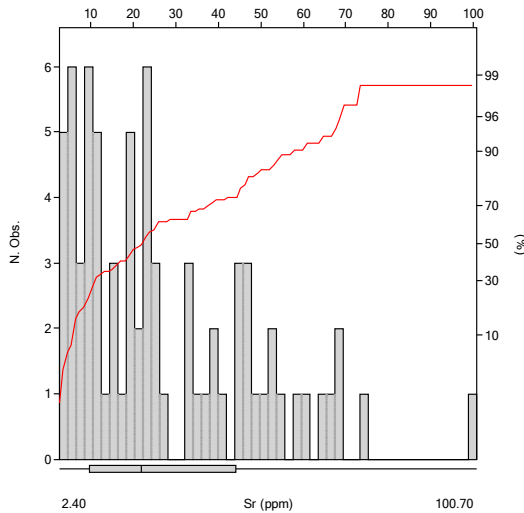
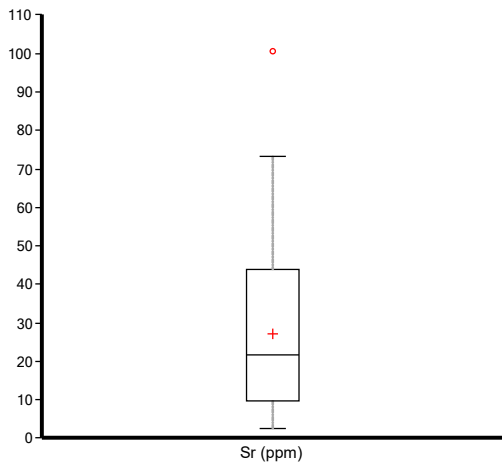
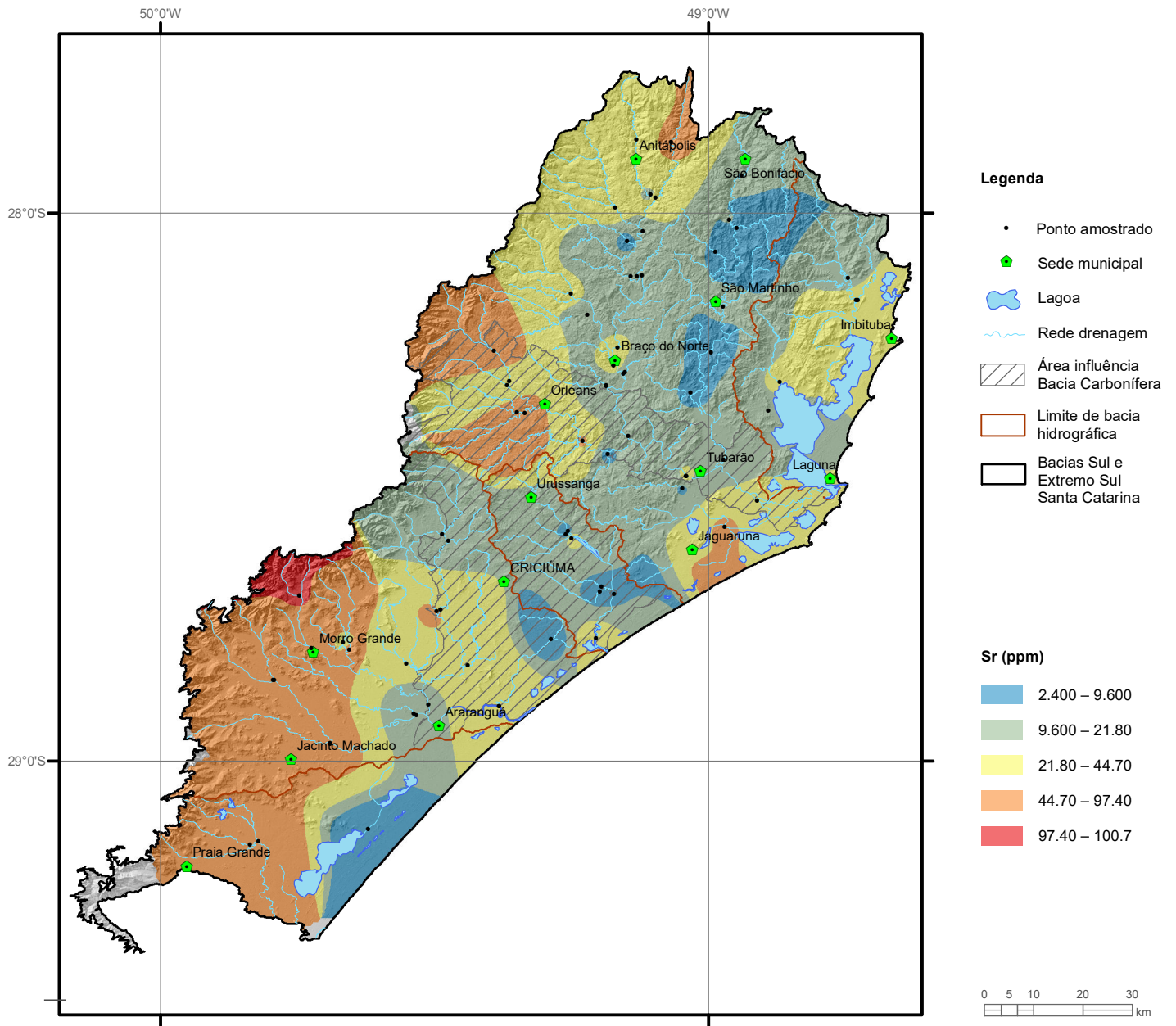
Água Superficial



Elemento	Sr (mg/L)
Limite de Detecção	0.002
Número de dados	72
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	0.009
Valor Máximo	0.52
Média	0.06
Desvio Padrão	0.08
Quartil Superior	0.062
Mediana	0.031
Quartil Inferior	0.019
CONAMA 357/2005 (II)	-
NOAA/2008 (Chronic)	1.5



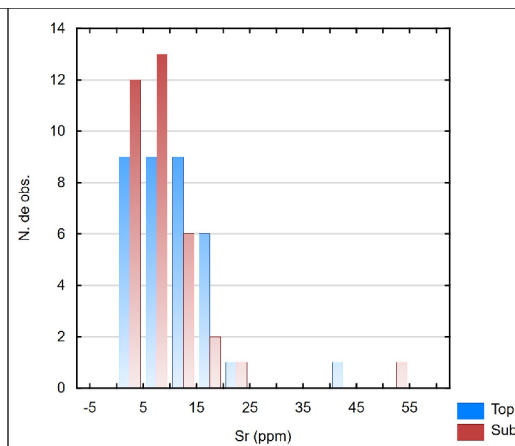
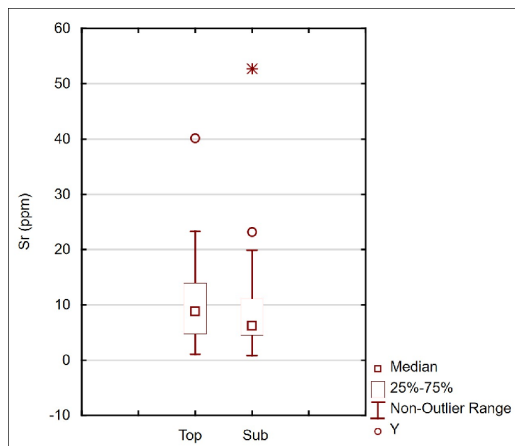
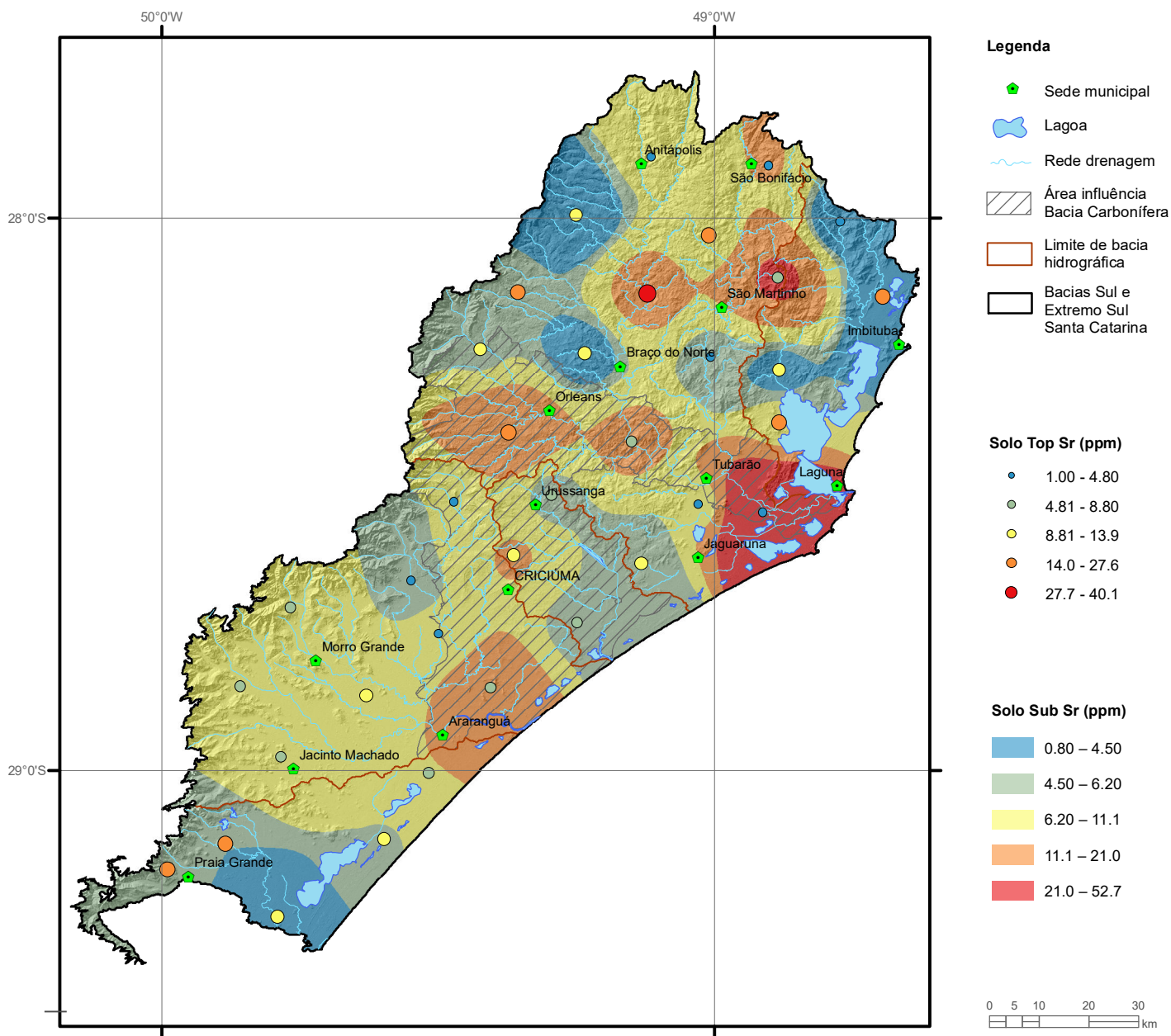
Estatística Descritiva	
Elemento	Sr (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.0001
Valor Máximo	100.33
Média	3.3511
Desvio Padrão	13.279
Quartil Superior	0.8829
Mediana	0.3423
Quartil Inferior	0.0955



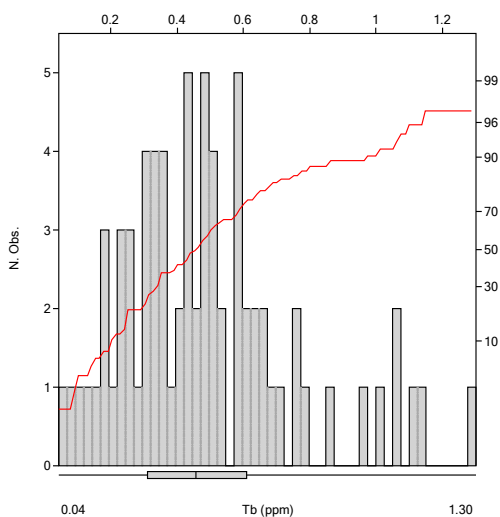
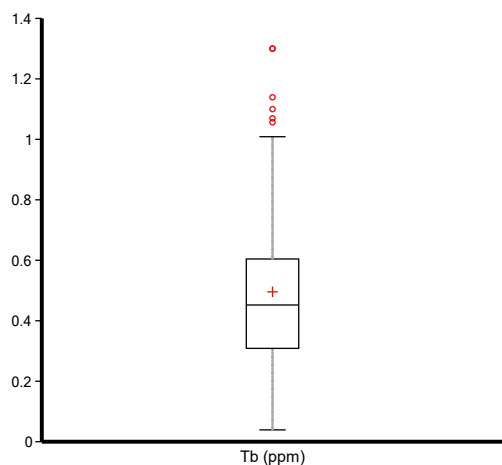
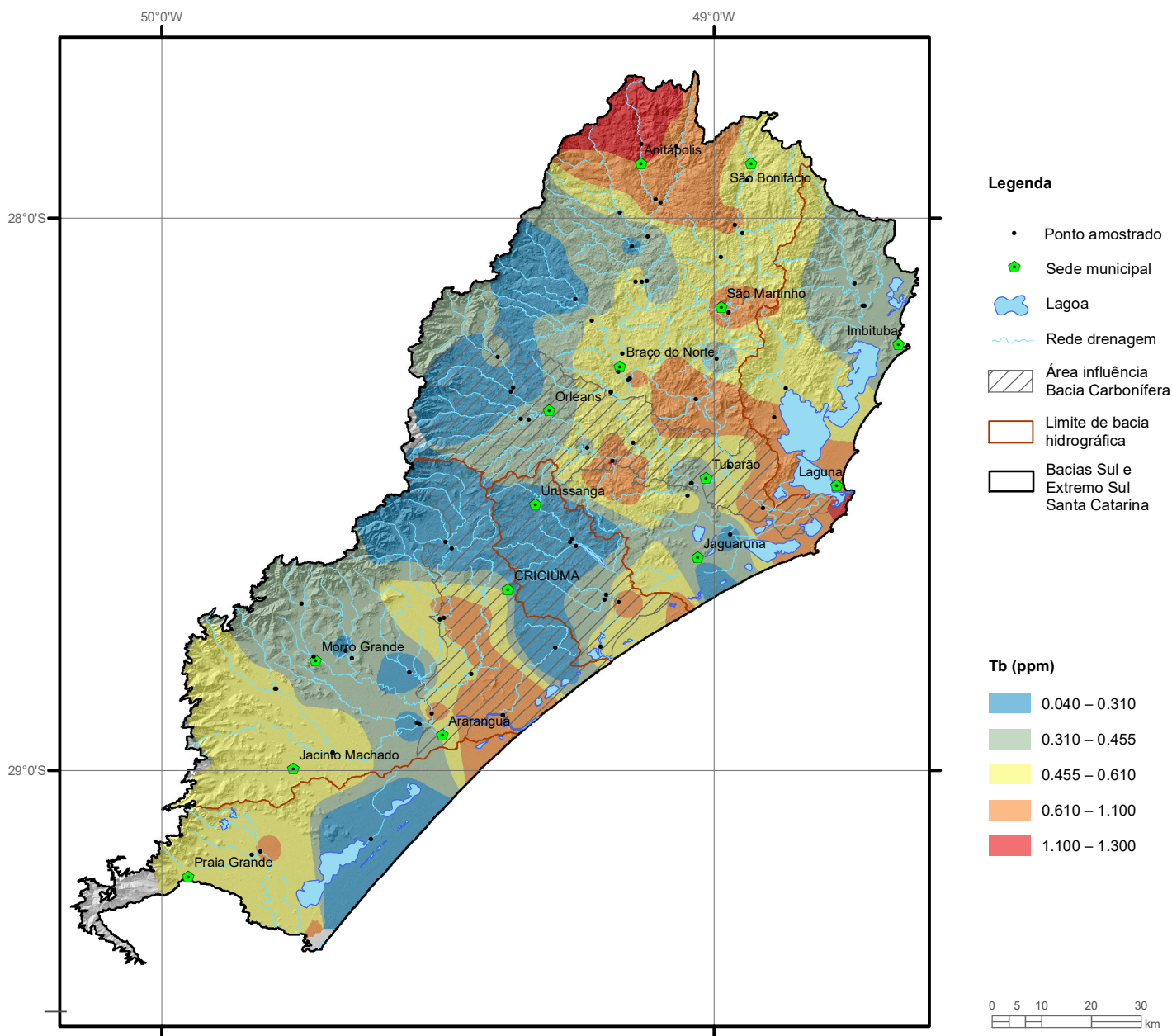
Elemento	Sr (ppm)
Limite de Detecção	0.5
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	2.400
Valor Máximo	100.7
Média	27.25
Desvio Padrão	21.33
Quartil Superior	44.70
Mediana	21.80
Quartil Inferior	9.60
Clarke	384
NOAA/2008 (Background)	49

ESTRÔNCIO

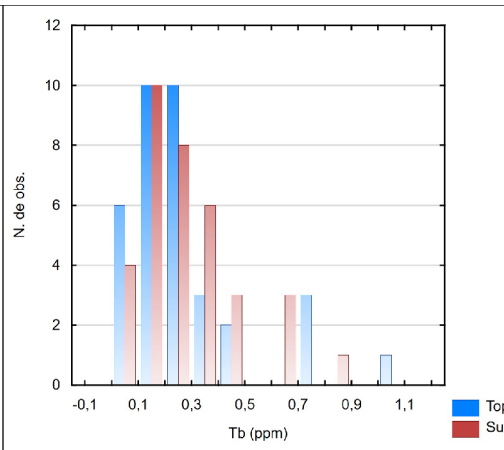
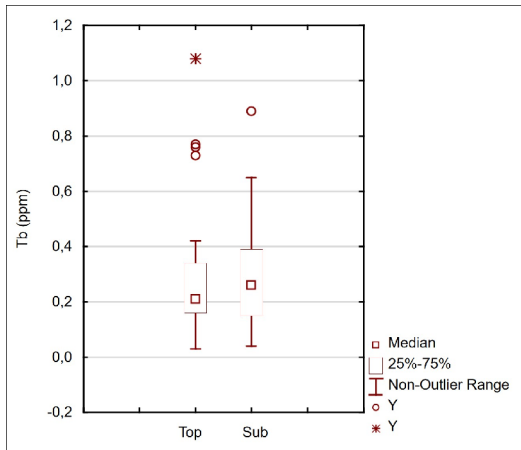
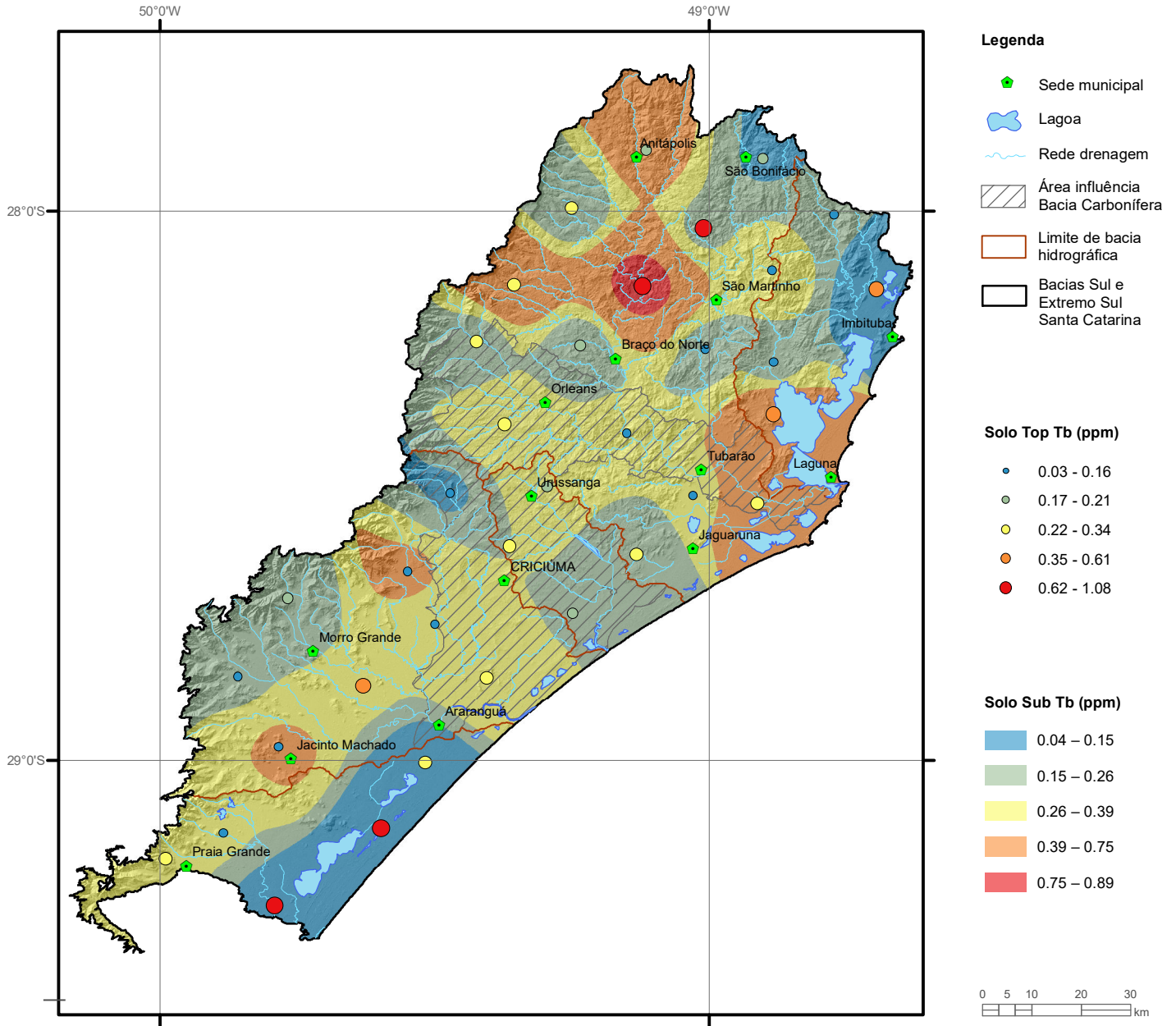
Sr Solo



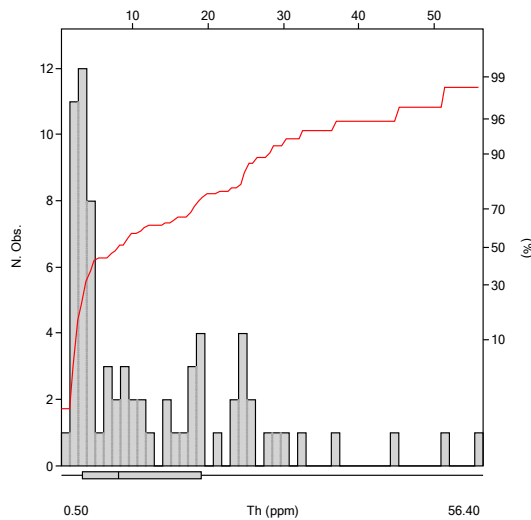
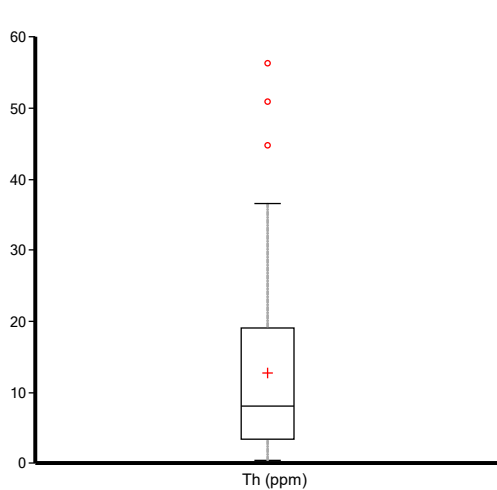
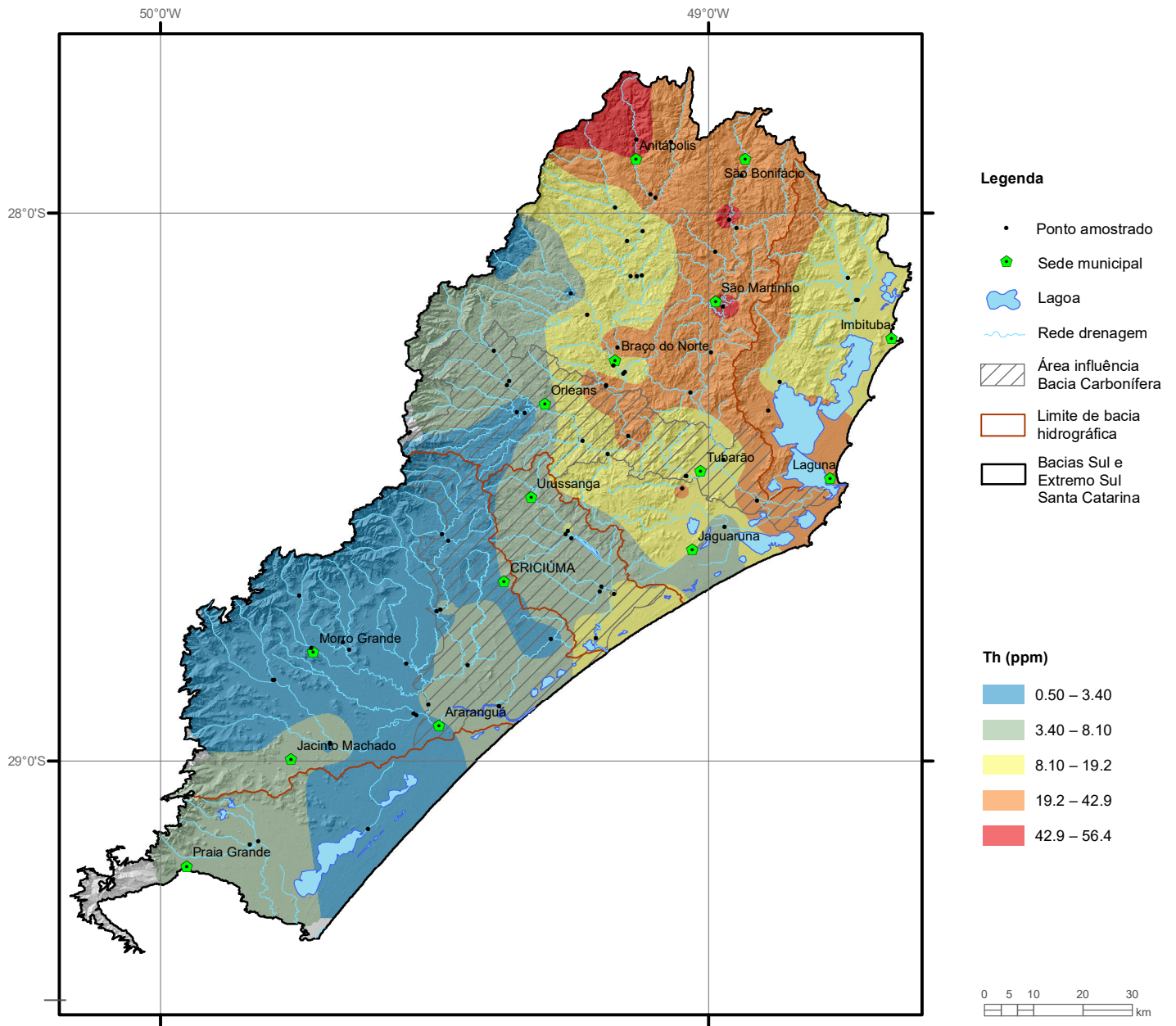
Elemento	Sr (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.5	0.5
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	1.00	0.80
Valor Máximo	40.1	52.7
Média	10.29	8.95
Desvio Padrão	7.51	9.14
Quartil Superior	13.90	11.10
Mediana	8.80	6.20
Quartil Inferior	4.80	4.50
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008 (Background)		120



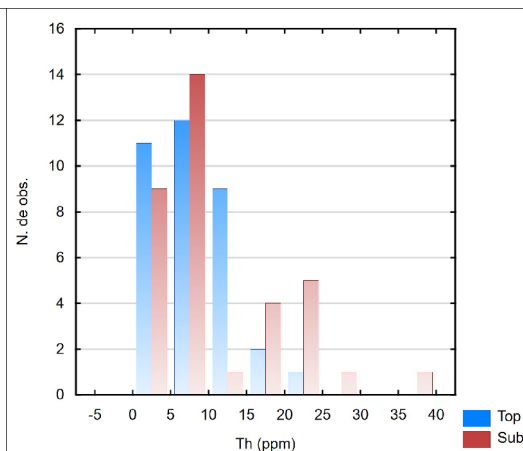
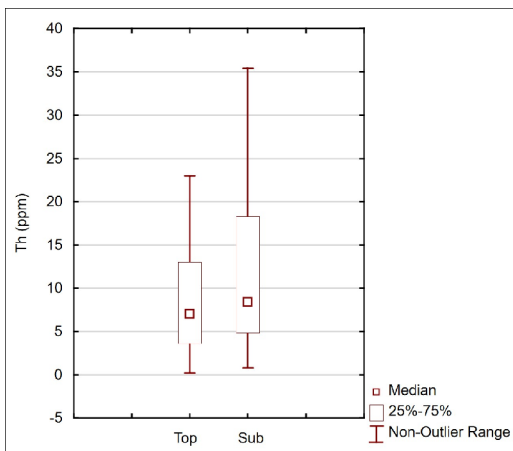
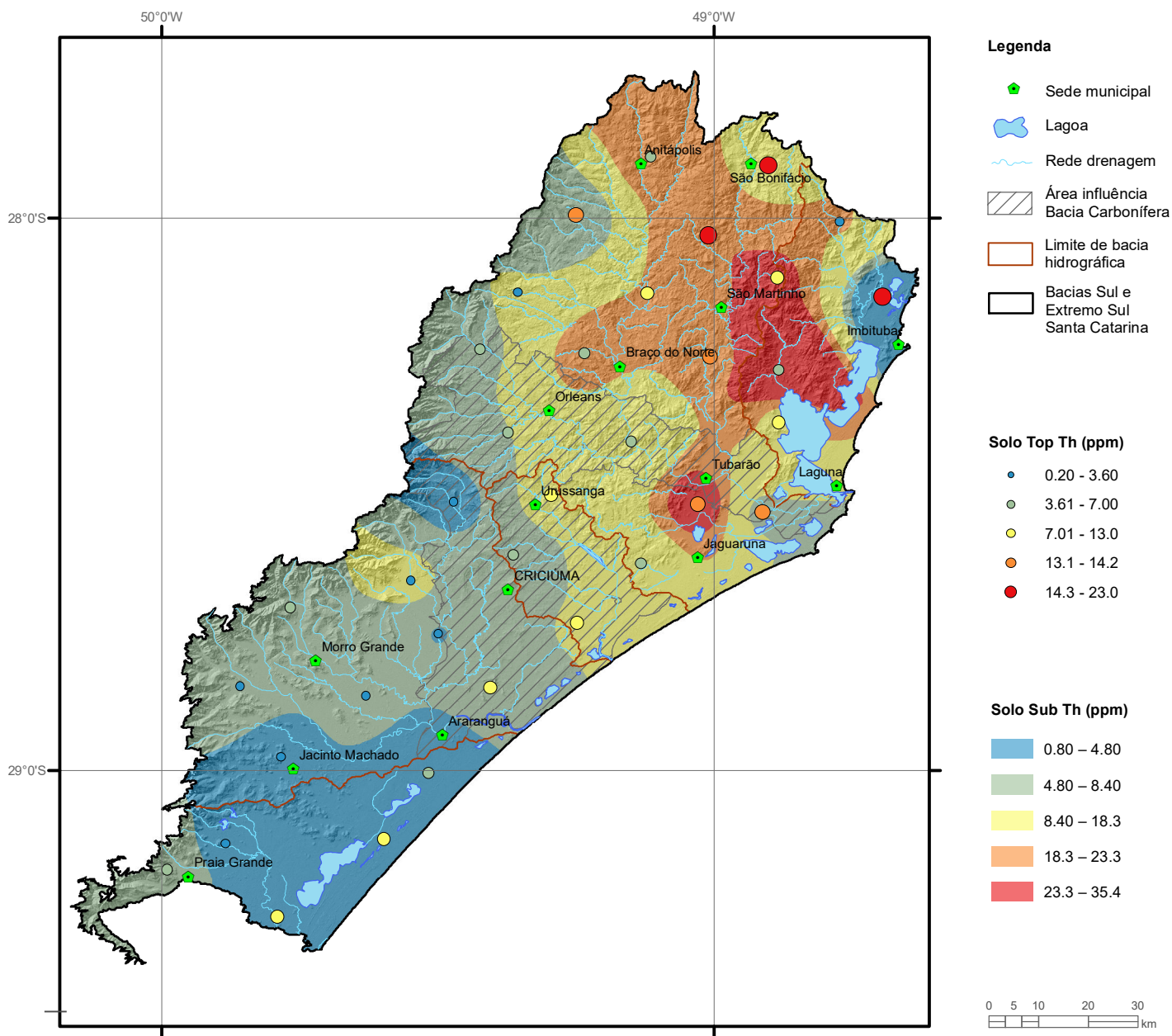
Elemento	Tb (ppm)
Limite de Detecção	0.02
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.040
Valor Máximo	1.300
Média	0.50
Desvio Padrão	0.28
Quartil Superior	0.610
Mediana	0.455
Quartil Inferior	0.310
Clarke	1.18
CONAMA 454/2012	-



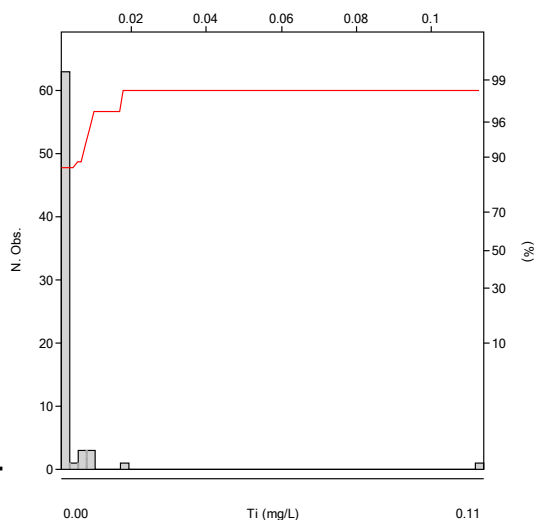
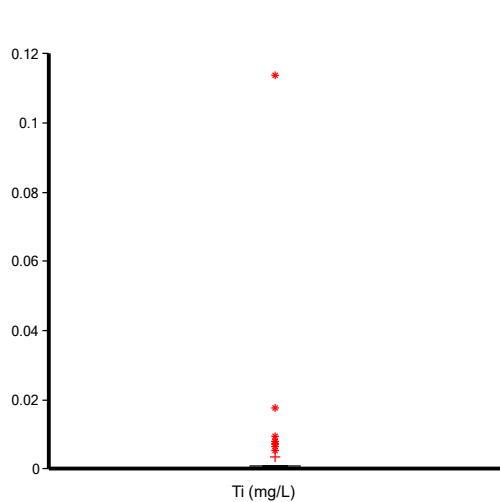
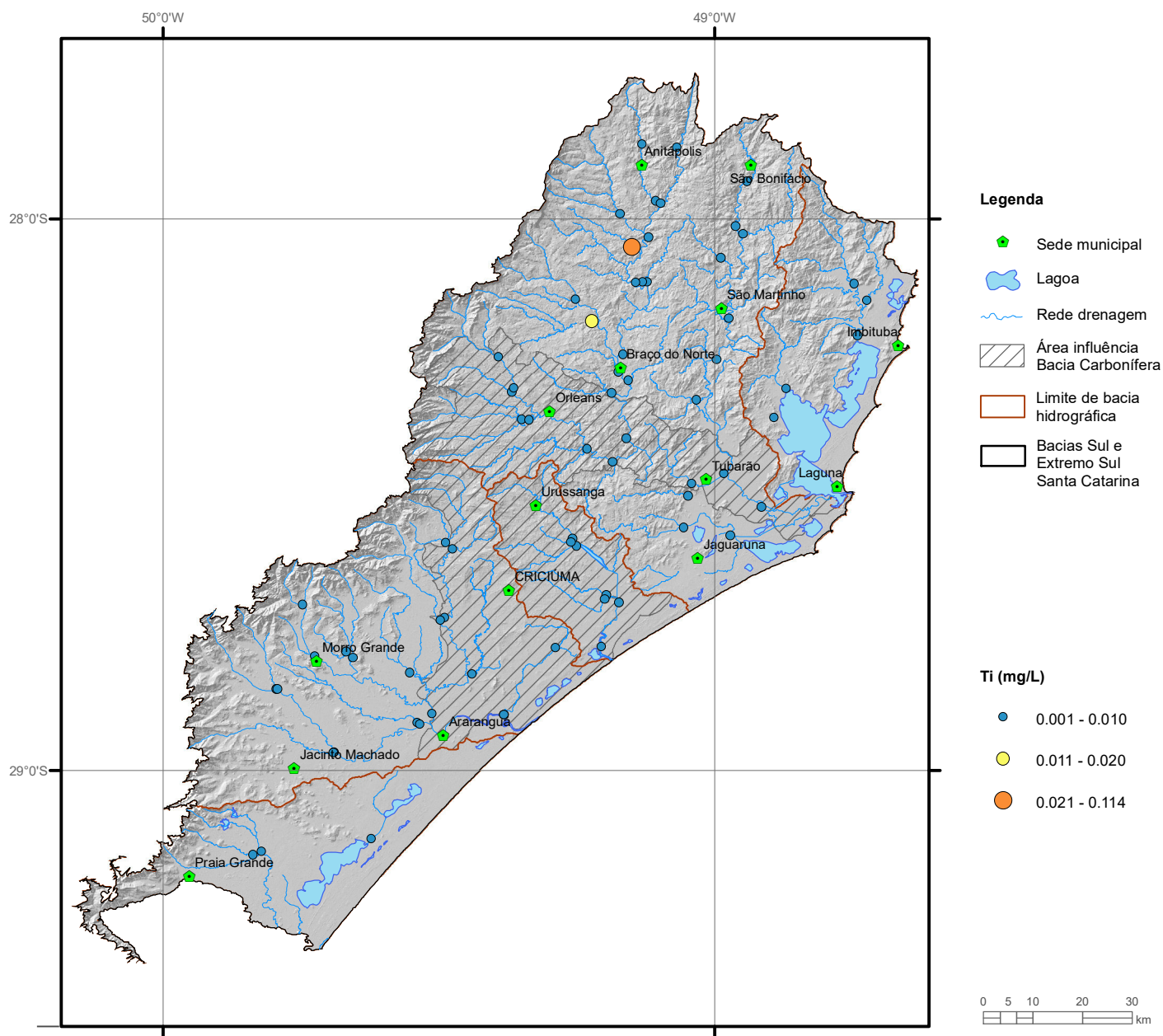
Elemento	Tb (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.02	0.02
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.03	0.04
Valor Máximo	1.08	0.89
Média	0.28	0.29
Desvio Padrão	0.23	0.19
Quartil Superior	0.34	0.39
Mediana	0.21	0.26
Quartil Inferior	0.16	0.15
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



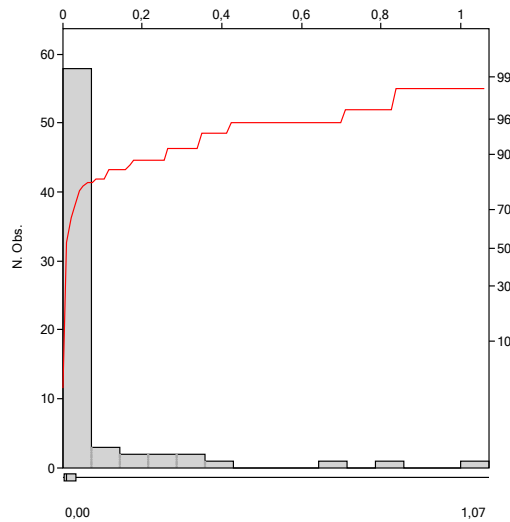
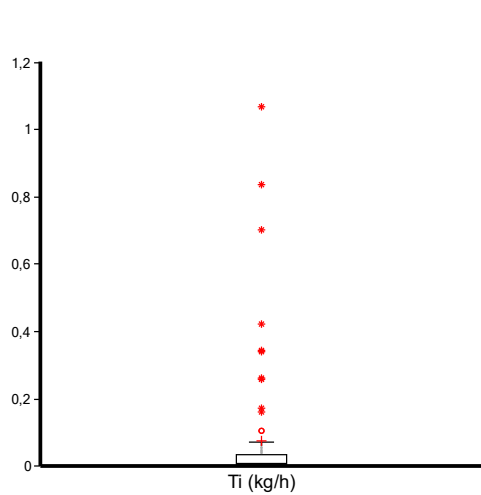
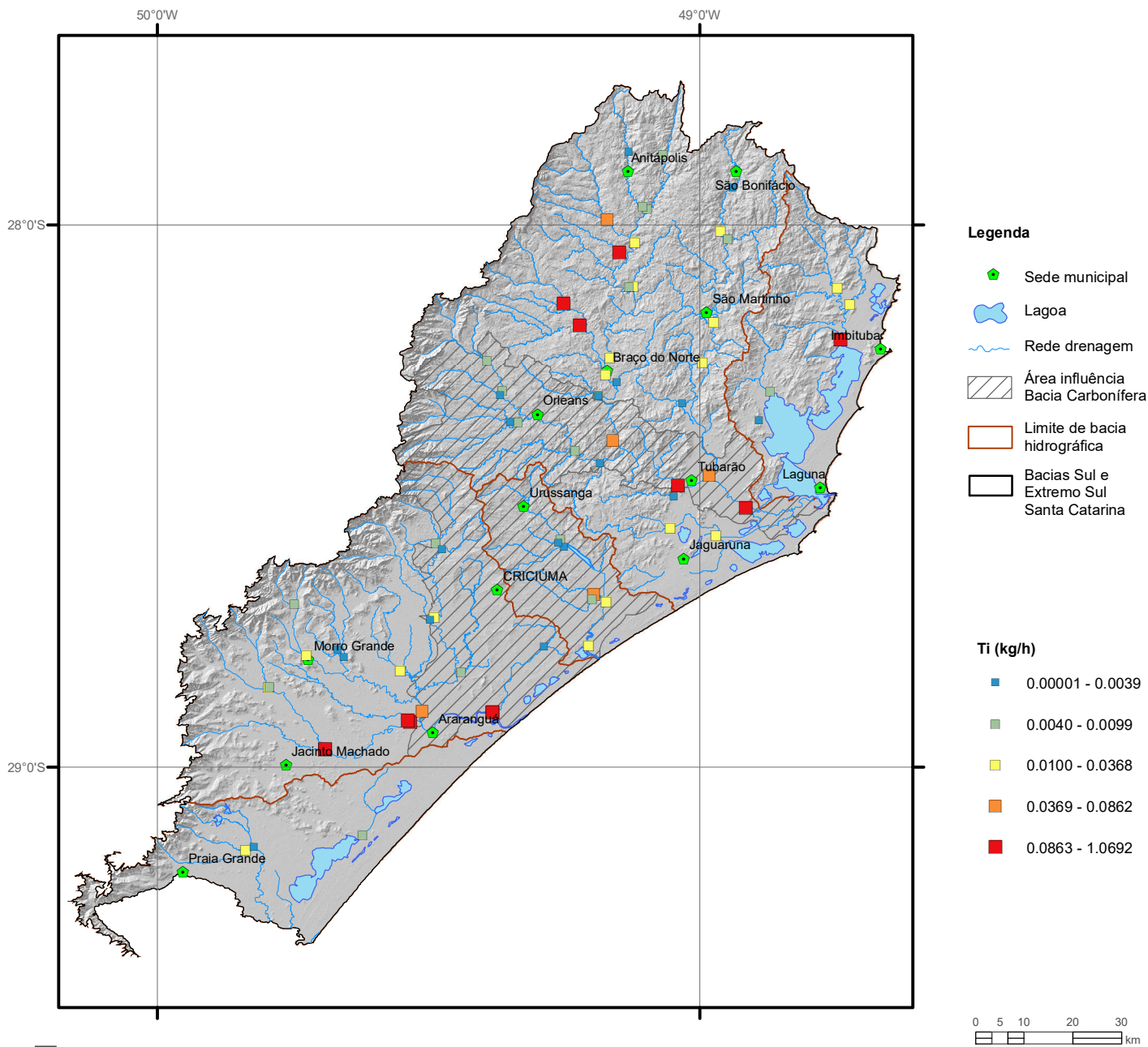
Elemento	Th (ppm)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.50
Valor Máximo	56.40
Média	12.72
Desvio Padrão	12.18
Quartil Superior	19.20
Mediana	8.10
Quartil Inferior	3.40
Clarke	8.1
CONAMA 454/2012	-



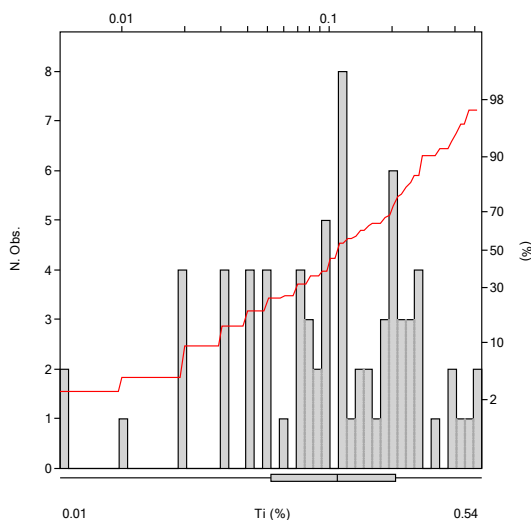
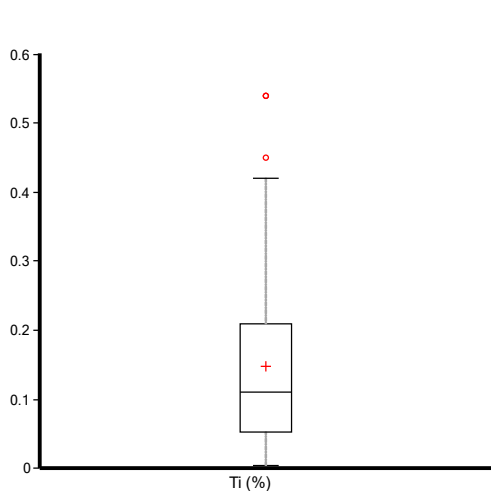
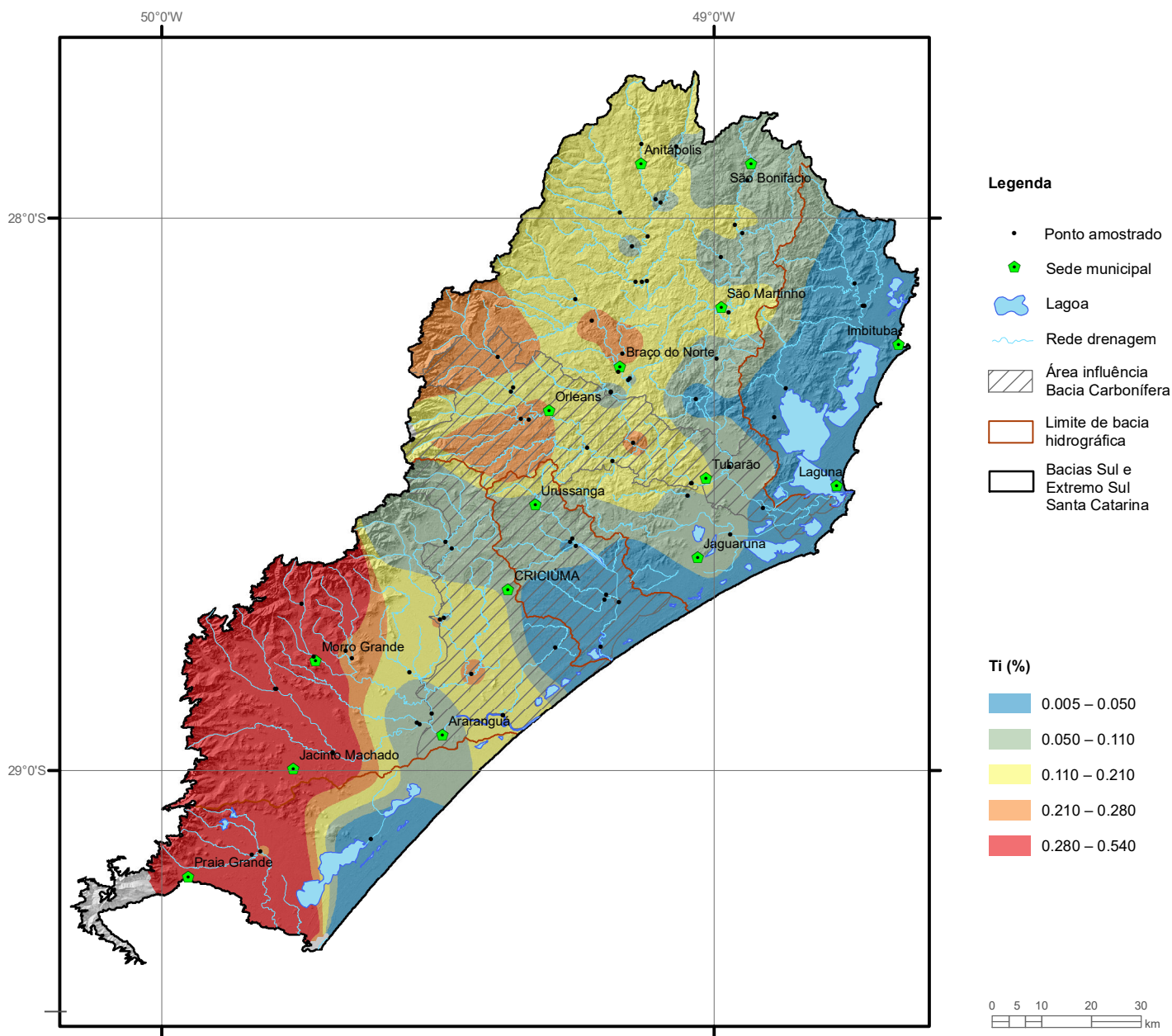
Elemento	Th (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.1	0.1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.20	0.80
Valor Máximo	23.00	35.40
Média	8.02	11.11
Desvio Padrão	5.73	8.55
Quartil Superior	13.00	18.30
Mediana	7.00	8.40
Quartil Inferior	3.60	4.80
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



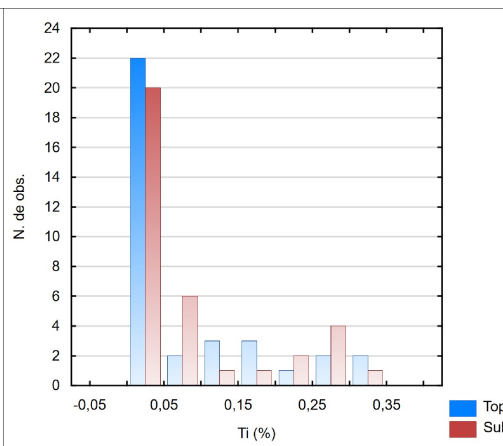
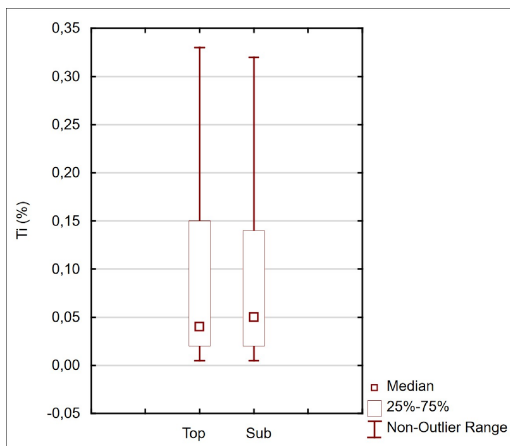
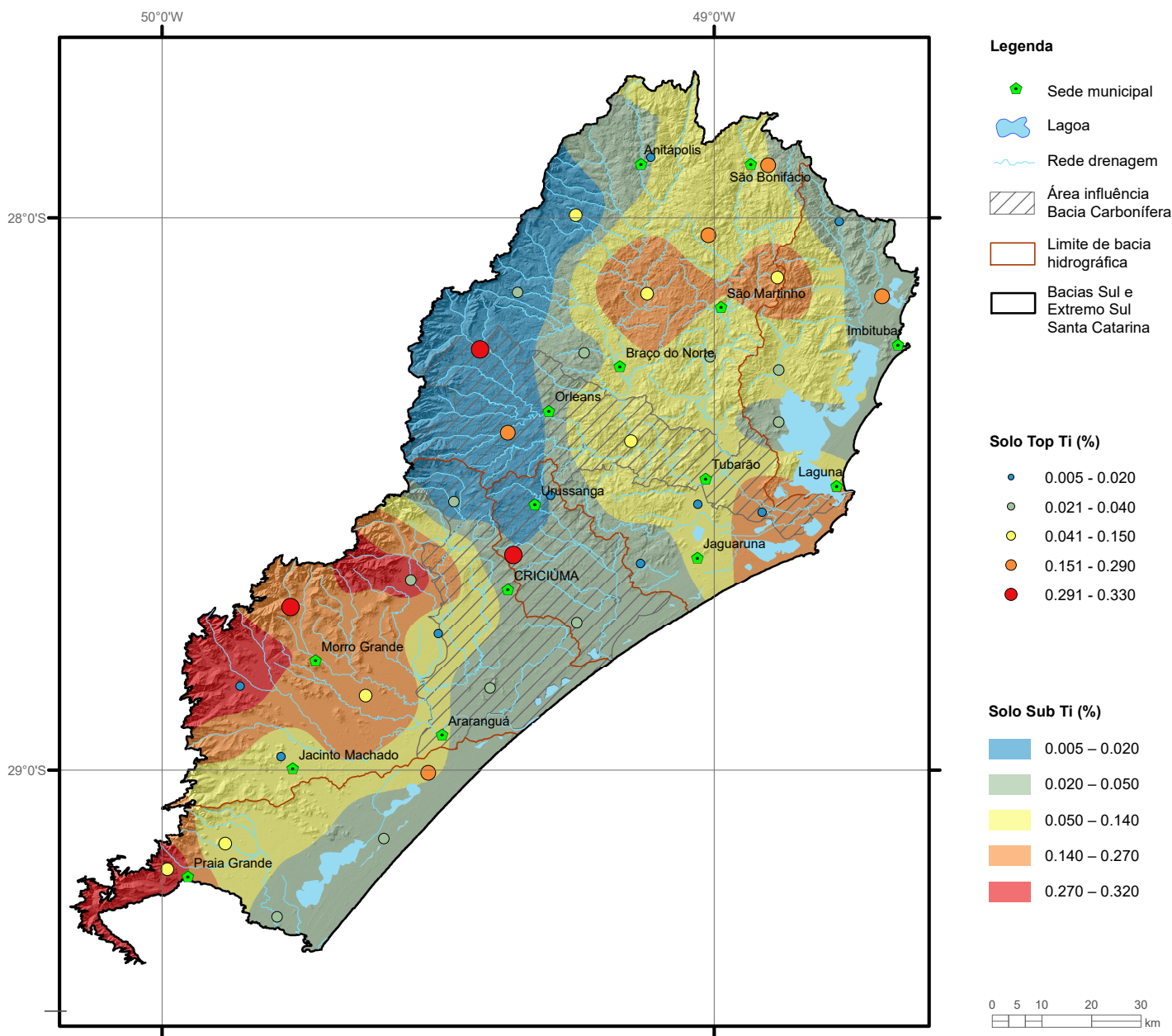
Elemento	Ti (mg/L)
Limite de Detecção	0.002
Número de dados	72
Número de dados > LD	9
Valor Mínimo	0.001
Valor Máximo	0.11
Média	0.0034
Desvio Padrão	0.01
Quartil Superior	0.001
Mediana	0.001
Quartil Inferior	0.001
CONAMA 357/2005 (II)	-
NOAA/2008 (Acute)	2.0



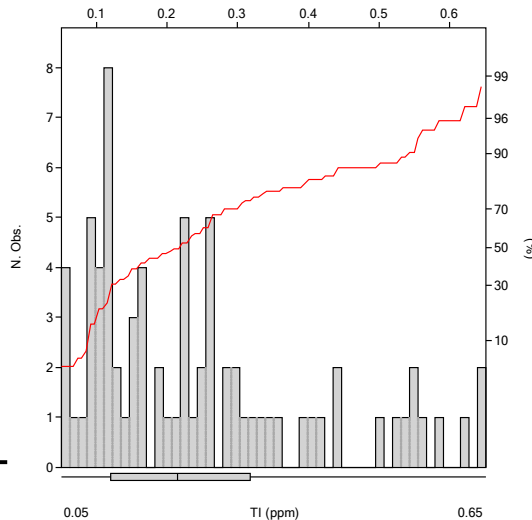
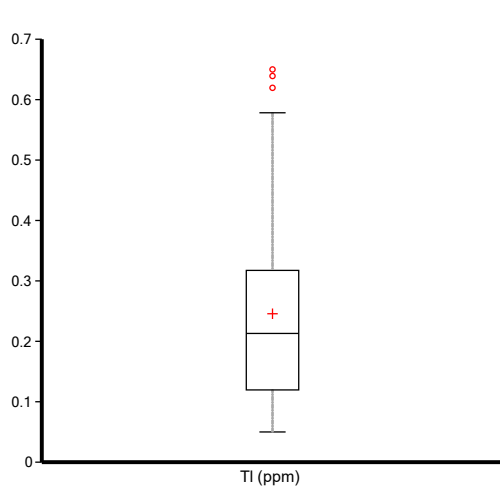
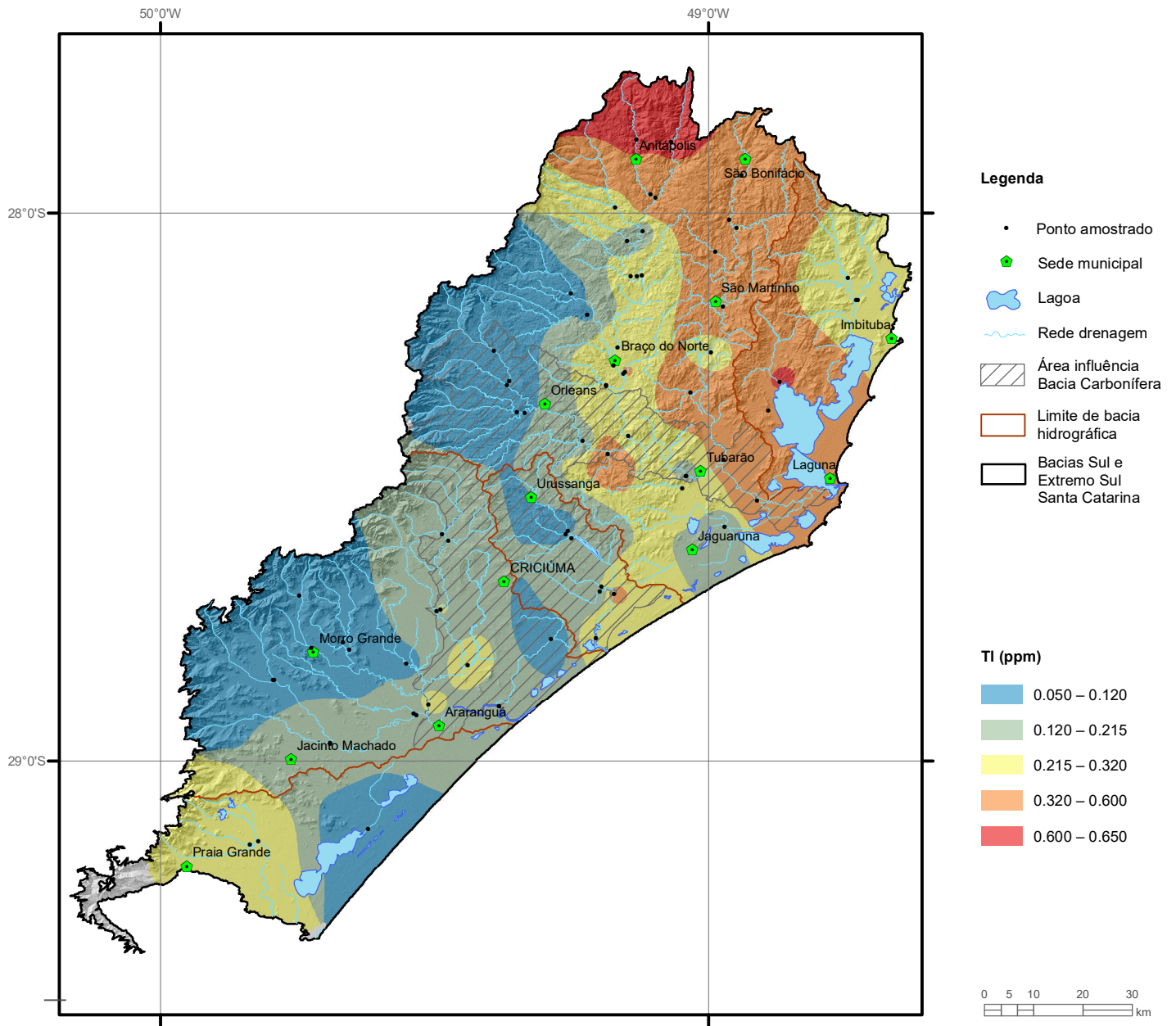
Estatística Descritiva	
Elemento	Ti (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.00001
Valor Máximo	1.0692
Média	0.0779
Desvio Padrão	0.1896
Quartil Superior	0.0368
Mediana	0.0099
Quartil Inferior	0.0039



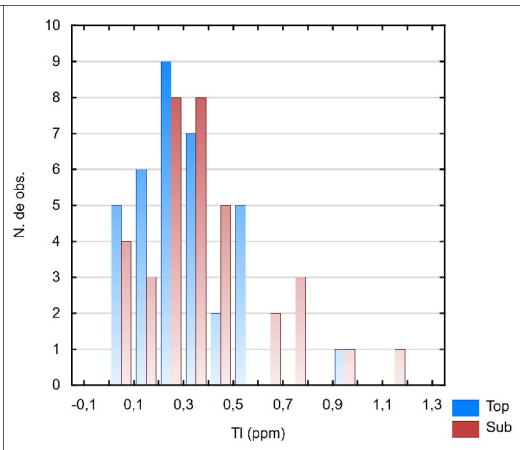
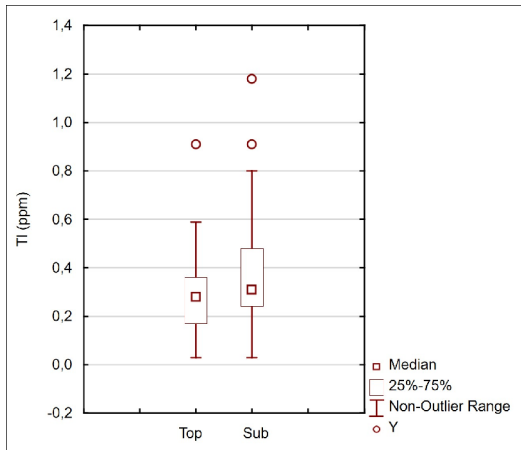
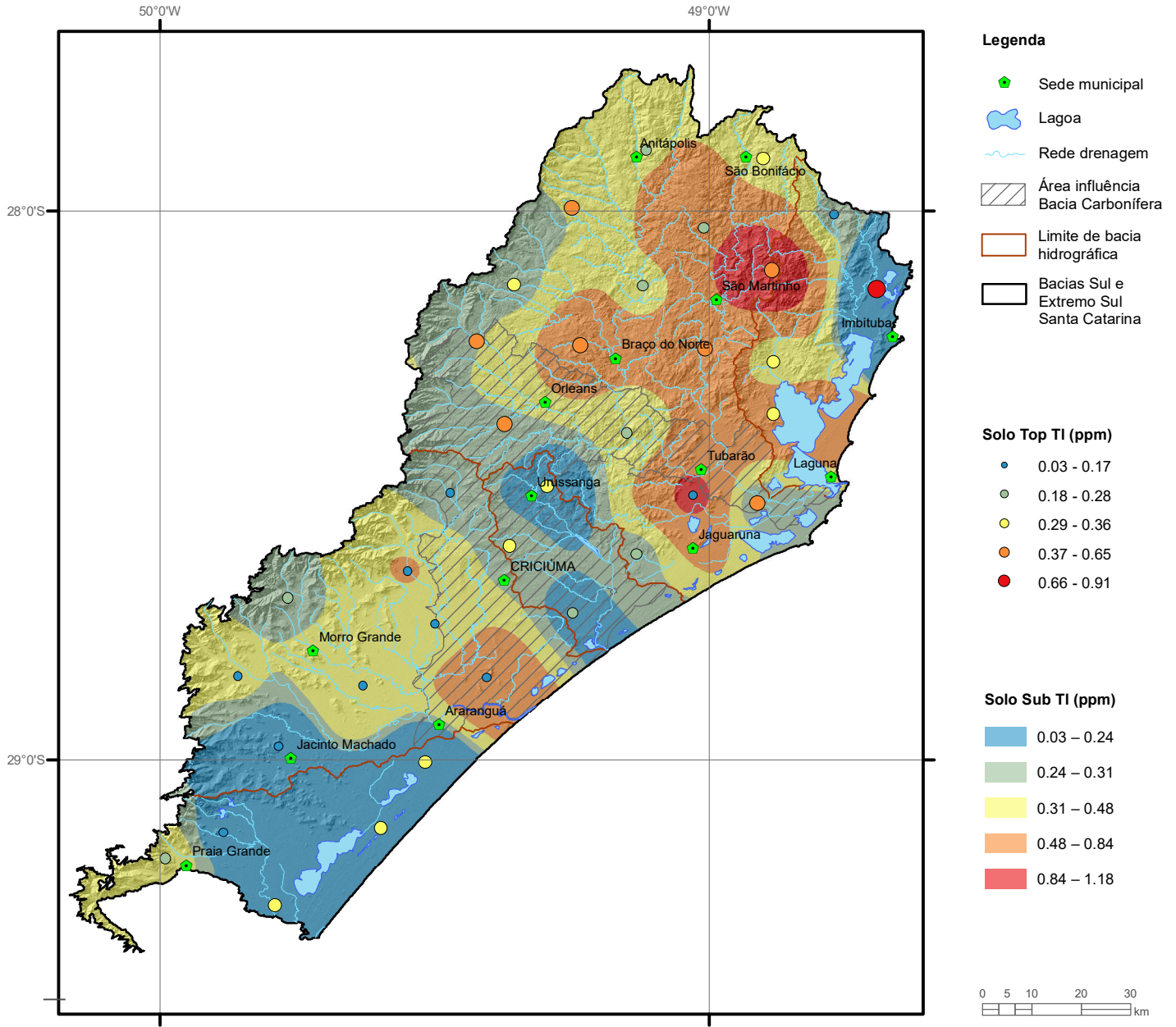
Elemento	Ti (%)
Limite de Detecção	0.01
Número de dados	74
Número de dados > LD	72
Valor Mínimo	0.005
Valor Máximo	0.540
Média	0.148
Desvio Padrão	0.123
Quartil Superior	0.210
Mediana	0.110
Quartil Inferior	0.050
Clarke	0.38
CONAMA 454/2012	-



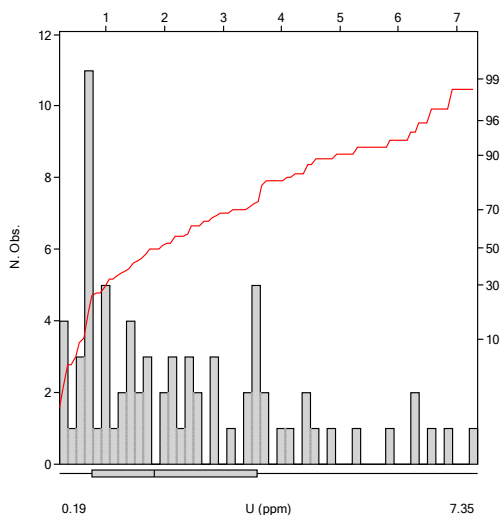
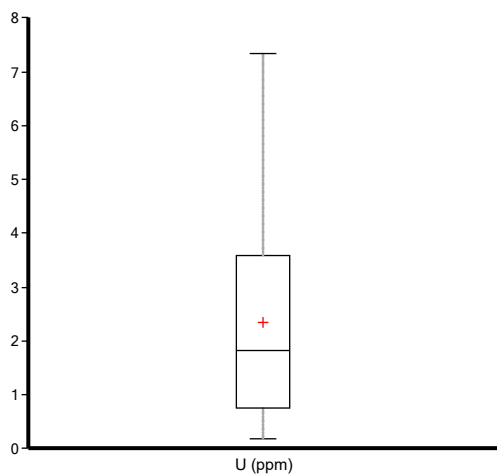
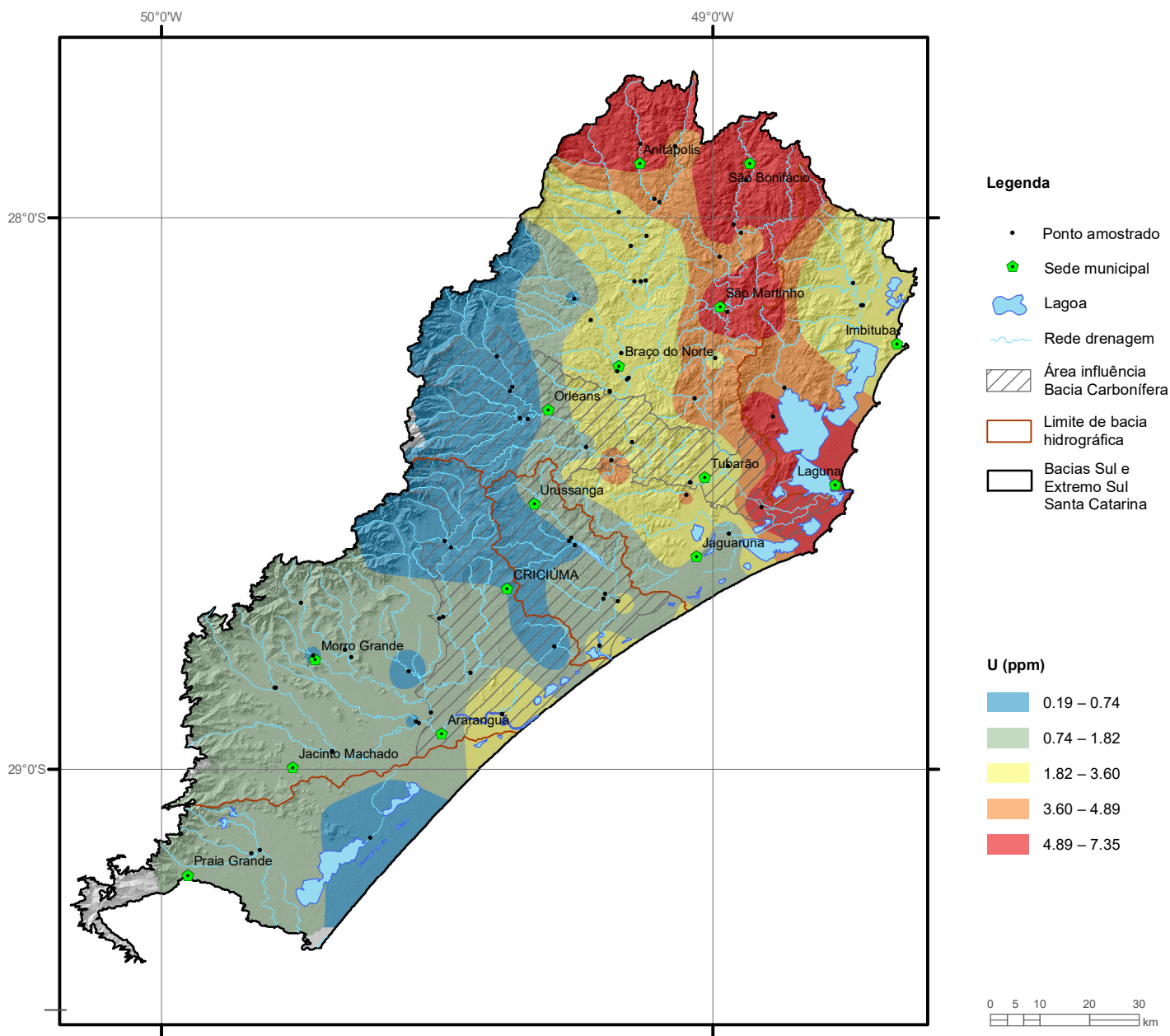
Elemento	Ti (%)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.01	0.01
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	34	34
Valor Mínimo	0.005	0.005
Valor Máximo	0.33	0.32
Média	0.091	0.094
Desvio Padrão	0.10	0.10
Quartil Superior	0.150	0.140
Mediana	0.040	0.050
Quartil Inferior	0.020	0.020
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008 (Background)		0.224



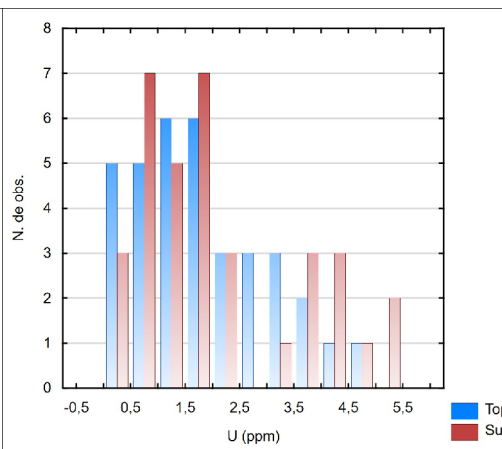
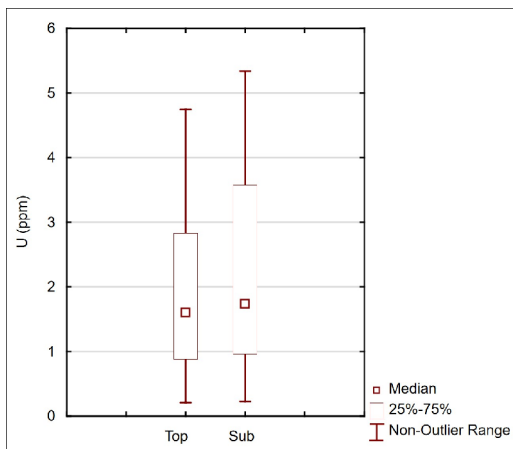
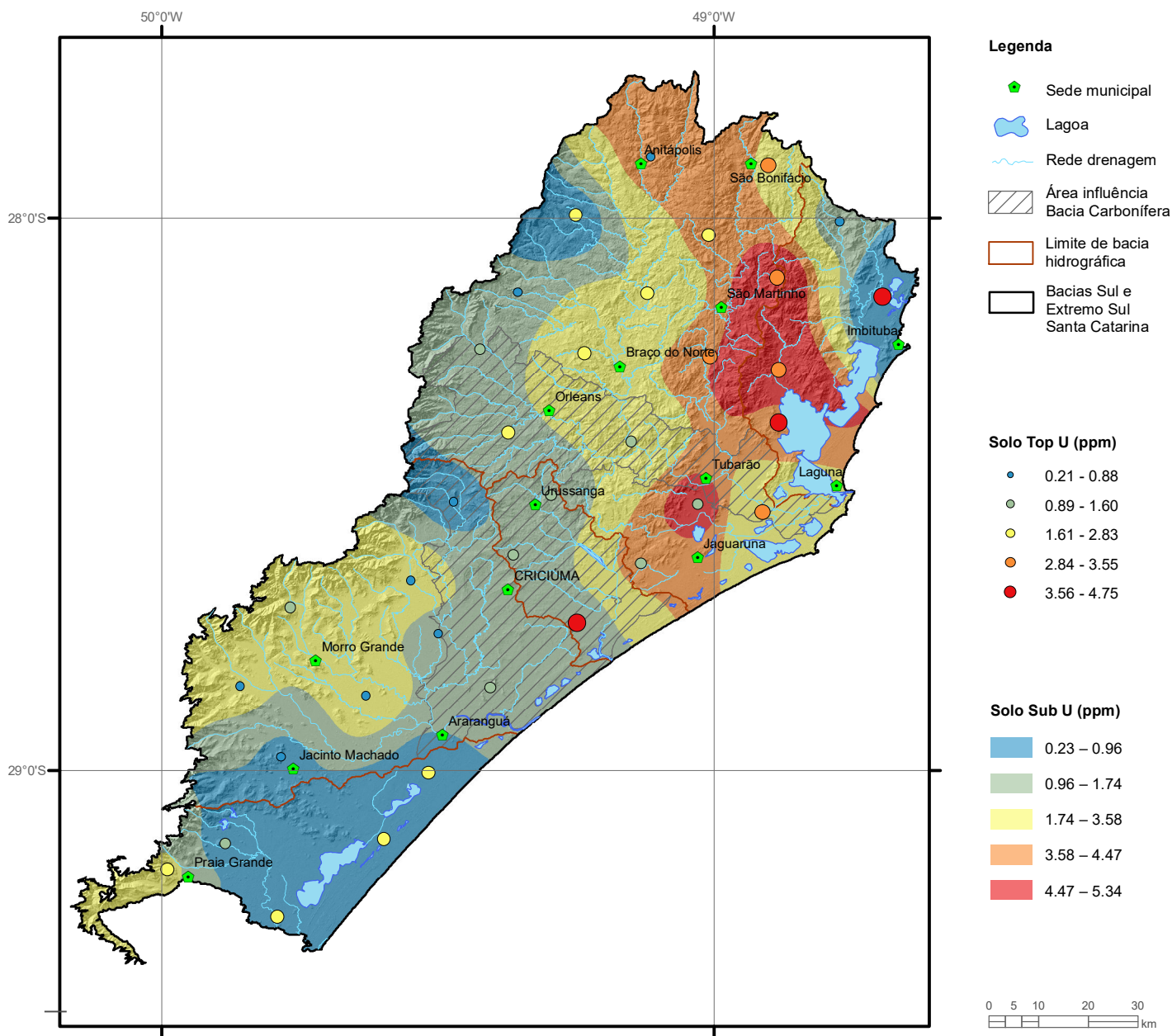
Elemento	TI (ppm)
Limite de Detecção	0.02
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.050
Valor Máximo	0.650
Média	0.246
Desvio Padrão	0.163
Quartil Superior	0.320
Mediana	0.215
Quartil Inferior	0.120
Clarke	0.72
CONAMA 454/2012	-



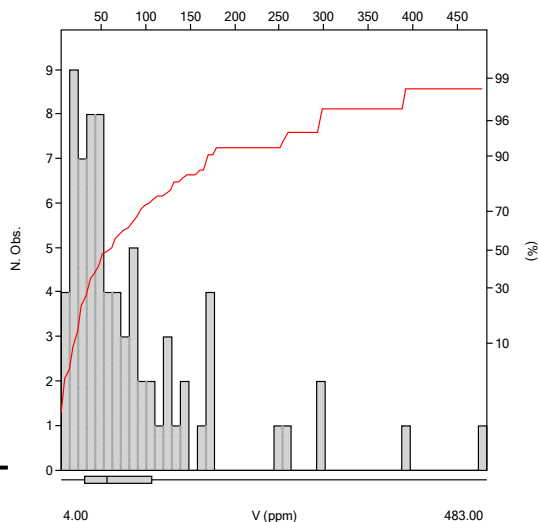
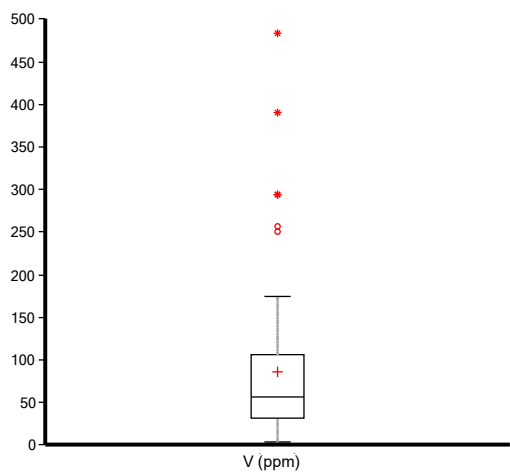
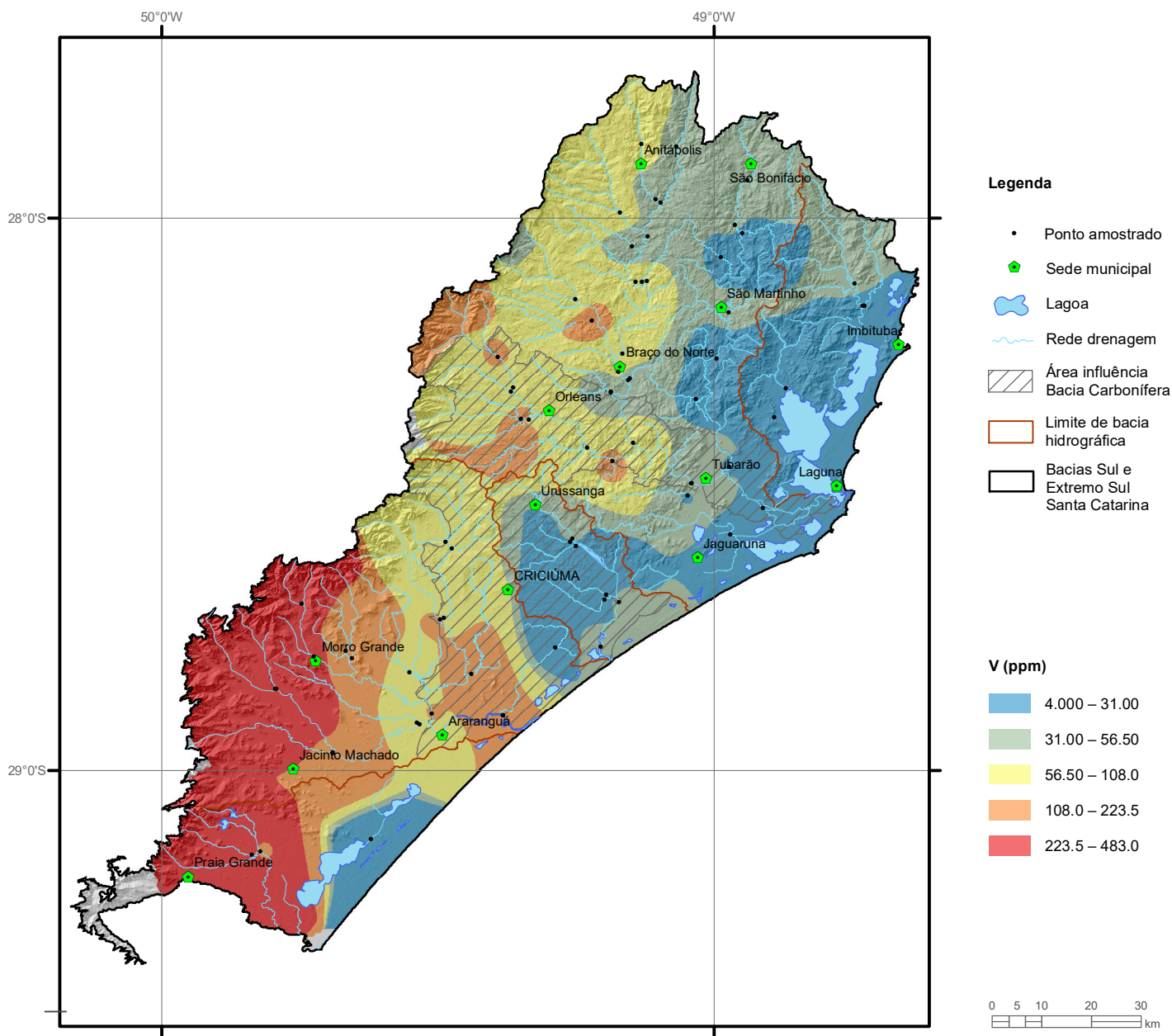
Elemento	TI (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.02	0.02
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.03	0.03
Valor Máximo	0.91	1.18
Média	0.30	0.39
Desvio Padrão	0.18	0.26
Quartil Superior	0.36	0.48
Mediana	0.28	0.31
Quartil Inferior	0.17	0.24
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008 (Target)		1.0



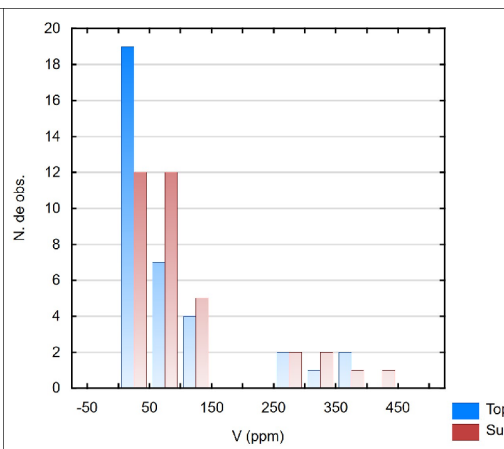
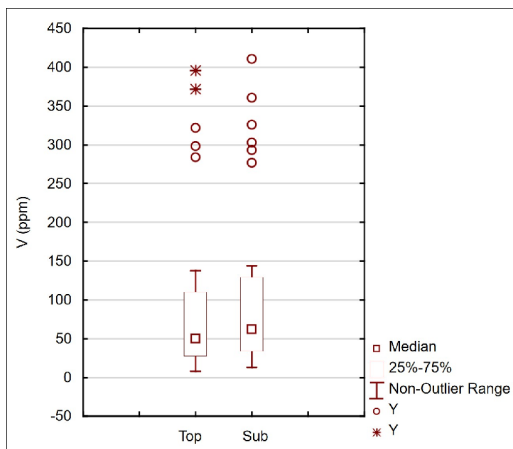
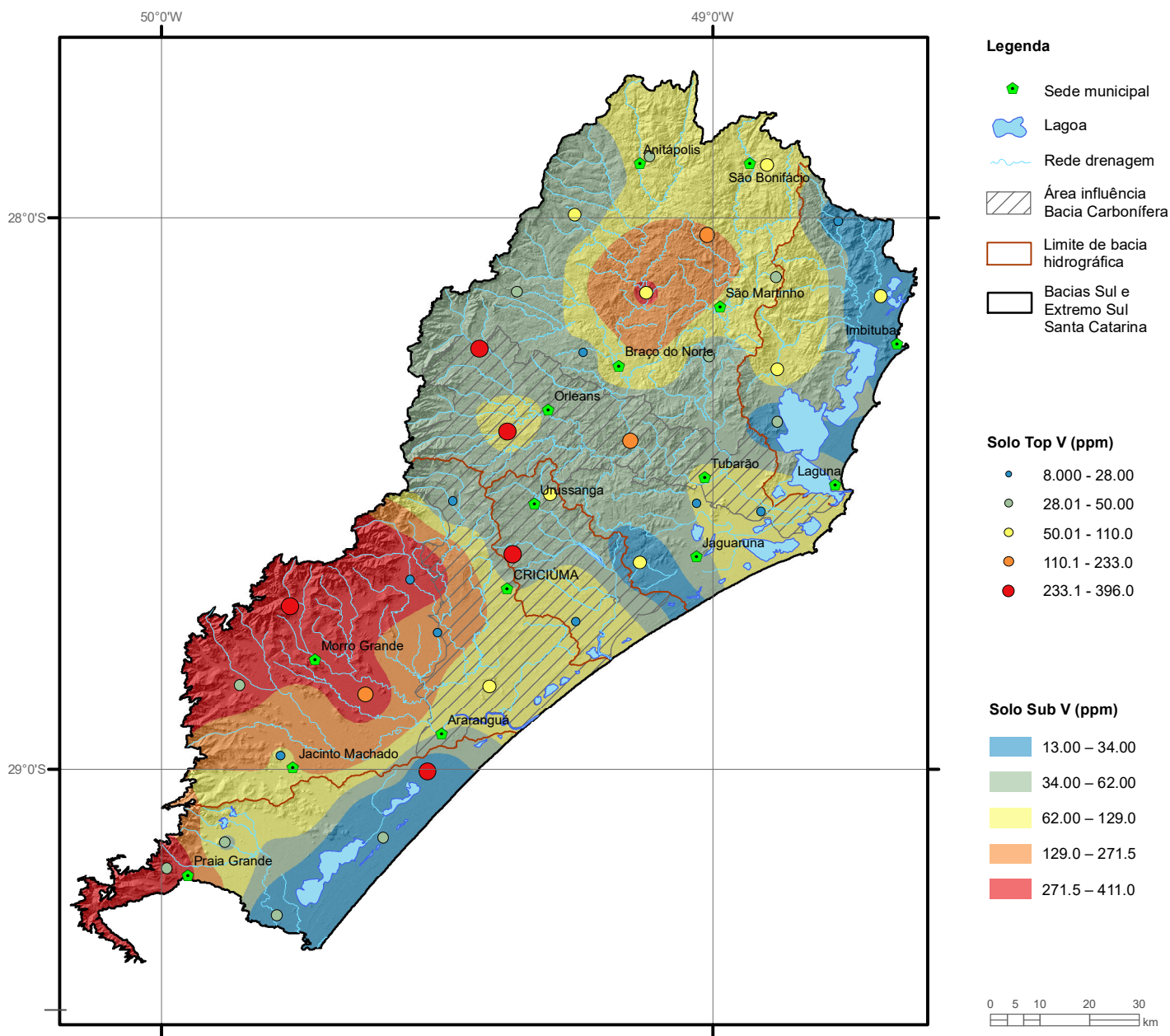
Elemento	U (ppm)
Limite de Detecção	0.05
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	0.19
Valor Máximo	7.35
Média	2.35
Desvio Padrão	1.81
Quartil Superior	3.60
Mediana	1.82
Quartil Inferior	0.74
Clarke	2.3
CONAMA 454/2012	-



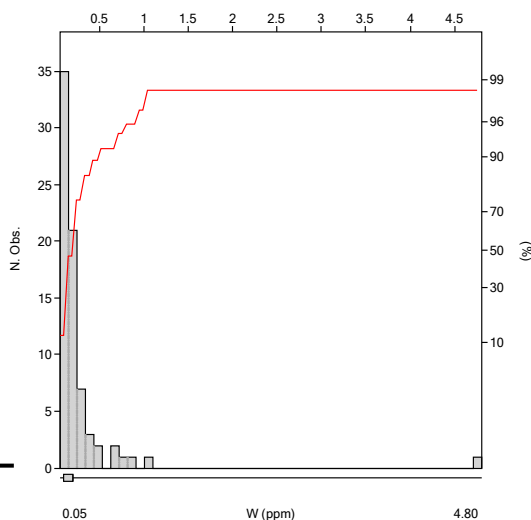
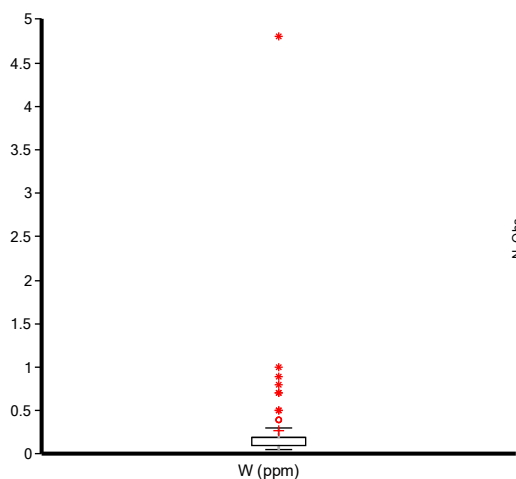
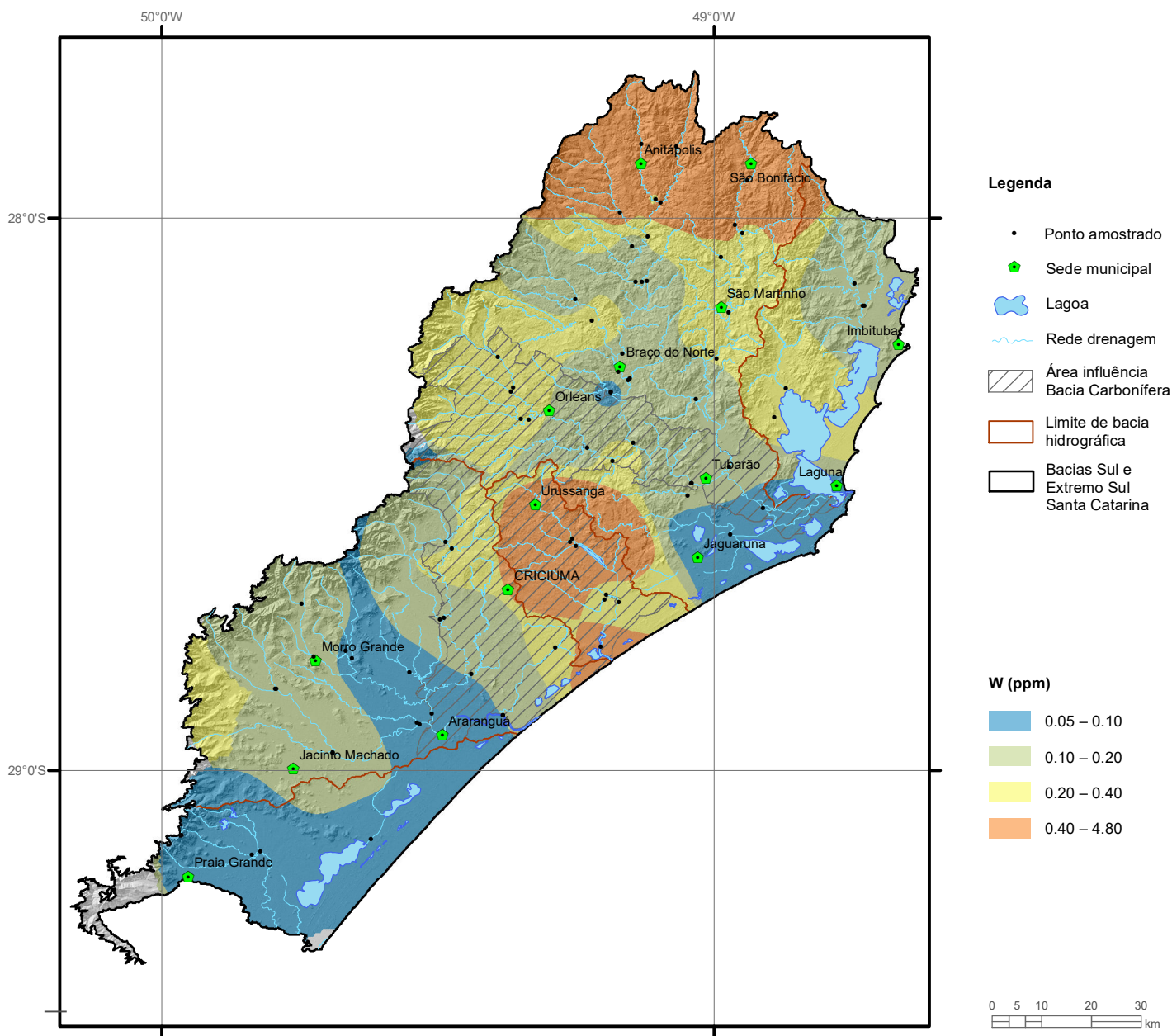
Elemento	U (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.05	0.05
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.21	0.23
Valor Máximo	4.75	5.34
Média	1.83	2.12
Desvio Padrão	1.18	1.52
Quartil Superior	2.83	3.58
Mediana	1.60	1.74
Quartil Inferior	0.88	0.96
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008 (Eco-SSL)		5.0



Elemento	V (ppm)
Limite de Detecção	1
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	4.000
Valor Máximo	483.0
Média	85.69
Desvio Padrão	88.16
Quartil Superior	108.00
Mediana	56.50
Quartil Inferior	31.00
Clarke	136
NOAA/2008 (Background)	50



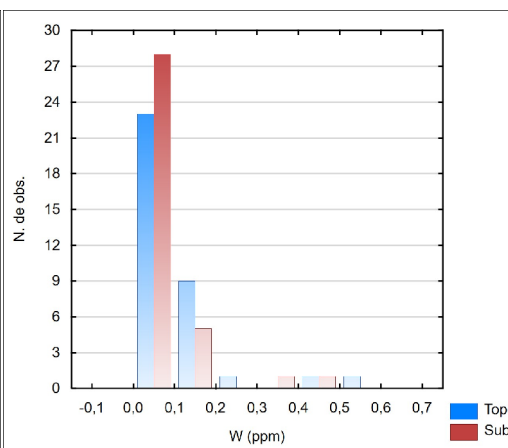
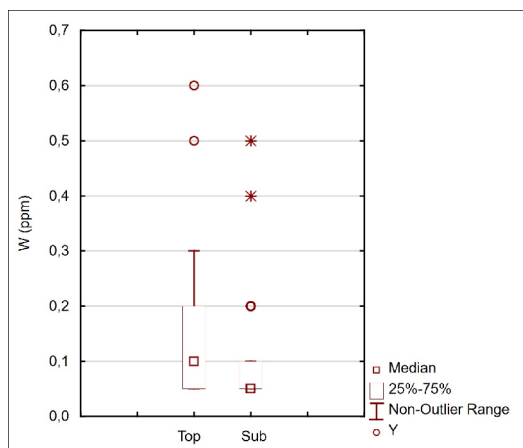
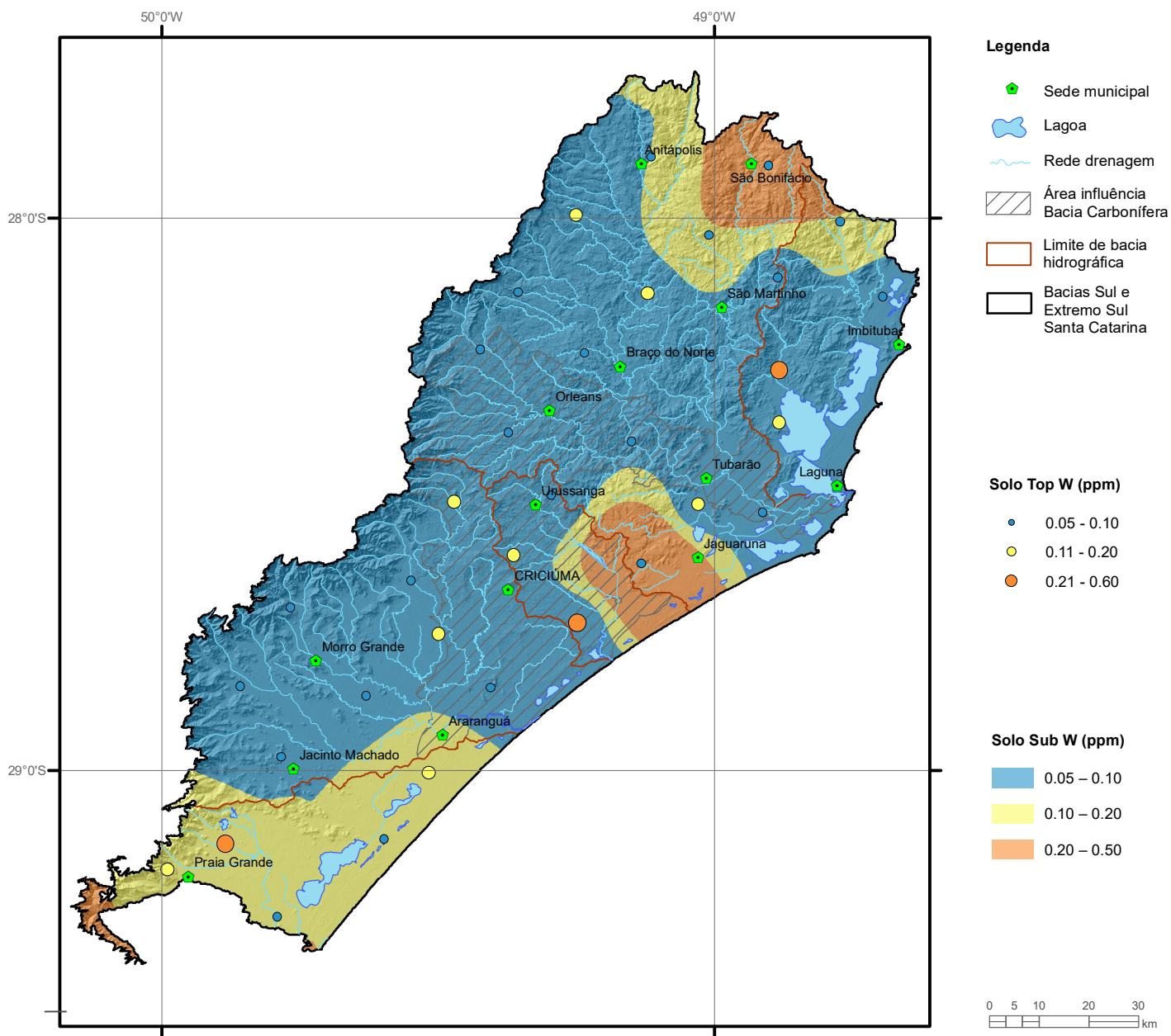
Elemento	V (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	1	1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	8.00	13.00
Valor Máximo	396.0	411.0
Média	91.8	107.7
Desvio Padrão	106.6	108.7
Quartil Superior	110.0	129.0
Mediana	50.0	62.0
Quartil Inferior	28.0	34.0
CONAMA 420/2009 (VI)		1000
NOAA/2008 (Intervention)		250



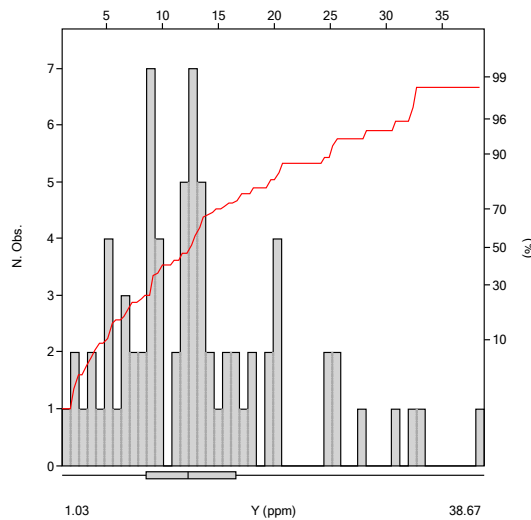
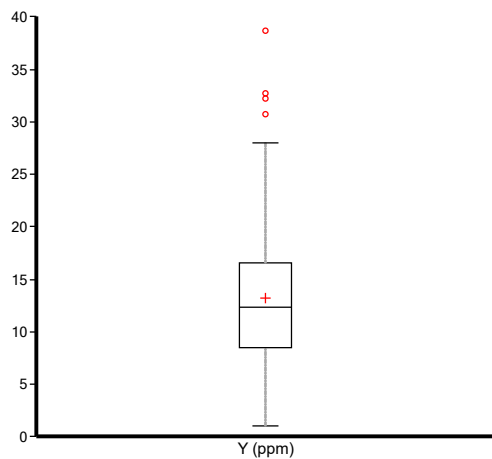
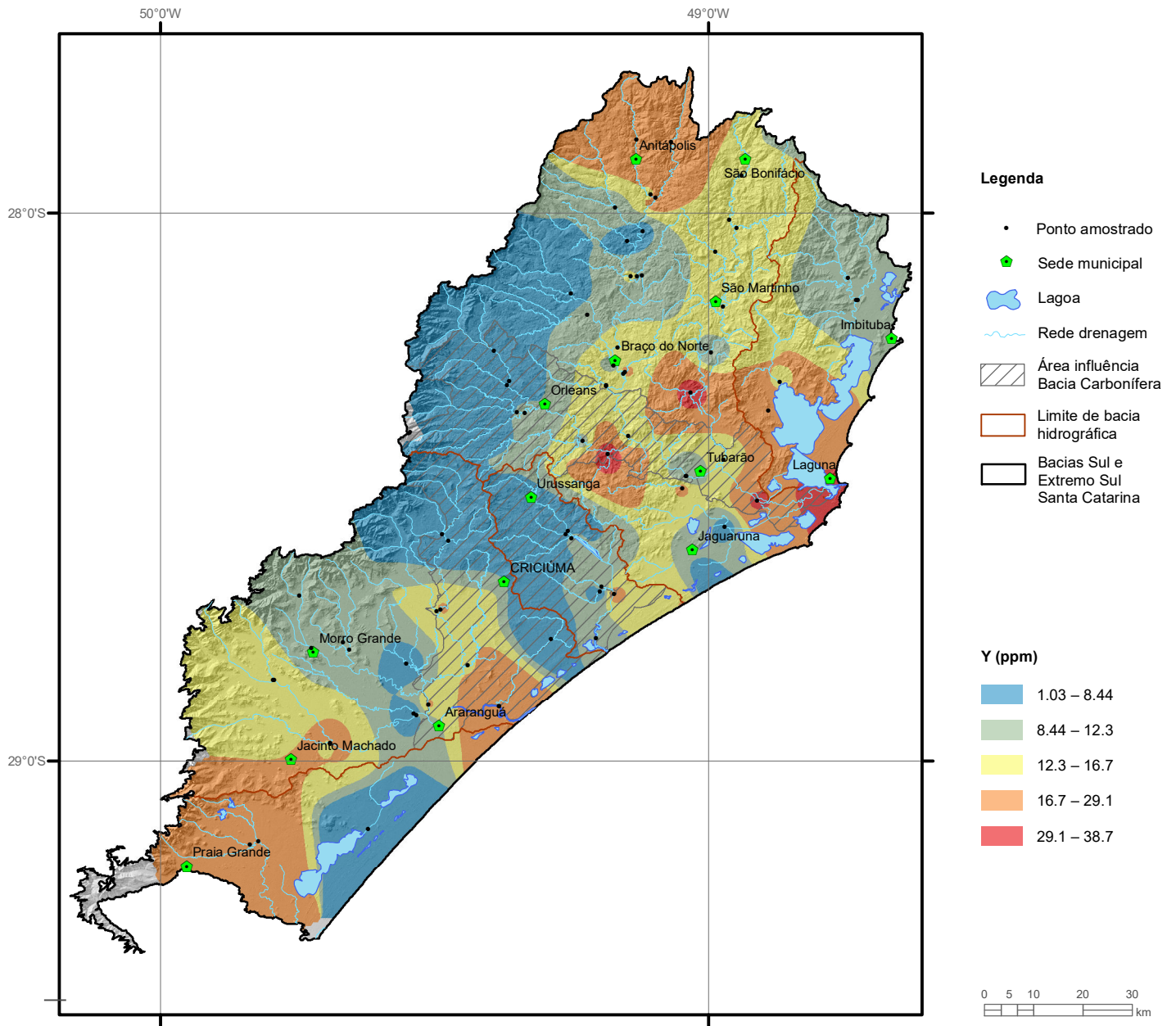
Elemento	W (ppm)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	74
Número de dados > LD	65
Valor Mínimo	0.05
Valor Máximo	4.80
Média	0.28
Desvio Padrão	0.57
Quartil Superior	0.20
Mediana	0.20
Quartil Inferior	0.10
Clarke	1.2
CONAMA 454/2012	-

TUNGSTÊNIO

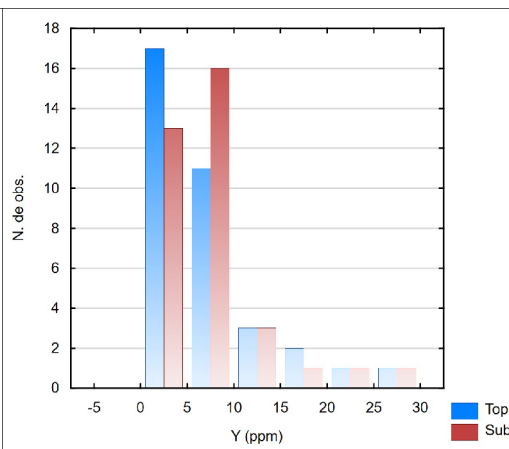
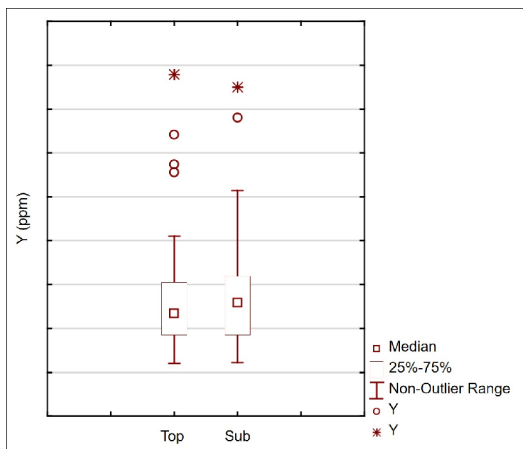
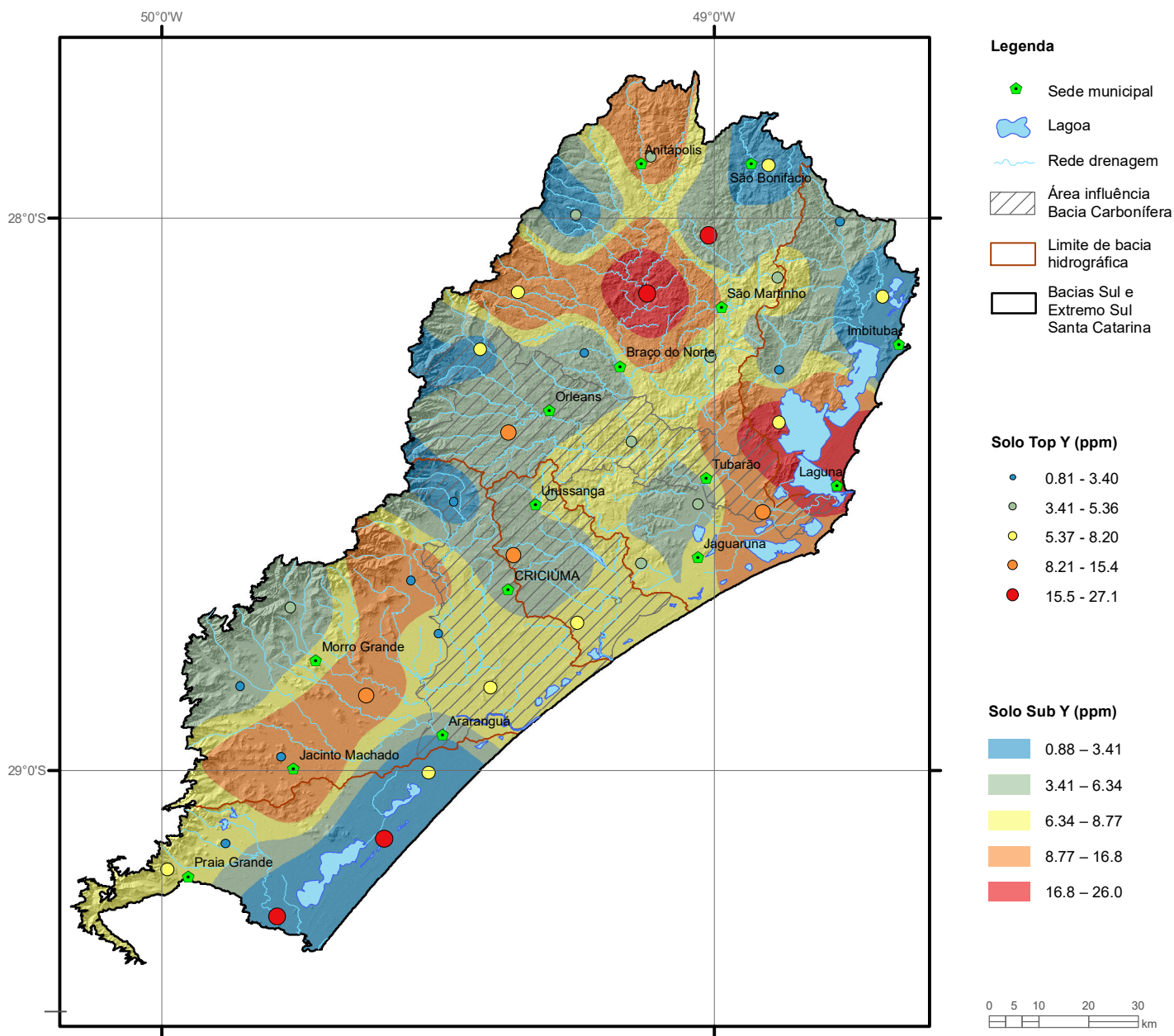
W Solo



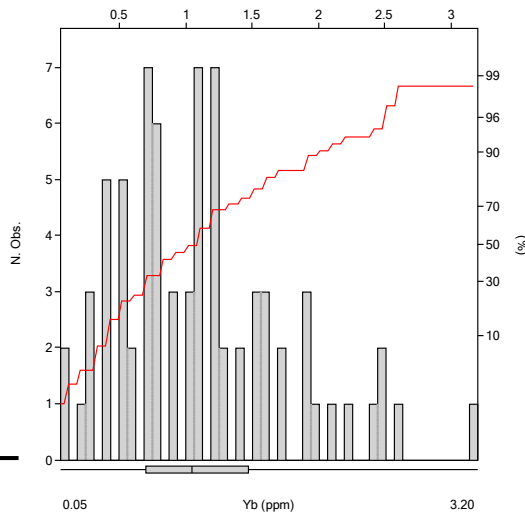
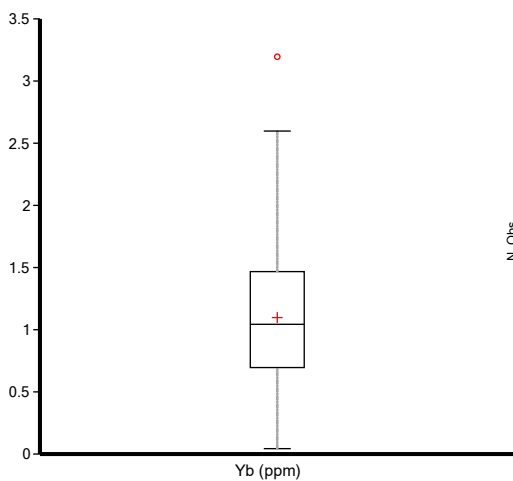
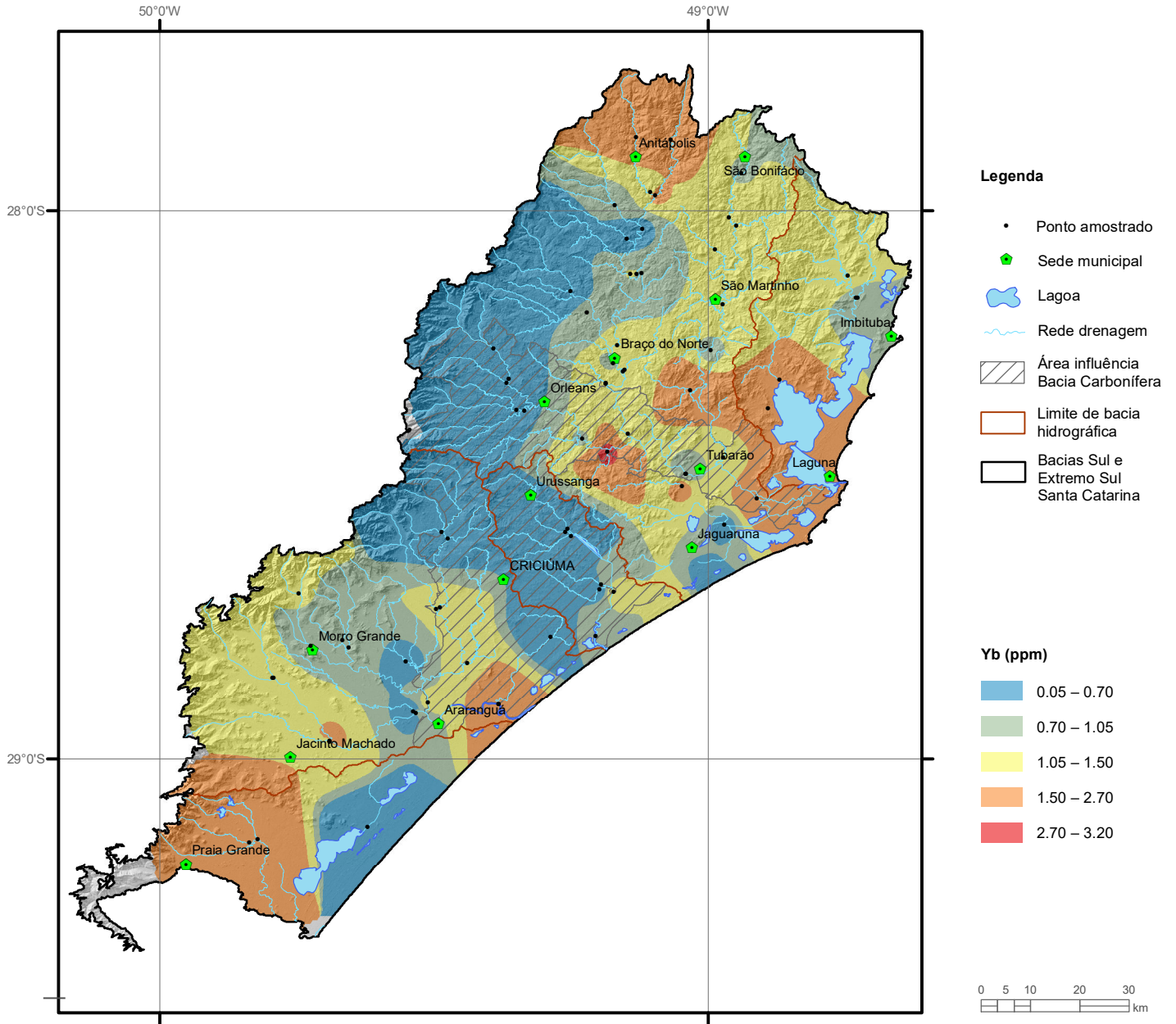
Elemento	W (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.1	0.1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	19	16
Valor Mínimo	0.05	0.05
Valor Máximo	0.60	0.50
Média	0.13	0.11
Desvio Padrão	0.13	0.10
Quartil Superior	0.20	0.10
Mediana	0.10	0.05
Quartil Inferior	0.05	0.05
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



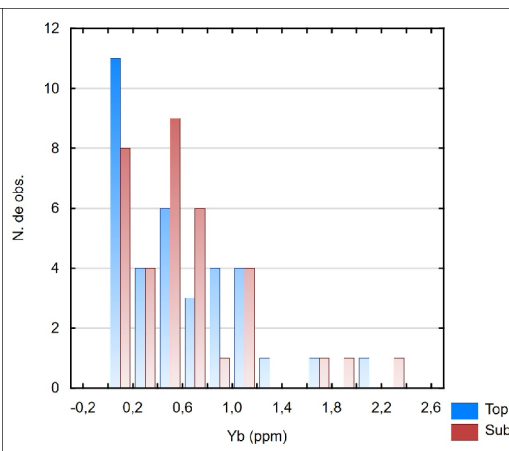
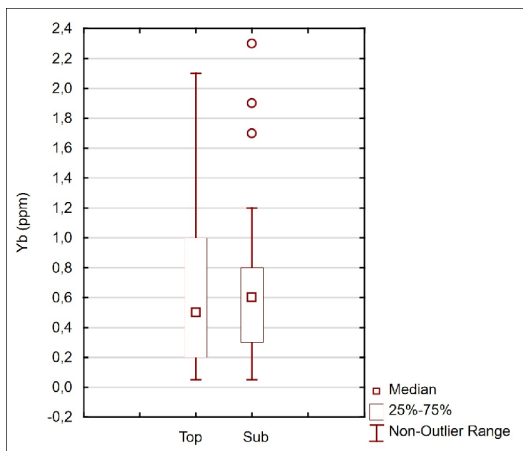
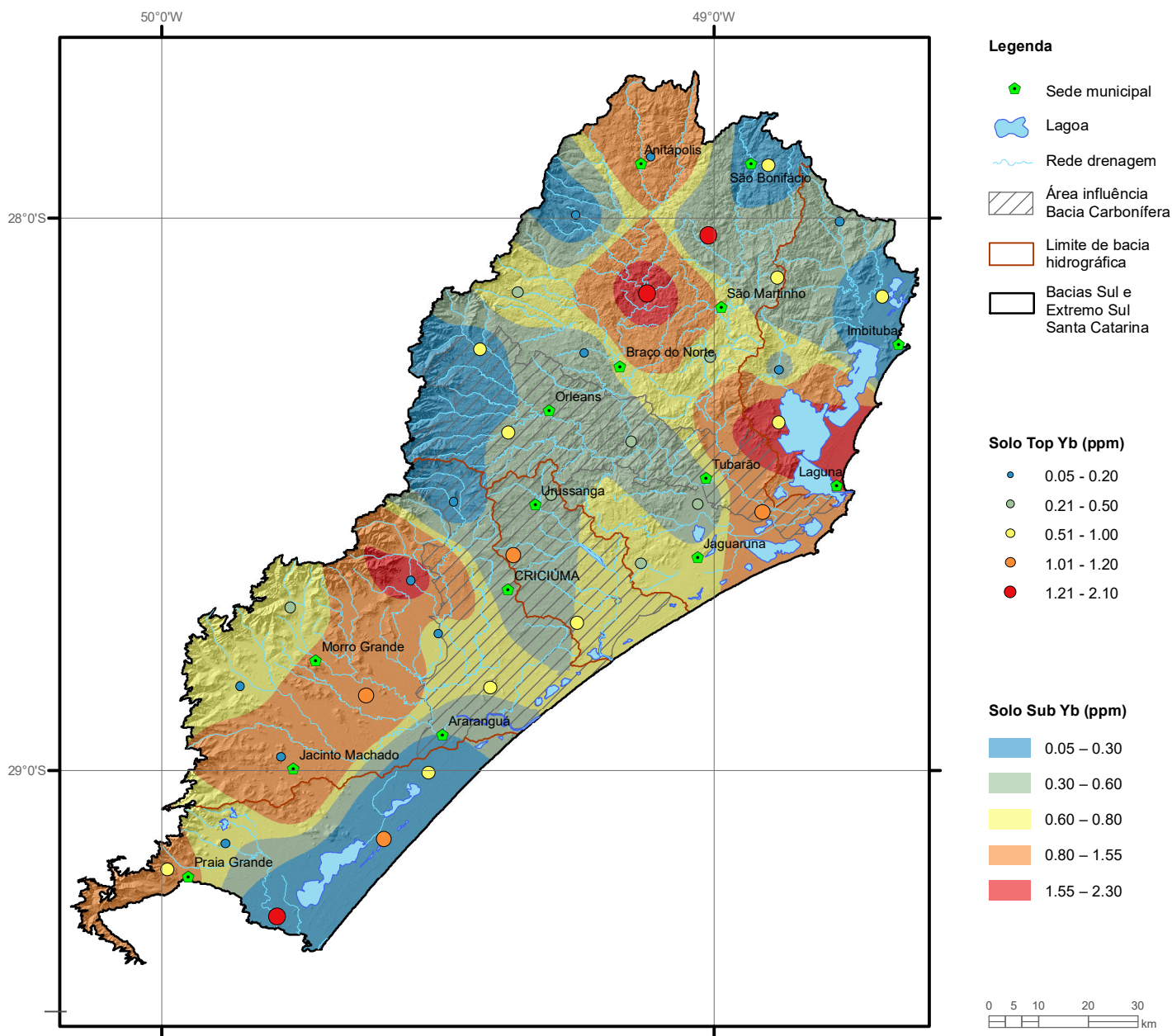
Elemento	Y (ppm)
Limite de Detecção	0.05
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	1.03
Valor Máximo	38.67
Média	13.25
Desvio Padrão	7.73
Quartil Superior	16.69
Mediana	12.35
Quartil Inferior	8.44
Clarke	31
CONAMA 454/2012	-



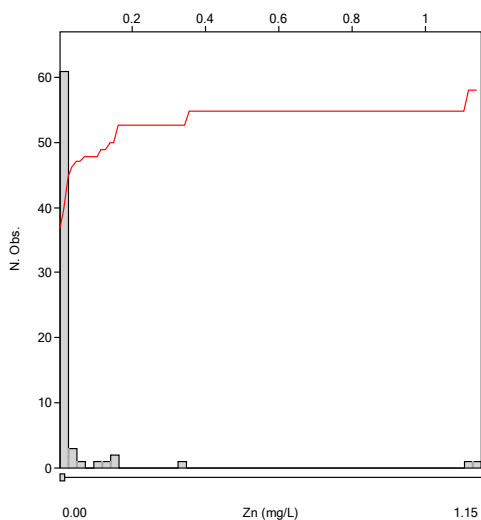
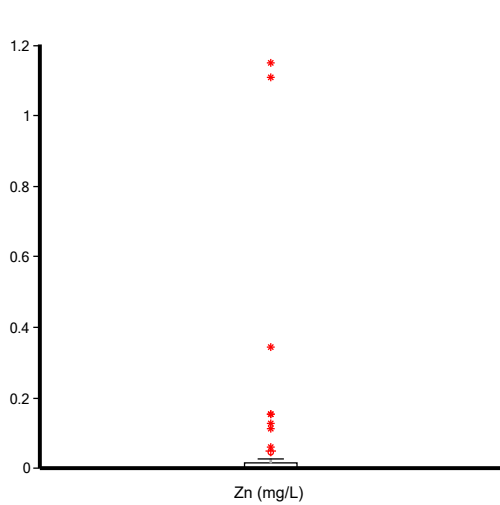
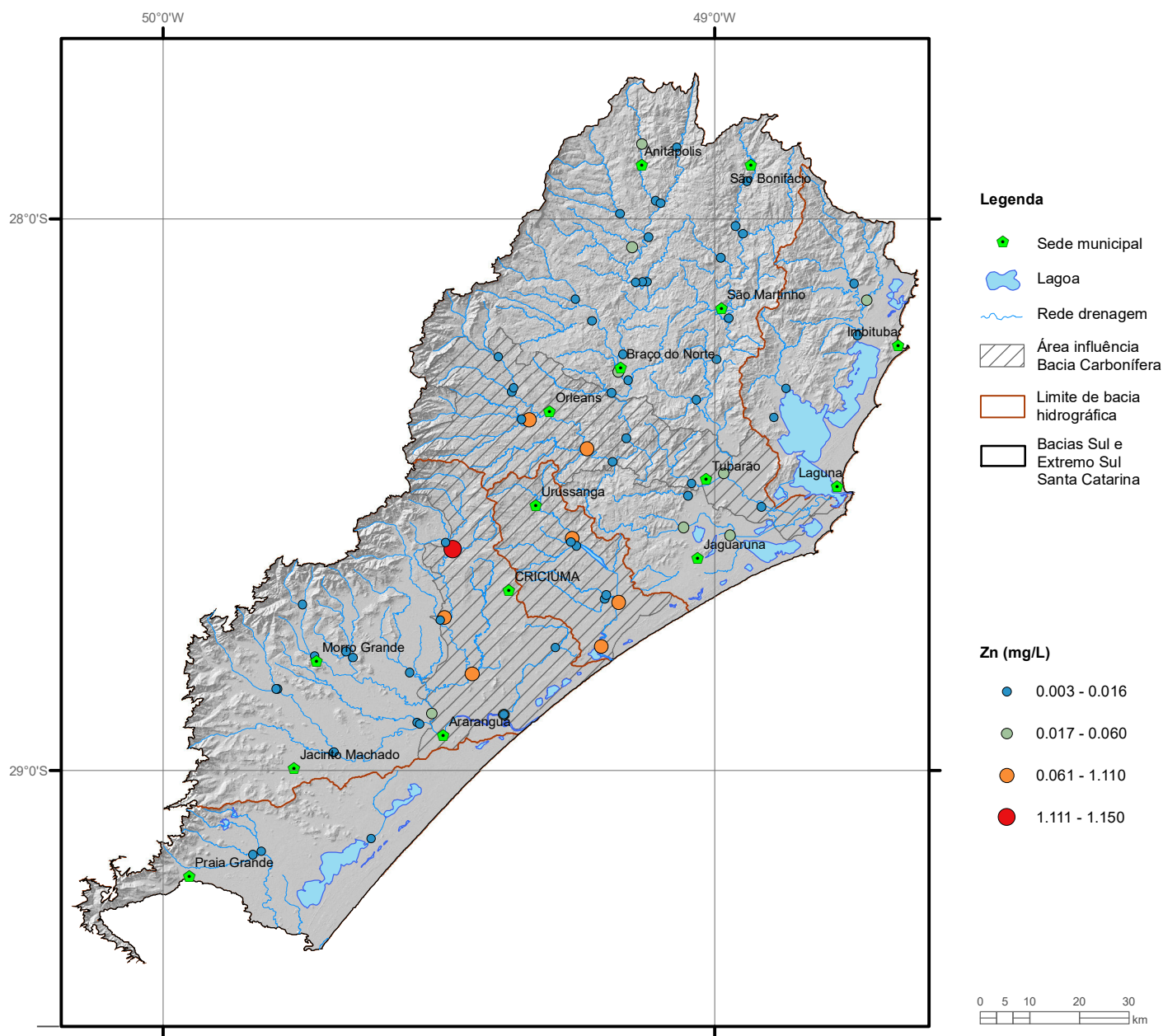
Elemento	Y (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.05	0.05
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	0.81	0.88
Valor Máximo	27.1	26.0
Média	7.14	7.21
Desvio Padrão	6.07	5.67
Quartil Superior	8.20	8.77
Mediana	5.36	6.34
Quartil Inferior	3.40	3.41
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



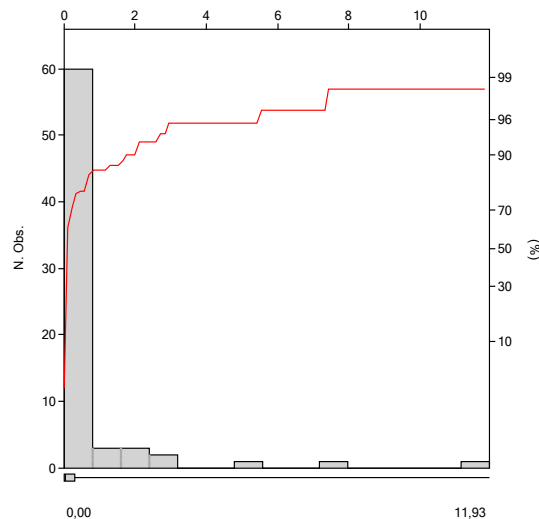
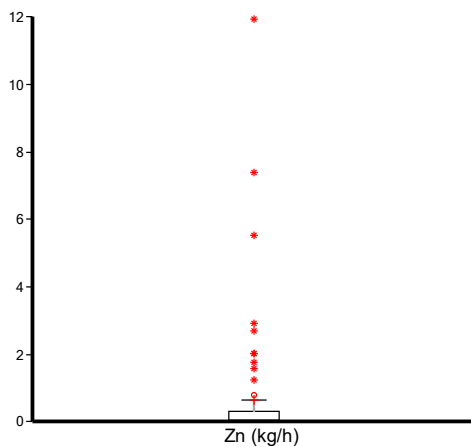
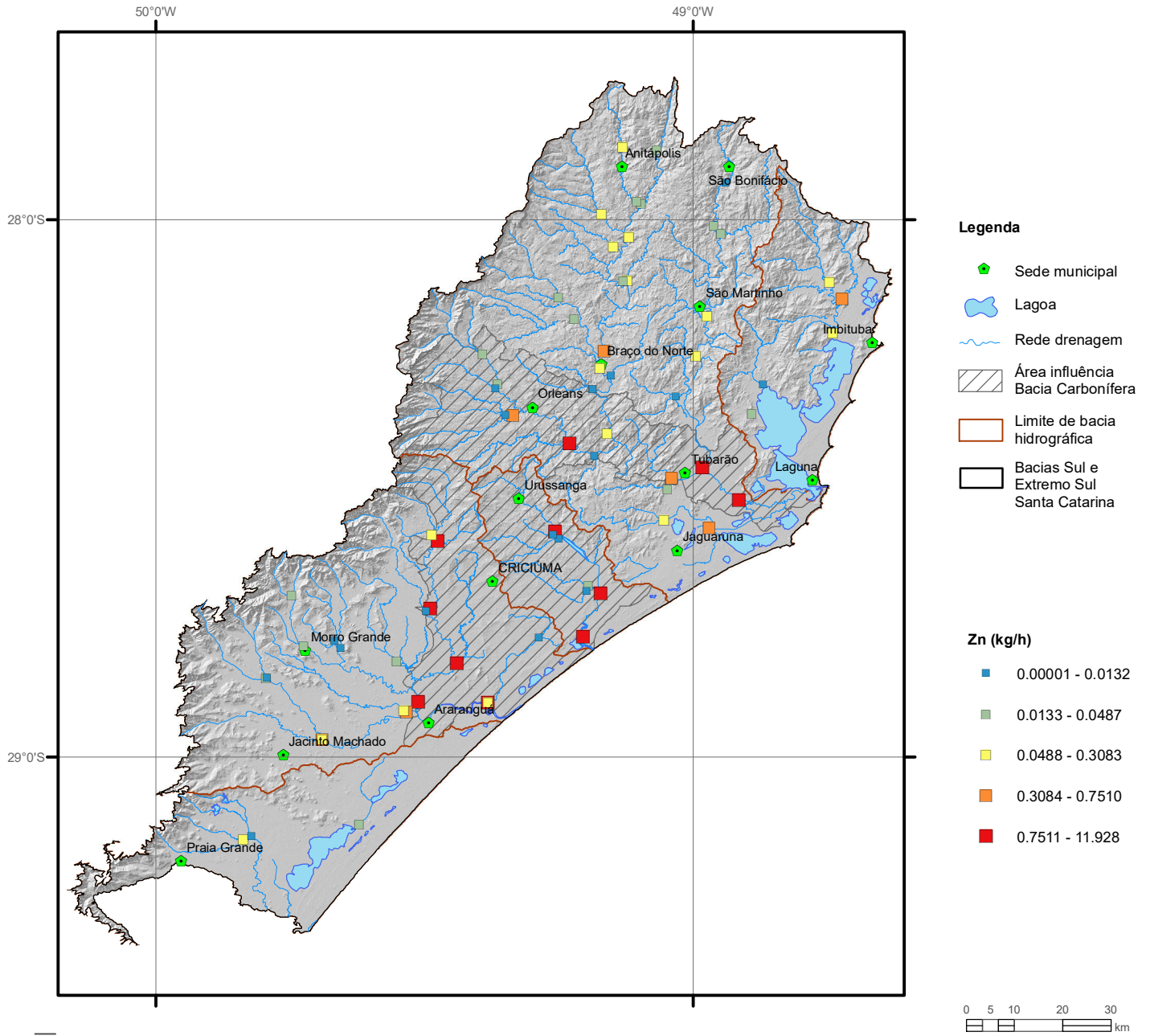
Elemento	Yb (ppm)
Limite de Detecção	0.1
Número de dados	74
Número de dados > LD	73
Valor Mínimo	0.05
Valor Máximo	3.20
Média	1.10
Desvio Padrão	0.65
Quartil Superior	1.50
Mediana	1.05
Quartil Inferior	0.70
Clarke	3.1
CONAMA 454/2012	-



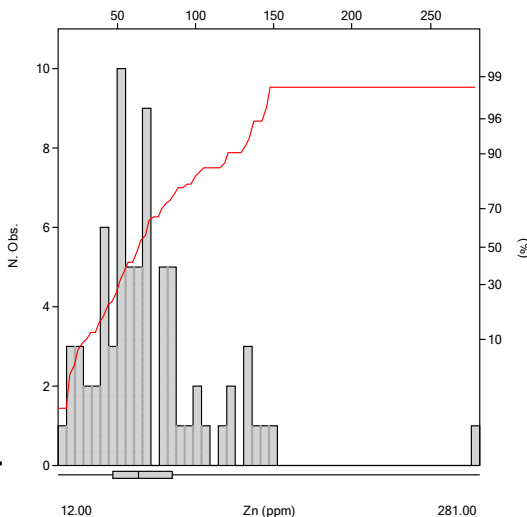
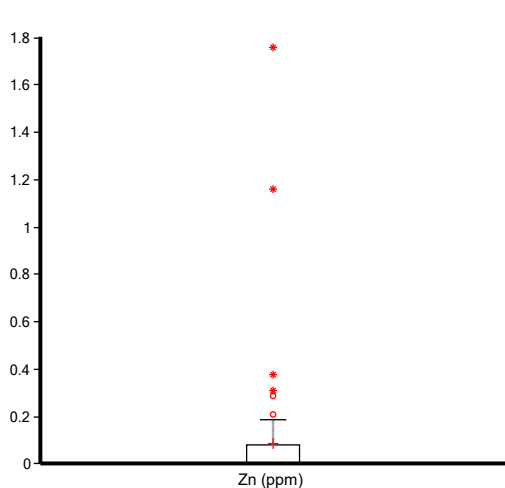
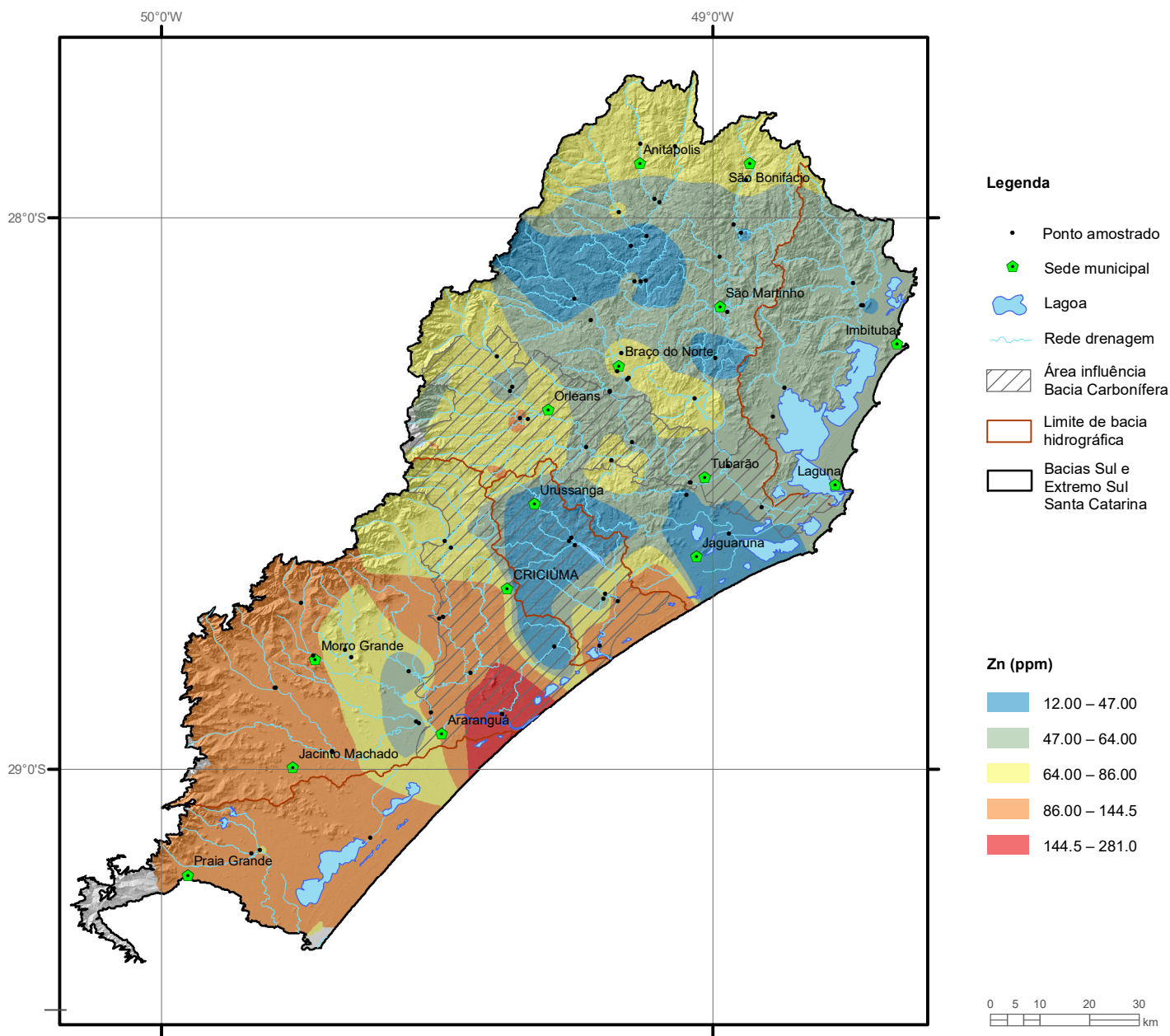
Elemento	Yb (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.1	0.1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	32	33
Valor Mínimo	0.05	0.05
Valor Máximo	2.10	2.30
Média	0.63	0.68
Desvio Padrão	0.50	0.52
Quartil Superior	1.00	0.80
Mediana	0.50	0.60
Quartil Inferior	0.20	0.30
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-



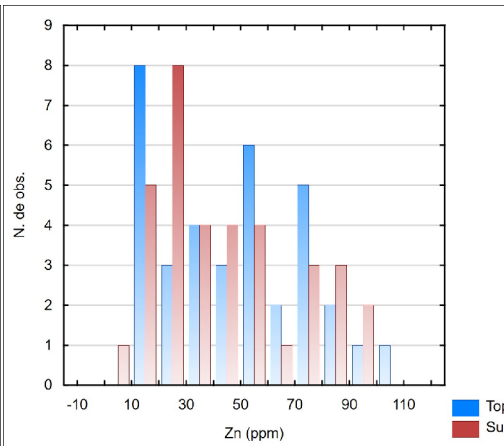
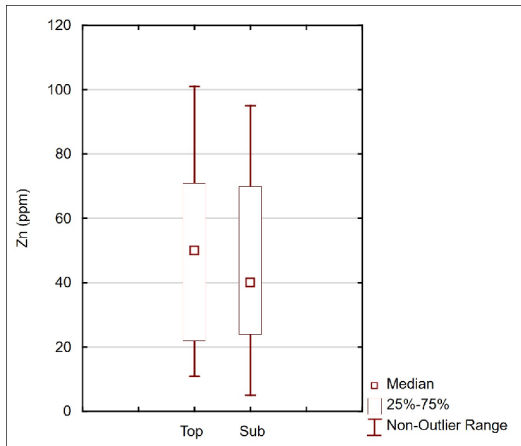
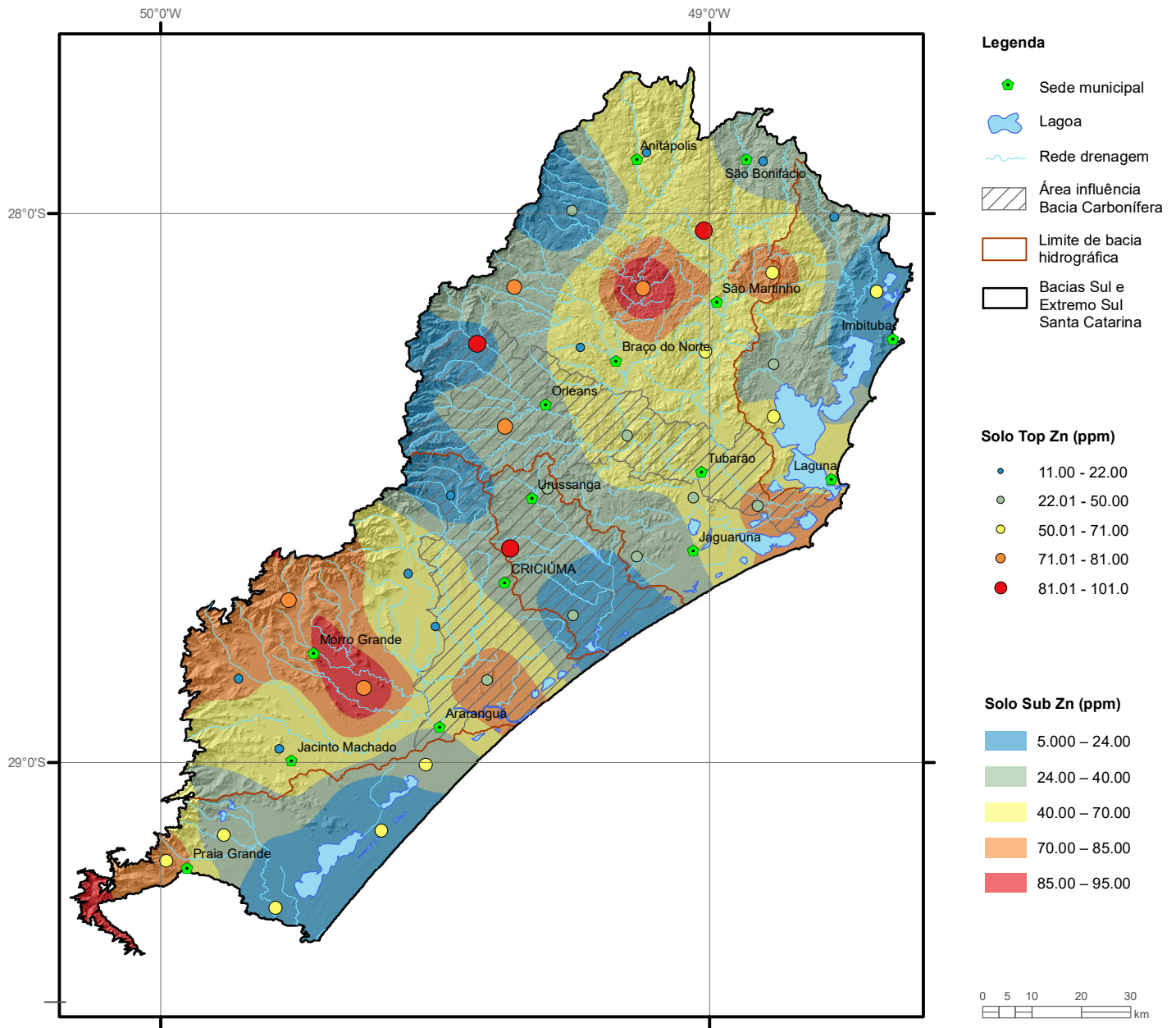
Elemento	Zn (mg/L)
Limite de Detecção	0.005
Número de dados	72
Número de dados > LD	27
Valor Mínimo	0.0025
Valor Máximo	1.15
Média	0.05
Desvio Padrão	0.19
Quartil Superior	0.016
Mediana	0.0025
Quartil Inferior	0.0025
CONAMA 357/2005 (II)	0.18
Portaria MS 2914/2011	5.00



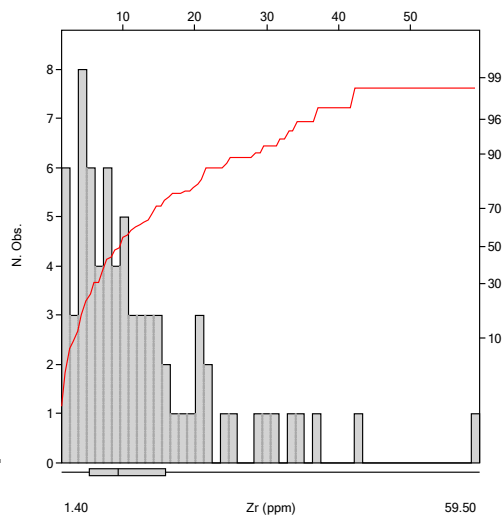
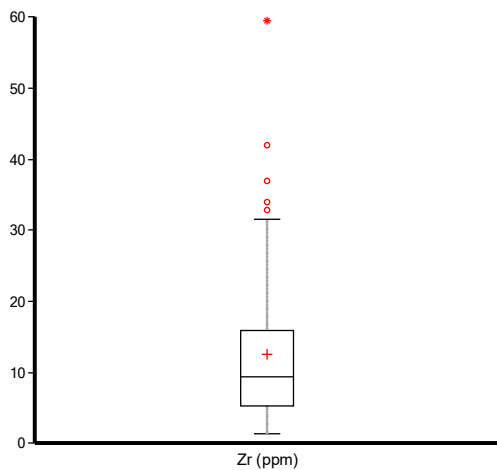
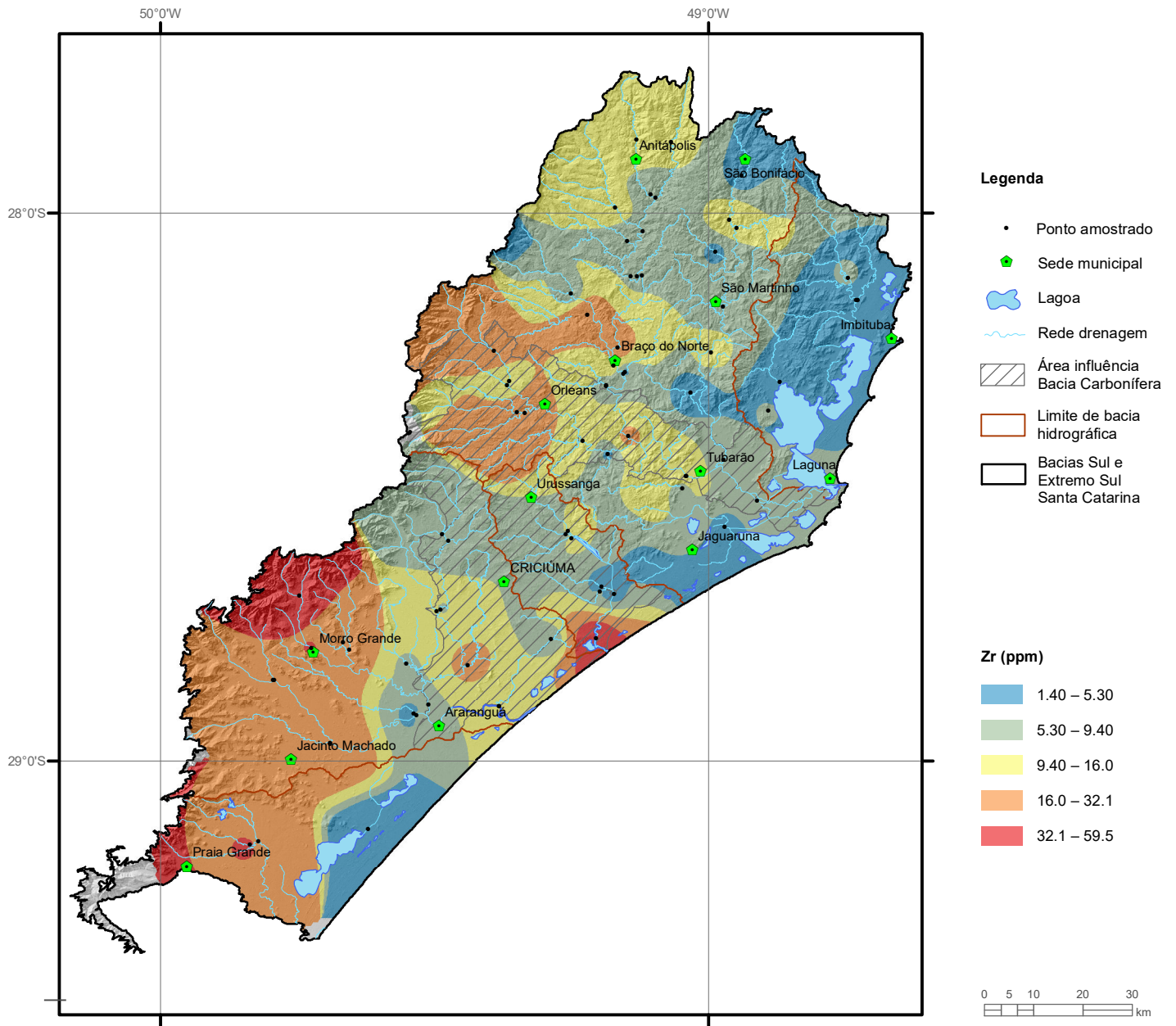
Estatística Descritiva	
Elemento	Zn (kg/h)
Número de dados	72
Valor Mínimo	0.00001
Valor Máximo	11.928
Média	0.6478
Desvio Padrão	1.8066
Quartil Superior	0.3083
Mediana	0.0487
Quartil Inferior	0.0132



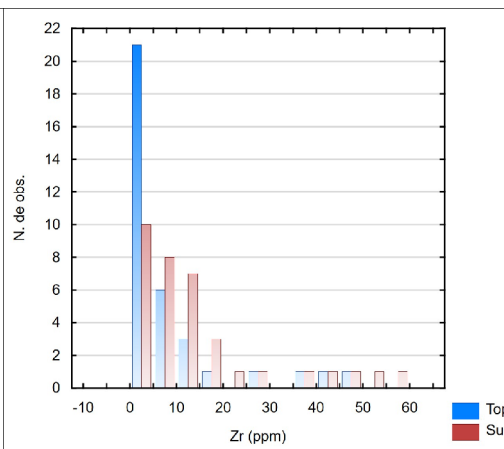
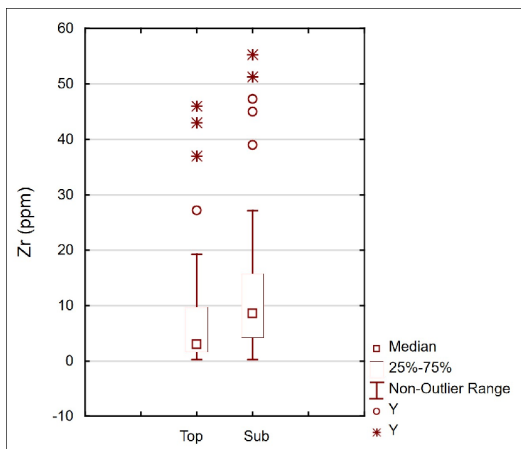
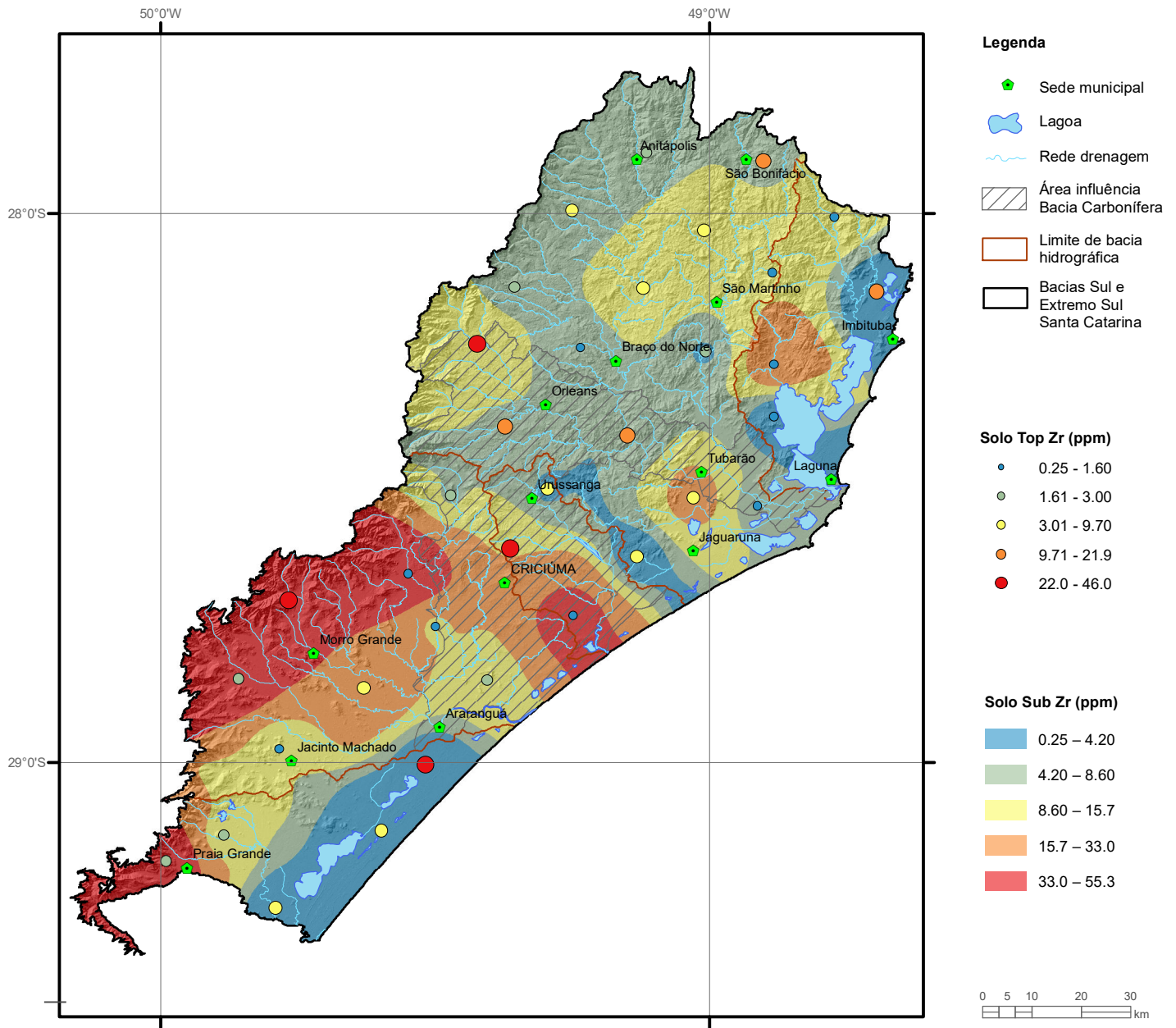
Elemento	Zn (ppm)
Limite de Detecção	1
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	12.0
Valor Máximo	281.0
Média	70.35
Desvio Padrão	40.24
Quartil Superior	86.0
Mediana	64.0
Quartil Inferior	47.0
Clarke	76
CONAMA 454/2012 (N1)	123



Elemento	Zn (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	1	1
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	35	35
Valor Mínimo	11.00	5.00
Valor Máximo	101.0	95.0
Média	48.69	44.34
Desvio Padrão	26.17	25.91
Quartil Superior	71.00	70.00
Mediana	50.00	40.00
Quartil Inferior	22.00	24.00
CONAMA 420/2009 (VP)		300
NOAA/2008 (Eco-SSL)		50



Elemento	Zr (ppm)
Limite de Detecção	0.5
Número de dados	74
Número de dados > LD	74
Valor Mínimo	1.40
Valor Máximo	59.50
Média	12.67
Desvio Padrão	10.70
Quartil Superior	16.00
Mediana	9.40
Quartil Inferior	5.30
Clarke	162
CONAMA 454/2012	-



Elemento	Zr (ppm)	
	Top	Sub
Tipo de Fonte	Top	Sub
Limite de Detecção	0.5	0.5
Número de dados	35	35
Número de dados > LD	34	33
Valor Mínimo	0.25	0.25
Valor Máximo	46.0	55.3
Média	8.39	14.60
Desvio Padrão	12.00	15.23
Quartil Superior	9.70	15.7
Mediana	3.00	8.60
Quartil Inferior	1.60	4.20
CONAMA 420/2009		-
NOAA/2008		-

■ ■ ■ PARÂMETROS ANALISADOS

PARÂMETROS ANALISADOS

Acidez

É a capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases, principalmente devido à presença de gás carbônico livre (pH entre 4,5 e 8,2). As formas constituintes responsáveis são sólidos dissolvidos e gases dissolvidos (CO_2 , H_2S). Sua origem natural é o CO_2 absorvido da atmosfera ou resultante da decomposição da matéria orgânica e o gás sulfídrico. De origem antropogênica, contribuem para o incremento de acidez os despejos industriais (ácidos minerais ou orgânicos) e a passagem da água por minas abandonadas, vazadouros de mineração e das borras de minério. Águas com acidez mineral são desagradáveis ao paladar e responsáveis pela corrosão de tubulações e materiais. Sua utilização mais frequente é na caracterização de águas de abastecimento (inclusive industriais), brutas e tratadas. O teor de CO_2 livre (diretamente associado à acidez), a alcalinidade e o pH estão inter-relacionados. Quando $\text{pH} > 8,2$: CO_2 livre ausente; pH entre 4,5 e 8,2: acidez carbônica; $\text{pH} < 4,5$: acidez por ácidos minerais fortes, usualmente resultante de despejos industriais ou de mineração (VON SPERLING, 2004). Em áreas de mineração de carvão, a reação de oxidação de sulfetos resulta em acidificação e liberação de metais pesados no meio aquático.

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 4,98 mg CaCO_3/L e valores máximos nos rios Fiorita (472 mg CaCO_3/L), Sangão (252 mg CaCO_3/L), Canal Urussanga (240 mg CaCO_3/L) e cabeceiras do Rio Tubarão (145,5 mg CaCO_3/L).

As cargas de acidez resultaram em mediana de 45,9 kg/h, majoradas pela DAM e não se atenuam com a distância, crescendo na medida em que entram novas fontes e a vazão aumenta, tanto que as maiores cargas foram registradas na foz dos rios Araranguá (5956,9 kg/h) e Tubarão (2576,7 kg/h).

Ag – Prata

A prata (do latim – *argentum*) é um metal relativamente raro, de coloração esbranquiçada, altamente dúctil, maleável e com alta resistência à corrosão. Quando puro é o mais notável condutor de eletricidade e calor dentre todos os metais. Pode ocorrer como elemento livre na natureza ou associada a minérios sulfetados de Pb, Co, Ni, Sr e As, principalmente como o mineral argentita (Ag_2S). É usada principalmente como insumo na fotografia, radiologia,

joias, instrumentação cirúrgica, baterias e produção de chuva artificial. Trata-se de um elemento tóxico, podendo causar a morte. As principais reservas do elemento no Brasil encontram-se no estado do Pará, mas ocorrem também em Minas Gerais.

No levantamento geoquímico realizado não foram analisadas as concentrações de Ag em água superficial.

Os sedimentos de fundo apresentaram apenas 46% das amostras com resultados acima do limite de detecção - LD (0,01 ppm), resultando numa mediana de 0,005 ppm, bem abaixo da média mundial para esse elemento na crosta (0,07 ppm). Dois valores estiveram acima do limite LEL (*Lowest Effect Level*) da NOAA (0,5 ppm), referente ao menor nível de efeito em sedimentos de água-doce, ambos no Rio Mãe Luzia na Bacia de Araranguá, em Siderópolis (1,76 ppm), e logo a jusante em Nova Veneza (1,16 ppm).

Os solos apresentaram resultados acima do limite de detecção (0,01 ppm) em 34,3% das amostras superficiais e em 22,9% das amostras subsuperficiais, com mediana de 0,005 ppm em ambos os casos, e valores máximos superficiais (0,31 ppm) e subsuperficiais (0,22 ppm), bem abaixo do limite estabelecido pelo valor de prevenção (VP) do CONAMA 420/2009 (2 ppm), motivo pelo qual os mapas não são apresentados.

Al - Alumínio

O alumínio é um metal de coloração prateada, litófilo, leve, maleável, dúctil, com baixo ponto de fusão, bom condutor de eletricidade e resistente à corrosão, sendo o metal que existe em maior quantidade na crosta terrestre, e o terceiro elemento mais abundante, depois do oxigênio e silício. O Al não é encontrado livre na natureza, mas nos minerais silicatados combinado com ferro, metais alcalinos e alcalino-terrosos. O Al dissolvido é enriquecido nas argilas neoformadas e, desta forma, sua concentração é alta nos sedimentos argilosos, rochas pelíticas e derivadas de argilominerais, como os filitos e micaxistos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN *et al.* 1992). O principal mineral-minério é a bauxita, uma mistura de óxidos, alumina (Al_2O_3), hidróxidos, gibbsita e outras impurezas. É muito usado no mundo moderno em ligas metálicas que compõem a maioria dos utensílios e máquinas existentes. Não é um nutriente essencial e, se assimilado em excesso, pode ser prejudicial e tóxico. As maiores reservas de bauxita brasileira encontram-se no estado do Pará.

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 0,098 mg/L, valor equivalente ao limite estabelecido pelo CONAMA 357/2005 para a Classe 1 (0,1 mg/L), e 35 amostras acima desse limite, distribuídas nas bacias afetadas pela mineração, Araranguá, Urussanga e Tubarão. O valor máximo de 27,6 mg/L foi obtido no Rio Fiorita e, em ordem decrescente, seguem o Canal Urussanga (24,1 mg/L), rios Sangão (18,3 mg/L), Urussanga - BR101 (9,03 mg/L), Canal Urussanga - foz (7,25 mg/L), rios Palmeiras (5,86 mg/L), dos Índios (4,4 mg/L), Tubarão (3,47 mg/L), Bravo (2,11 mg/L), dos Bugres (1,36 mg/L), do Meio (1,23 mg/L) e um tributário do Braço do Norte (1,02 mg/L), citando apenas aqueles que se situaram pelo menos uma ordem de grandeza acima do limite supracitado.

As cargas de Al tiveram mediana de 0,99 kg/h e as maiores foram registradas em áreas afetadas pela DAM, tal como no trecho médio do Rio Tubarão (228,9 kg/h), em três pontos do Rio Urussanga (70,6 - 153,4 kg/h) e dois pontos no Rio Araranguá (91,3 e 121,7 kg/h), sendo que nas últimas bacias, as maiores cargas localizaram-se na foz dos rios principais, o que reflete uma correlação positiva com a vazão.

Para sedimento de fundo, o elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira, mas a NOAA aponta o valor ARCS (2,5%), acima do qual ocorrem efeitos biológicos adversos (EPA, 1996). As amostras de sedimento apresentaram mediana de 1,53% e valor máximo de 3,65%, sendo que 10 amostras apresentaram valores acima ou igual ao supracitado limite, são eles: rios Mãe Luzia (3,65%), Urussanga - BR101 (3,48%), Figueira (3,12%), dos Porcos - foz (3,1%), Malacara (3,04%), Leão (2,78%), Braço do Norte - nascentes (2,72 e 2,58%), Sangão (2,61%) e Amola Faca - nascente (2,5%).

O elemento também não possui valor de restrição em solos na legislação brasileira, mas a NOAA aponta um valor de prevenção Eco-SSL para efeitos tóxicos em plantas (5,0%). Amostras de solo superficial apresentaram mediana de 2,44% e valor máximo de 7,3%, com valores acima do limite supracitado em quatro amostras: Curral Falso (7,3%), Araçatuba (6,12%), Cocal do Sul (5,17%) e São Martinho (5,1%). Em solo subsuperficial, as amostras apresentaram mediana de 3,32 % e valor máximo de 8,12%, com sete amostras acima do limite: Vila Maria (8,12%), Nova Roma (7,73%), Morro dos Heinzen (7,57%), Anitápolis (6,21%), Praia Grande - serra (5,57%), Rio Atafona (5,2%) e Rio Fortuna (5,04%).

Embora os valores mencionados estejam acima dos limites recomendados para a segurança ambiental,

considerando que a média mundial em solos é de 8% (REIMANN; CARITAT, 1998), os resultados demonstram que até mesmo os maiores teores obtidos podem ser considerados naturais, tanto em solos superficiais a noroeste, quanto subsuperficiais no nordeste e sudoeste, ambos situados em áreas de nascentes, aparentemente isentas de qualquer perturbação antrópica.

Em sedimentos, cujos valores podem ser comparados ao Clarke - teor médio do elemento na crosta terrestre (8,15%), os maiores teores obtidos podem ser considerados naturais, tanto no norte quanto no sul, e até mesmo as elevações pontuais antrópicas na foz das bacias de Araranguá e Urussanga, encontram-se bem abaixo do Clarke. Já a área central do mapa possui um relevo geoquímico negativo, justamente onde ocorrem as maiores concentrações de Al em águas superficiais, coincidentes com as áreas afetadas por DAM (central) e pela exploração de fluorita (norte), demonstrando que o impacto sobre o alumínio é de retirada das matrizes sólidas ou minerais.

Esse comportamento geoquímico justifica-se pelo pH, principal barreira geoquímica do elemento, cuja mobilidade ambiental é muito baixa, mas aumenta em ambientes de pH inferior a 5,5. Nessa situação, bem comum em áreas afetadas por DAM, aumenta a competição de Al^{3+} com os cátions de outros elementos para os sítios de troca dos minerais argilosos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001), liberando o íon em solução.

As - Arsênio

O arsênio é um não metal de coloração variando de cinza-metálico a amarela, comumente fixando-se na forma de arsenatos em argilominerais e matéria orgânica. Ocorre raramente em estado nativo e tem como principais minerais a arsenopirita ($FeAsS$), a loellingita ($FeAs_2$), o ouro-pigmento (As_2S_3) e o realgar (As_4S_4). Sua principal utilização é em vidros clarificados, ligas metálicas, fogos de artifício e em diversos biocidas. Elemento altamente tóxico, carcinogênico para a maioria dos seres vivos, embora seja micronutriente para alguns. As principais ocorrências brasileiras de arsênio estão associadas a depósitos auríferos do tipo *greenstone belt* na Bahia (Rio Itapicuru), Goiás (Crixás) e Minas Gerais (Paracatu).

Como consequência da mineração, rejeitos contendo sulfetos são expostos à superfície e oxidam-se por reação com a água e o oxigênio, gerando a DAM e solubilizando elementos químicos e os metais pesados presentes nas matrizes sólidas. Devido à abundância de sulfetos, tais como arsenopirita ($FeAsS$) neste tipo

de matriz, o As é um dos principais produtos disponibilizados pela DAM.

No levantamento geoquímico realizado não foram detectados, em água superficial, valores acima do limite de quantificação.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 1,5 ppm e valor máximo de 12,0 ppm, no alto curso da Bacia de Tubarão em Anitápolis, próximo às áreas de ocorrência de fluorita. Outras seis violações ao CONAMA 454/2012 – Nível 1 (5,9 ppm) ocorreram nas áreas afetadas pelo carvão, nas bacias de Araranguá e Urussanga, nos rios dos Porcos (8 ppm), Mãe Luzia (8 e 7 ppm), e no Canal Urussanga, desde o seu curso médio (6 ppm), sob a BR101 (6 ppm), até a sua foz (6 ppm).

As amostras de solo superficial apresentaram mediana de 4,0 ppm e valor máximo de 12,0 ppm. No solo subsuperficial as amostras apresentaram mediana de 6,0 ppm e valor máximo de 14,0 ppm. Nenhuma amostra apresentou valor acima do limite recomendado pelo CONAMA 420 (15,0 ppm), muito embora os maiores valores de As em solos, tanto superficiais quanto subsuperficiais, estejam localizados na área central-leste, sob impacto de DAM.

Au - Ouro

O ouro é um metal de transição, de cor amarela, denso e brilhante, o mais maleável e mais dúctil de todos os metais. Pela sua tonalidade, por ser inalterado e pela sua raridade o credenciaram como metal nobre por excelência, com isso, o mesmo tem seu preço cotado diariamente. Ocorre como ouro nativo, em teluretos (krennerita, calaverita e silvanita) e na pirita. É usado principalmente na confecção de joias, circuitos eletrônicos, padrão de conversão de moedas, no tratamento de câncer, revestimento de satélites espaciais (bom refletor de radiação infravermelha) e processos fotográficos (ácido cloroáurico). Não apresenta função biológica conhecida e não é bem absorvido pelo corpo humano, mas seus compostos não são tóxicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No Brasil existem vários depósitos em MG, GO, BA, MT e PA.

No levantamento geoquímico realizado não foram detectados valores acima do limite de quantificação em nenhuma das vias analisadas.

B – Boro

O boro é considerado um não metal, sendo um péssimo condutor de eletricidade. É um elemento químico muito

leve, relativamente raro na crosta terrestre. A maior quantidade de boro está concentrada em evaporitos e em sedimentos argilosos, ambos marinhos. No ambiente terrestre, o boro ocorre associado com oxigênio, formando inúmeros minerais, principalmente hidróxidos e silicatos, como a turmalina, a kernita e o bórax. É usado na pirotecnia (cor verde), utilizações nobres na parte de pesquisa nuclear e estruturas aeroespaciais, em inseticidas, esmaltes, vidros, fertilizantes, sabões e detergentes. É elemento nutriente para as plantas, sendo sua falta ou excesso prejudicial à sua saúde. Pode ser tóxico, principalmente se inalado. Comumente encontrado como efluente onde há o uso de detergentes. O Brasil não possui depósitos significativos de boro.

No levantamento geoquímico realizado, foram obtidos resultados acima do limite de quantificação – LQ (0,05 mg/L) em apenas 18,1% das análises, obtendo mediana de 0,025 mg/L e máximo de 0,64 mg/L, este último, único resultado de valor acima da referência ambiental preconizada pelo CONAMA 357/2005 (0,5 mg/L), localizado no Rio Fiorita, em Siderópolis. O outro ponto destacado no mapa, situado na foz do Rio Urussanga (0,121 mg/L), esteve bem abaixo do supracitado limite ambiental.

As cargas de B tiveram mediana de 0,26 kg/h, são correlacionadas com a DAM e a vazão, tanto que as maiores cargas foram registradas na foz dos rios Araranguá (58,2 kg/h) e Tubarão (23,8 kg/h).

Ba – Bário

O bário é um metal alcalino-terroso de coloração branco-prateada, de altíssima densidade e alto ponto de fusão. Não é encontrado livre na natureza, mas quando puro é altamente oxidável, e em contato com o ar apresenta aspecto fluorescente. Seus principais minerais são a barita ($BaSO_4$) e a witherita ($BaCO_3$). Elemento básico para a fabricação de fluidos de perfuração de poços profundos, de vidros e pigmentos, borracha e papel. Ele não apresenta função biológica conhecida, os compostos insolúveis não são tóxicos, mas quando dissolvido ionicamente na água é altamente tóxico. As maiores reservas de barita no Brasil estão na Bahia (Aramari e Camamu), Minas Gerais e São Paulo.

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 0,015 mg/L e valor máximo de 0,07 mg/L. Não foram detectados valores acima do permitido pela legislação em água superficial.

As cargas de Ba tiveram mediana de 0,11 kg/h e as maiores foram registradas em áreas do Distrito Fluorítico ao norte, no trecho médio (6,64 kg/h) e foz dos rios Tubarão (9,6 kg/h), Duna (3,01 kg/h) e Capivari (2,94 kg/h). São cargas originadas, em parte, por influência das minas de fluorita e correlacionadas positivamente com o aumento da vazão.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 99,5 ppm e valor máximo de 758 ppm no Rio Cocal, tributário do Rio Urussanga. O bário é relativamente mais enriquecido em granitos (600 ppm) e folhelhos (700 ppm), e o ponto destacado situa-se em área limítrofe entre os granitos Imaruí-Capivari e a Formação Rio do Sul, embasamento da Bacia do Paraná, situação geológica coincidente com a origem das mineralizações filonêas de fluorita associadas à barita. No beneficiamento da fluorita, sais carboxílicos de bário, formados na superfície do mineral, são solubilizados por aquecimento a temperaturas de até 90°C (SAMPAIO; ANDRADE; BALTAR, 2005).

O elemento não possui valor de restrição para sedimento de fundo na legislação brasileira, mas o Clarke é de 390 ppm e a NOAA aponta valores de *background* de 700 ppm, portanto, apesar do valor máximo obtido em Urussanga ser um valor isolado, configura um alerta ambiental.

No solo superficial as amostras apresentaram mediana de 68,0 ppm e valor máximo de 236,0 ppm, com quatro violações ao CONAMA 420/2009 (150,0 ppm), situadas em Curral Falso (236 ppm), Capivara Alta (184 ppm), Sangão (163 ppm) e Rio Fortuna (153 ppm). O solo subsuperficial apresentou mediana de 57,0 ppm e valor máximo de 240 ppm, com cinco violações ao limite supracitado, localizadas em Nova Roma (240 ppm), Jaguaruna (219 ppm), Espigão da Toca (216 ppm), Lauro Muller (207 ppm) e Morro dos Heizen (157 ppm).

Como o bário insolúvel não é perigoso e os valores máximos identificados em solos e sedimentos não se encontram muito longe dos limites estipulados pelo CONAMA, não configuram preocupação ambiental, mas seria recomendável que pelo menos o ponto máximo de sedimento em Urussanga fosse alvo de investigação preventiva, já que na forma iônica o Ba é altamente tóxico.

Be – Berílio

O berílio é um metal alcalino-terroso, de coloração cinza-prateado, macio, pouco reativo, de alta

condutividade térmica e elétrica, alto ponto de fusão e boa elasticidade. Durante o intemperismo permanece nos resíduos minerais mais resistentes. Em solo, acumula-se nos horizontes mais ricos em substâncias orgânicas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Quanto à sua natureza geoquímica, assemelha-se ao alumínio, tendo como principais minerais o berilo [$\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$], a bertrandita [$4\text{BeO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$], o crisoberilo (BeAl_2O_4) e fenacita (Be_2SiO_4). As variedades transparentes do berilo – esmeralda (verde) e azul (água-marinha) – são muito apreciadas como gemas. Possui algumas outras aplicações nobres na fabricação de molas especiais e em reatores nucleares. O pó do mineral é danoso aos pulmões e seus sais são muito tóxicos. As principais jazidas de berilo ocorrem em regiões pegmatíticas de Minas Gerais, Goiás, Bahia e Ceará.

No levantamento geoquímico realizado, não foram detectados valores acima do limite de quantificação em água superficial.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 1,0 ppm e valor máximo de 3,5 ppm na Bacia de Tubarão, em Anitápolis, sendo que o Clarke é 2,0. Apesar de a região ser conhecida pela ocorrência de um maciço alcalino máfico-ultramáfico, a intrusão ocorreu em granitoides calcioalcalinos, que devem ser a possível área-fonte do elemento.

Nos solos as amostras apresentaram mediana de 0,70 ppm em ambos os horizontes, com valor máximo superficial de 2,10 ppm e subsuperficial de 2,80 ppm, ocorridos na Bacia de Tubarão. Nove amostras apresentaram teor acima dos valores de prevenção *Target* da NOAA (1,1 ppm) em cada um dos horizontes, localizados nas bacias de Tubarão, Duna e, secundariamente, Araranguá e Mampituba.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira, nem para sedimento de fundo nem solo; por serem provenientes de minerais resistentes, além dos valores máximos terem sido muito próximos dos limites de referência supracitados, não configura alerta ambiental.

Bi – Bismuto

O bismuto é um metal de coloração prata-esbranquiçada, quebradiço e pouco abundante na crosta terrestre. Apresenta baixa condutibilidade elétrica e térmica, sendo o mais diamagnético de todos os metais. Apresenta isótopos levemente radioativos e é encontrado livre na natureza, mas suas formas mais

comuns são: bismutinita (Bi_2S_3), bismita (Bi_2O_3) e bismutita [$(\text{BiO})_2\text{CO}_3$]. É usado na indústria farmacêutica, em cosméticos, em ímãs e soldas. Não possui função biológica conhecida e é o menos tóxico metal pesado. As principais jazidas de bismuto do Brasil são apenas pequenas ocorrências em Minas Gerais e no Rio Grande do Norte, onde ele é extraído como subproduto.

No levantamento geoquímico realizado, não foram analisadas as concentrações de Bi em água superficial.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 0,175 ppm e valor máximo de 1,13 ppm em Grão-Pará, na Bacia de Tubarão, onde é encontrada uma ordem de grandeza acima do valor de *background* materializado pela mediana. O Clarke do Bi é de 0,0082 ppm, equivalente aos valores medianos que predominam principalmente a norte, onde o relevo geoquímico é mais elevado.

No solo superficial, as amostras apresentaram mediana de 0,24 ppm e valor máximo de 0,91 ppm. No solo subsuperficial, apresentou mediana de 0,27 ppm e o valor máximo de 1,01 ppm, em área anômala coincidente com o maior nível de Bi em sedimento.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para água superficial, sedimento de fundo e solo.

Ca – Cálcio

O cálcio é um metal alcalino-terroso, calcófilo, branco-prateado, de baixa dureza, altamente reativo quando em contato com o ar e a água, não sendo encontrado na forma elementar. É o quinto metal mais abundante na crosta terrestre. Na natureza, o cálcio manifesta-se como parte integrante dos minerais constituintes das rochas, formando um grande número de silicatos, carbonatos e fosfatos, sendo os plagioclásios os principais hospedeiros do Ca (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Ca dissolvido é cristalizado nos sedimentos ou precipitado de soluções por organismos, formando aragonita (CaCO_3) e calcita (CaCO_3), ou dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] e fosfatos, principalmente apatita [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{CO}_3$] (F,OH,Cl). Em evaporitos, o cálcio também é precipitado como gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). O elemento possui ampla utilização em vários setores de indústrias, fábricas, construção e agricultura. É o elemento mais abundante em nosso corpo e é um nutriente essencial para todos os seres vivos. As principais jazidas de calcário do Brasil são em Minas Gerais, ocorrendo minas em praticamente todos os estados.

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 5,49 mg/L e valor máximo de 140,0 mg/L no Rio Fiorita, seguido pelo Rio Duna (104 mg/L). Os valores destacados na região central do mapa possivelmente se devem à dissolução de algumas fases minerais mais suscetíveis, tais como a apatita, devido à DAM.

As cargas de Ca apresentaram mediana de 56,5 kg/h e máximos na foz dos rios Duna (11019 kg/h), Araranguá (8560 kg/h) e Tubarão (5457,4 kg/h), devido às maiores vazões.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 0,18% e valor máximo de 2,24%. Considerando o valor do Clarke (4,66%), os teores mencionados em sedimentos encontram-se bem abaixo da média na crosta, refletindo apenas a mineralogia comum de plagioclásios nas rochas básicas do sul, apatitas como mineral acessório comum tanto em rochas ácidas quanto básicas, bem como os carbonatos no litoral nordeste.

No solo superficial, as amostras apresentaram mediana de 0,06% e valor máximo de 0,38%. No solo subsuperficial, apresentou mediana de 0,03% e valor máximo de 0,46%.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para água superficial, sedimento de fundo e solo.

Cd – Cádmio

O cádmio é um metal de transição, com coloração branco-prateada a azulada, maleável, dúctil, e em pó queima na presença do ar. Possui propriedades químicas semelhantes ao Zn e entra facilmente em solução durante os processos intempéricos. Ocorre associado com minerais de Zn (esfalerita – ZnS) e, mais raramente, como grenockita (CdS). Seu principal uso é em baterias recarregáveis, ligas de solda, tubos de imagem de TV, metalurgia e como pigmento. É bastante tóxico quando inalado e dificilmente é expelido pelos seres vivos, acumulando-se nos organismos. A toxicidade é menor quando ingerido ou em contato com a pele. A maior parte do cádmio é recuperada como subproduto de minas de zinco, cobre ou chumbo.

No levantamento geoquímico realizado, não foram detectados valores acima do limite de quantificação em água superficial.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 0,085 ppm e valor máximo de 0,30 ppm

no canal do Rio Caverá, ligação entre a Lagoa de Sombrio e outra menor, no Balneário de Gaivota, na Bacia de Mampituba. Os valores medianos obtidos em sedimentos encontram-se abaixo e próximos à média na crosta materializada pelo Clarke (0,16 ppm), e não foram encontrados valores acima da legislação CONAMA 454/2012 (0,6 ppm) para sedimento de fundo.

No solo superficial, as amostras apresentaram mediana de 0,06 ppm e valor máximo de 0,22 ppm. No solo subsuperficial, apresentou mediana de 0,04 ppm e valor máximo de 0,14 ppm. Não foram detectados valores acima da legislação CONAMA 420/2009 (1,3 ppm) para solos.

Ce – Cério

O cério é um metal de transição pertencente à série dos lantanídeos (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu) ou elementos de terras-raras (ETR), tendo coloração cinza levemente prateada, maleável, dúctil e resistente, bem reativo quando exposto ao ar úmido. O cério é o mais abundante dos ETR, sendo encontrado principalmente na monazita, cerita e allanita. Seu principal uso é na formação de ligas metálicas, em superímãs, catalisadores, na indústria do vidro, polimento ótico e como sedativo. Não apresenta papel biológico conhecido, sendo usado em alguns remédios. Pode ser tóxico e as principais jazidas, no Brasil, encontram-se em Poços de Caldas (MG) e Guarapari (ES).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 41,68 ppm e valor máximo de 187,2 ppm. Os valores medianos obtidos em sedimentos encontram-se abaixo da média na crosta materializada pelo Clarke (66,4 ppm).

No solo superficial, as amostras apresentaram mediana de 38,3 ppm e valor máximo de 148,7 ppm. No solo subsuperficial, apresentou mediana de 48,3 ppm e valor máximo de 148,3 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Cl⁻ - Cloreto

O cloro apresenta-se sob a forma de cloretos, cloratos, percloratos, cloritos e hipocloritos, além de formar compostos orgânicos (haletos). Ocorre principalmente na forma de cloreto de sódio nas minas de sal-gema e dissolvido na água do mar, combinado com

outros elementos e minerais, como a silvinita e carnalita. Nas águas superficiais, estão presentes como cloretos de cálcio, sódio e magnésio. É componente na fabricação de plásticos, solventes, agrotóxicos, tratamento de água e em vários produtos químicos. O íon está presente nos fluidos dos corpos dos animais superiores, sendo o principal fator na regulação da pressão osmótica e manutenção do pH. É constatado em diversos efluentes industriais. O cloro pode reagir com substâncias orgânicas e exercer efeitos nocivos em tecidos do trato respiratório e irritação dos olhos (PEIXOTO, 2003).

No levantamento geoquímico realizado, o cloreto foi analisado apenas em águas superficiais das bacias de Tubarão e Duna, sendo detectado em todas as amostras. Apresentou mediana de 9,88 mg/L e valor máximo de 720 mg/L na Bacia de Duna. Foram identificadas nove amostras acima do limite CONAMA 357/2005 (250 mg/L), nos rios Capanema (720 mg/L), Prainha (710 mg/L), Capivari (626 e 360 mg/L), Duna (596 e 382 mg/L), trecho inferior do Tubarão (409 mg/L) e Congonhas (406 mg/L), a maioria localizados próximo às lagoas costeiras, o que pode refletir uma possível origem salobra.

As cargas de cloreto tiveram mediana de 111,4 kg/h, com os pontos máximos na foz dos rios Tubarão (141271 kg/h), Capivari (46494 kg/h) e Duna (40473,5 kg/h).

Co – Cobalto

O cobalto é um metal duro, quebradiço, possui afinidade calcófila e parte siderófila, que ocorre principalmente como siegenita (NiCo)₄S₄, cobaltita (CoAsS), esmaltita (CoNiFe)As₂ e pirrotita [Fe(CoNi)S]. É usado para confecção de ligas de Ni-Cr-Co-Mo para a indústria aeroespacial, aço inoxidável (Co-Cr-Fe), utilizado no aumento da resistência de aço para ferramentas, usos químicos, cerâmicos e ligas resistentes à corrosão. O radioisótopo ⁶⁰Co é usado como fonte de radiação gama em radioterapia, e esterilização de alimentos (pasteurização fria). O Co é um nutriente essencial, necessário à formação da vitamina B₁₂, mas em elevadas concentrações é tóxico e carcinogênico, podendo resultar em danos nos pulmões, coração e formação de dermatites. No Brasil, os principais depósitos se encontram em Niquelândia e Americana do Brasil – GO.

No levantamento geoquímico realizado foram detectados resultados acima do LQ (0,002 mg/L) em apenas 6,9% das amostras de água superficial, obtendo mediana de 0,001 mg/L e máximo de 0,11 mg/L, com valores acima ou igual o limite do CONAMA 357/2005

(0,05 mg/L) em apenas duas amostras, nos rios Fiorita (0,108 mg/L) e Sangão (0,05 mg/L).

As cargas de Co tiveram mediana de 0,011 kg/h, com as maiores cargas registradas em áreas afetadas pela DAM, tal como na foz dos rios Araranguá (0,70 kg/h) e Tubarão (0,35 kg/h), portanto, são cargas conservativas, que aumentam com a entrada de outras fontes e o aumento da vazão.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 9,10 ppm e valor máximo de 38,10 ppm. O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo, mas a média mundial representada pelo Clarke é 29 ppm, e o limite LEL apontado pela NOAA para o menor nível de efeito é de 50 ppm.

No solo superficial, as amostras apresentaram mediana de 4,90 ppm e valor máximo de 48,70 ppm, com quatro amostras acima ou igual ao limite CONAMA (25 ppm), em Curral Falso (48,7 ppm), Lauro Muller (37,3 ppm), Cocal do Sul (31,6 ppm) e Rio Atafona (25,0 ppm). Em solo subsuperficial, obteve-se mediana de 4,60 ppm e valor máximo de 40,0 ppm, com duas amostras acima do limite ambiental supracitado, em Rio Fortuna (40,0 ppm) e Meleiro (39,4 ppm).

Os resultados obtidos não excedem muito os limites ambientais e devem refletir teores naturais, os quais não trazem maiores preocupações, entretanto, percebe-se pronunciada depleção na área central-leste, tanto em solos quanto em sedimentos, que deve refletir a lixiviação do metal devido à DAM.

Condutividade

O parâmetro físico-químico da condutividade elétrica (CE) representa a maior ou menor facilidade das águas ou de qualquer líquido em conduzir a corrente elétrica. Assim, está diretamente associada com a quantidade de sólidos totais dissolvidos sob a forma de íons. Existe uma relação direta entre a presença de sólidos totais dissolvidos (STD) e a condutividade elétrica ($CE = STD/0,65$) (FEITOSA *et al.*, 2008). De fácil obtenção em campo, a CE é capaz de distinguir águas com potencial para uso primário ($CE \leq 1.500 \mu S/cm$) e secundário ($CE > 1.500 \mu S/cm$), simplificação que é útil no caso de águas salobras, baseada na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (MS), que estabelece os limites para potabilidade da água, entre os quais os sólidos totais dissolvidos (STD), onde se recomenda um valor abaixo de 1.000 mg/L. Em águas doces,

os valores de CE refletem a presença de impurezas, motivo pelo qual os valores apontados acima já são considerados muito altos.

No levantamento geoquímico realizado, a condutividade variou de 24,4 a 1595 $\mu S/cm$. Os valores mais elevados foram encontrados no entorno das lagoas costeiras da Bacia de Duna (1.550,5 – 1.104,9 $\mu S/cm$), em águas-doces impactadas pela mineração (1595 – 622,6 $\mu S/cm$) e nos trechos inferiores dos rios Tubarão (1.013 $\mu S/cm$), Araranguá (897,2 $\mu S/cm$) e Urussanga (1.050,4 $\mu S/cm$).

Cr – Cromo

O cromo é um metal de cor cinza, duro, quebradiço, que mostra pouca atração magnética, e apresenta-se mais comumente como cromita ($FeCr_2O_4$). É usado na fabricação de aço inoxidável (Fe-C-Cr) e ferro-ligas, na indústria química, na produção de pigmentos para tinta e de refratários. É um micronutriente essencial aos seres humanos e funciona aumentando a tolerância à glicose no sangue, o que potencializa a ação da insulina (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Apresenta-se mais comumente com as valências +3 e +6. Se inalado, o Cr^{+6} pode causar irritações nasais e sangramentos; se ingerido, ocorrem problemas estomacais, úlceras, convulsões e danos nos rins e fígado; por contato dermal, provoca ulcerações na pele. No Brasil, o cromo é encontrado, principalmente, nos estados da Bahia (distritos cromíferos de Campo Formoso e do Vale do Jacurici), Amapá (Mazagão) e Minas Gerais (Alvorada de Minas).

No levantamento geoquímico realizado, não foram detectados valores acima do limite de quantificação em água superficial.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 14,0 ppm e valor máximo de 69,0 ppm no Rio Braço Esquerdo, na Bacia de Tubarão. Apenas este ponto esteve acima do CONAMA 357 (37,3 ppm).

Em solo superficial, as amostras apresentaram mediana de 14,0 ppm e o valor máximo de 80,0 ppm em Curral Falso, na Bacia de Tubarão. Em solo subsuperficial, apresentou mediana de 16,0 ppm e valor máximo de 157,0 ppm em Nova Roma, na Bacia de Araranguá. Os valores máximos foram as únicas violações ao CONAMA 420 (75 ppm).

Cs – Césio

O césio é um metal alcalino de coloração ouro-prateada, dúctil, macio e apresenta baixo ponto de

fusão. Tal como o mercúrio (Hg) e o gálio (Ga), encontra-se em estado líquido a temperaturas próximas do ambiente, mas não é encontrado livre na natureza. É o mais eletropositivo dos elementos alcalinos e reage explosivamente na presença de água fria. Ocorre na zeólita polucita $[(Cs,Na)_2Al_2Si_4O_{12} \cdot H_2O]$ e na mica lepidolita $[KCsLi_2Al(Al,Si)_3O_{10}(F,OH)_2]$. É usado como catalisador na indústria química, relógio atômico e células fotoelétricas. Utiliza-se seu isótopo radioativo no tratamento do câncer. Não apresenta função biológica conhecida, mas devido a sua similaridade química com o K, pode substituí-lo no corpo humano, bem como pode danificar as células se expostas a grandes quantidades de Cs radioativo (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2004). No Brasil, não há registro de mineral com Cs em exploração, sendo algumas ocorrências do flossilicato lepidolita relacionadas às rochas pegmatíticas e quartzitos (RN e PB).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 1,62 ppm e valor máximo de 7,04 ppm, com um Clarke de 2,60 ppm. Esses teores observados em sedimentos encontram-se dentro do esperado, já que em granitos (5 ppm), folhelhos (5 ppm) e solos (6 ppm) são esperadas as maiores concentrações médias, conforme Levinson (1980).

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 2,88 ppm e valor máximo de 12,9 ppm; em solo subsuperficial apresentaram mediana de 3,52 ppm e valor máximo de 14,4 ppm. O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira nem para solo, nem sedimento de fundo.

Cu – Cobre

O cobre (do latim – *cuprum*) é um metal de transição, de cor avermelhada, alta condutividade térmica e elétrica, maleável e dúctil. Assim como o Ni, Zn e Pb, possui forte afinidade com o enxofre, formando minerais sulfetados sob condições redutoras. Nos processos supergênicos, em condições oxidantes, formam hidróxidos e carbonatos. Tem como principais minerais a calcopirita ($CuFeS_2$), calcocita (Cu_2S), bornita (Cu_5FeS_4), cuprita (Cu_2O), tetraedrita (Cu_3SbS_3), malaquita $[Cu_2CO_3(OH)]$, azurita $[Cu_3(CO_3)_2(OH)_2]$ e o cobre nativo. É importante para a fotossíntese vegetal e essencial para a boa saúde humana, mas em excesso e exposições prolongadas pode causar irritações nas vias respiratórias, vertigem, náuseas e diarreias. O cobre é indispensável

à vida em geral, participando no organismo humano do processo de fixação do ferro na hemoglobina do sangue (KOLJONEN, 1992; MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Os principais depósitos, no Brasil, encontram-se em Carajás, no Pará, na Bahia e em Goiás (BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram apenas 13,9% de medidas acima do LQ (0,002 mg/L), apresentando mediana de 0,005 mg/L e valor máximo de 0,080 mg/L. Foram 10 as amostras acima do limite CONAMA 357/2005 (0,009 mg/L), nos rios Braço Norte (0,0812; 0,018 e 0,0178 mg/L), Sete (0,0632 mg/L) Capanema (0,0424 mg/L), Tubarão (0,035 mg/L), Capivari (0,0321 mg/L), Bravo (0,0236 mg/L), Gravatal (0,0233 mg/L) e São Bonifácio (0,0155 mg/L). Todos esses pontos encontram-se na região norte, nas bacias de Tubarão e Duna.

As cargas de Cu tiveram mediana de 0,034 kg/h e as maiores foram registradas em áreas do Distrito Fluorítico, ao norte, no trecho médio dos rios Tubarão (9,1 kg/h) e Capivari (1,1 kg/h), e em áreas sem mineração, no sul, como no trecho final do Rio Itoupava (1,31 kg/h) e foz do Rio Araranguá (3,5 kg/h). Portanto, são cargas originadas por influência das minas de fluorita, no norte, e devido ao alto teor de fundo, no sul. Além disso, são cargas conservativas, pois se correlacionam positivamente com o aumento da vazão.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 16,65 ppm e valor máximo de 127,6 ppm no trecho superior do Rio Amola Faca, na Bacia de Araranguá. O relevo geoquímico encontra-se, de forma geral, mais elevado na região sul, onde estão apenas rochas básicas e sedimentos cenozoicos. Relativamente ao limite estabelecido pelo CONAMA 454/2012 (35,7 ppm), foram identificados 21 resultados acima deste, sendo 14 deles localizados na Bacia de Araranguá (36,7 - 127,6 ppm), 2 na Bacia de Mampituba (54,5 - 70,3 ppm) e 5 na Bacia de Tubarão (40,4 - 57,1 ppm). Exceto na Bacia de Mampituba, os valores máximos nas bacias de Araranguá e Tubarão coincidem em área com as partes afetadas por DAM.

As amostras de solo superficial apresentaram mediana de 14,70 ppm e valor máximo de 120,0 ppm, esta última em Balneário Arroio do Silva, na Bacia de Mampituba. Em relação ao CONAMA 420 (60 ppm), houveram ainda outras três amostras acima deste limite: Curral Falso (101,6 ppm), Lauro Muller (90,6 ppm) e Nova Roma (74,8 ppm). As amostras de solo subsuperficial apresentaram mediana de 9,70 ppm e valor

máximo de 178,1 ppm, com cinco amostras acima do limite supracitado, em Vila Maria (178,1 ppm), Meleiro (155,3 ppm), Nova Roma (127,9 ppm), Rio Fortuna (96,9 ppm) e Timbé do Sul (78,6 ppm).

Considerando o Clarke (68 ppm) e os teores médios em basaltos (100 ppm), os teores mais elevados em solos e sedimentos da região sul são naturais e, sendo assim, não causam preocupação ambiental, haja visto que não se afastam muito dos limites estabelecidos e que não foram identificados pontos destacados em águas. Já os teores em águas superficiais identificados na região norte, nas bacias de Tubarão e Duna, merecem atenção especial, visto que se encontram acima das referências ambientais e não possuem respaldo na geologia predominantemente granítica, onde se tem em média 10 ppm de Cu.

Eh – Potencial Redox

O potencial redox é uma medida da força de oxidação ou redução de um sistema redox, sendo um parâmetro importante para estimativa do sentido de equilíbrio redox no percurso de uma reação. Os eletrodos de platina são os mais utilizados. Diferente de eletrodos como o de pH e íons seletivos, um eletrodo redox inerte, como o de platina (Pt), passa a adquirir um potencial definido, dependendo da relação de concentração entre íons oxidantes e redutores em solução. As reações de oxidação-redução implicam na troca de elétrons entre espécies atômicas (mudança de valência). A redução de substâncias iônicas no eletrodo ocorre simultaneamente à oxidação de outras, mediante redução reversível (sistemas tipo férrico-ferroso). Essas reações produzem potenciais (voltage) mensuráveis e previsíveis pela equação de Nerst, que pressupõe o equilíbrio, então, as concentrações de espécies oxidantes e redutoras podem ser calculadas a partir do potencial. Porém, como o ambiente aquático natural não é um sistema termodinâmico em perfeito equilíbrio, muitos pares inorgânicos e biológicos redox ocorrem simultaneamente e as reações químicas procedem em taxas variáveis. Assim sendo, os instrumentos baseiam-se em requerimentos teóricos que não podem ser obtidos durante as pesquisas de campo. No cálculo do potencial de equilíbrio, por exemplo, assume-se que todas as reações redox são acopladas e que elas compartilham elétrons. Entretanto, isto raramente acontece porque muitas reações acontecem com taxas diferentes. Quando dois sistemas redox não são acoplados, o potencial resultante será uma composição das tendências de transferência de elétrons

dessas reações, o que resulta em potenciais mistos, que refletem antes o potencial do par redox que possuir a cinética mais rápida e as maiores atividades em solução. Seja por possuir a cinética mais rápida ou por apresentar as maiores atividades em solução, a posição de equilíbrio do processo dominante determina a posição de equilíbrio para as outras reações (HELMKE, 2005).

As medições de Eh são feitas preferencialmente *in situ*, ou imediatamente após a coleta de amostras intactas, para evitar mudanças na química dos valores a serem medidos. A manutenção do equipamento torna-se imprescindível, para evitar a contaminação dos eletrodos e a consequente obtenção de potenciais errôneos, já que esses instrumentos também sofrem desvios. Antes da utilização, seja em laboratório ou nas condições ambientais reais, os eletrodos de Eh devem ser calibrados com soluções padrão de potencial redox (soluções padrão de pH ácida e neutra, saturadas com Quinhidrona P.A.), com o objetivo de ajustar o instrumento em uma condição de equilíbrio bem definido. Apesar das incertezas, importantes informações podem ser obtidas a partir da medição do potencial redox em sistemas naturais, como a indicação qualitativa da condição redox da solução e a classificação do ambiente como óxico, subóxico ou anóxico.

Em áreas afetadas pela mineração de carvão, onde a exposição ao oxigênio que promove oxidação da pirita é mediada pela ação bactérias aeróbicas (tanto as thio-bactérias, quanto às bactérias oxidantes do Fe), a geração de DAM é mais importante nos ambientes oxigenados. Valores muito positivos de Eh, igualmente, indicam maior proximidade da fonte de geração de DAM pelo predomínio de Fe³⁺ em detrimento do Fe²⁺, sugerindo maiores taxas de oxidação da pirita, uma vez que além do O₂ tem-se o Fe³⁺ em excesso, possivelmente, atuando como agente de oxidação junto com o O₂ e acelerando o processo de geração de DAM.

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram valores de Eh entre 9,60 e 561,8 mV, com mediana de 120,6 mV. Os valores mais altos (mais oxidantes) foram identificados nas áreas próximas aos focos de impacto da mineração de carvão, no Rio Sangão (561,8 mV), Canal Urussanga (518,6 mV) e Rio Palmeiras (475,4 mV), em cada uma das bacias afetadas, Araranguá, Urussanga e Tubarão, respectivamente.

Fe – Ferro

O ferro é um metal de transição com coloração branco-prateada, magnético, altamente suscetível

à corrosão, bom condutor de calor e eletricidade, dúctil e maleável. É um dos maiores constituintes da litosfera e, nas rochas, está presente nas classes dos silicatos, óxidos, sulfetos e carbonatos, sendo encontrado em maiores quantidades nas rochas ígneas máficas (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Seus principais minerais são: hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), siderita (FeCO_3), limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), ilmenita (FeTiO_3), pirita (FeS_2), pirrotita (FeS) e outros. A principal de suas inúmeras utilidades é a manufatura de aço e outras ligas decorrentes de sua mistura com outros elementos na siderurgia. É essencial para os processos fisiológicos de todos os seres vivos. Tem papel fundamental no metabolismo de algumas enzimas, e como componente da hemoglobina, cuja deficiência conduz à anemia (KOLJONEN, 1992). No Brasil, ocorrem os grandes depósitos de Carajás no Pará, Minas Gerais (Quadrilátero Ferrífero) e Mato Grosso do Sul.

Em minas de carvão subterrâneas, a pirita é estável e insolúvel, mas com a mineração e a exposição ao oxigênio, parte da pirita é oxidada e solubilizada. Nesta situação, as reações redox utilizam O_2 ou Fe^{3+} , ou ambos, como agentes de oxidação. Nas bocas de mina, o íon Fe^{3+} é solúvel na água altamente ácida que é produzida inicialmente - pH entre 0,5 e 3,0 – e, nesta situação, parte da oxidação é efetuada pelo Fe^{3+} e a cinética da reação fica muito mais rápida do que na presença exclusiva do O_2 . É por esta razão que foram realizadas análises de Fe^{2+} , além da rotineira análise de Fe^T , para estimativa indireta do Fe^{3+} .

No levantamento geoquímico realizado, as análises de Fe^T em água superficial apresentaram mediana de 0,253 mg/L e valor máximo de 133,0 mg/L, com 33 violações ao CONAMA 357 – Classe 1 (0,3 mg/L), distribuídos por todas as bacias. As violações encontram-se nos rios Fiorita (133 mg/L), Sangão (14,4 mg/L), Urussanga (4,57; 1,55; 0,376 mg/L), Palmeiras (3,29 mg/L), dos Índios (2,53 mg/L), Tubarão (1,31 mg/L), Mãe Luzia (1,05; 0,391 mg/L), Bravo (1,17 mg/L), em tributário do Rio Braço Norte (1,05 mg/L), nos rios Leão (0,898 mg/L), dos Bugres (0,813 mg/L), do Meio (0,702 mg/L), Ronco D'Água (0,639 mg/L), Capivari (0,636; 0,305 mg/L), Capanema (0,587 mg/L), Tubarão das Conchas (0,549 mg/L), Cocal (0,523 mg/L), Congonhas (0,507 mg/L), Caverá (0,503 mg/L), Jundiá (0,496 mg/L), Serra dos Correias (0,488 mg/L), do Cedro (0,48 mg/L), Linha Anta (0,469 mg/L), dos Porcos (0,463 mg/L), Pequeno (0,418 mg/L), Sete (0,412 mg/L), Pedras Grandes (0,407 mg/L), Braço do Norte (0,304 mg/L) e Rio Gravatal (0,301 mg/L).

As cargas de Fe^T tiveram mediana de 3,25 kg/h e os pontos de maior carga foram obtidos no Rio Fiorita (340,2 kg/h) e trechos finais dos rios Tubarão (142,3 kg/h) e Sangão (95,7 kg/h).

Para o Fe^{2+} obteve-se a mediana de 0,086 mg/L e máximo de 10,86 mg/L no Rio Fiorita em Siderópolis. Outros quatro pontos estiveram acima do limite supracitado, todos na Bacia de Tubarão: rios dos Índios (0,53 mg/L), Bravo (0,50 mg/L), Congonhas (0,32 mg/L) e Tubarão das Conchas (0,30 mg/L). As cargas de Fe^{2+} tiveram mediana de 0,51 kg/h e as maiores cargas foram obtidas no trecho inferior do Rio Tubarão (82,96 e 89,8 kg/h).

O cálculo do Fe^{3+} resultou em mediana de 0,202 mg/L e o valor máximo de 122,1 mg/L ocorreu no Rio Fiorita, ponto receptor da lagoa de rejeitos Língua do Dragão, em Siderópolis, enquanto que a segunda maior carga de Fe^{3+} foi na foz do Rio Sangão (14,3 mg/L), ambos na Bacia de Araranguá. A mediana das cargas de Fe^{3+} foi de 1,65 kg/h e as maiores cargas foram registradas nos mesmos pontos, nos rios Fiorita (312,5 kg/h) e Sangão (94,96 kg/h), ambos correspondem aos pontos mais afetados pela DAM.

Entre as bacias que possuem maiores áreas de drenagem e vazão em seus trechos inferiores, a Bacia de Tubarão apresentou as maiores cargas de Fe^{2+} , refletindo uma elevada vazão com águas de melhor qualidade e refletindo um menor peso dos produtos da oxidação dos sulfetos; na Bacia de Araranguá, por outro lado, há predomínio de Fe^{3+} devido à sua maior disponibilização nas formas dissolvidas (pelo menos dois focos geradores identificados neste estudo), refletindo o maior agravamento do processo de geração de DAM.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 2,97% e máximo > 15,0% (maior que o limite superior de detecção do equipamento), com 57 amostras acima do *Lowest Effect Level* - LEL (2%) e 24 amostras acima do *Severe Effect Level* - SEL (4%), segundo a NOAA (BUCHMAN, 2008). Os maiores valores foram identificados no Rio Mãe Luzia na Bacia de Araranguá, municípios de Siderópolis (>15%) e Forquilha (>15%), este último situado à jusante no mesmo rio. Ao sul, na Bacia de Mampituba, foram identificados dois pontos em Praia Grande (5,43 e 10,3%), próximos aos teores médios em basaltos (8,65%) e ultrabásicas (9,43%). Pontos bastante elevados ocorrem nas bacias de Araranguá (2,49 – >15%) e Urussanga (2,69 – 9,12%), na área central-leste, coincidindo com as áreas afetadas por DAM, onde predominam folhelhos

(4,72%). Ao norte, na Bacia de Tubarão, predominam granitoides (1,42 – 2,96%) e os teores identificados são mais próximos ao nível de *background* apontado neste estudo (2,97%).

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 2,85% e valor máximo de 10,86%; em solo subsuperficial, a mediana foi 3,53% e valor máximo de 11,93%. Os valores medianos encontrados, tanto em solo superficial quanto subsuperficial, encontram-se acima do valor de *background* apontado para solos pela NOAA (1,8%).

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Ga - Gálio

O gálio é um metal de coloração prateada brilhante (estado sólido) e acinzentada (fundido), possui ponto de fusão baixíssimo, ou seja, é um metal que pode ser líquido a temperatura ambiente, tem baixa solubilidade, em estado puro é pouco atacado por ácidos e apresenta-se como supercondutor a temperaturas em torno de -272°C . Não é encontrado livre na natureza nem forma minerais próprios, ocorrendo em pequenas concentrações associado a minérios de outros metais como diásporo $[\text{AlO}(\text{OH})]$, blenda/esfalerita (ZnS) e bauxita (mistura de óxidos/hidróxidos de Al). É empregado na indústria de semicondutores na fabricação de diodos, LEDs, transistores, sensores de temperatura, luz e campos magnéticos. Ainda não foi identificada função biológica no organismo humano e seus compostos não são considerados tóxicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No Brasil não há jazidas ou ocorrências registradas, nem extração como subproduto.

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 5,15 ppm e valor máximo de 14,40 ppm; considerando o Clarke de 19 ppm, os teores verificados em sedimentos mostraram-se baixos.

As amostras de solo superficial apresentaram mediana de 8,40 ppm e valor máximo de 24,50 ppm; em solo subsuperficial apresentaram mediana de 11,20 ppm e valor máximo de 30,0 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Ge – Germânio

O germânio é um semimetal sólido, duro, cristalino, de coloração branco-acinzentada e ocorrência

muito rara. Apresenta a mesma estrutura cristalina do diamante e resiste à ação dos ácidos e álcalis. Os seus principais minerais são: argirodita $(4\text{Ag}_2\text{S}.\text{GeS}_2)$, germanita $(7\text{CuS}.\text{FeS}.\text{GeS}_2)$, canfieldita $(4\text{Ag}_2\text{S}.\text{Sn}.\text{GeS}_2)$ e renierita $((\text{Cu}, \text{Ge}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{As})\text{S})$. É usado em ligas, com o berílio ou cobre, e como óxido, na indústria de vidros e joias. Alguns compostos de germânio (tetracloroeto de germânio) apresentam certa toxicidade nos mamíferos, porém são letais para algumas bactérias. Sua função biológica está em estudo, já estando quase comprovado que tem atuação marcante no fortalecimento do sistema imunológico humano. Não existem ocorrências ou exploração do elemento no Brasil.

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Foi detectado acima do LD (0,1 ppm) em apenas uma amostra em sedimento de fundo no Rio Mãe Luzia (0,2 ppm), em Siderópolis; considerando o Clarke (1,5 ppm), o valor identificado situa-se muito abaixo deste.

Também foi identificado em uma amostra em solo superficial (0,1 ppm), em Cural Falso, e uma em solo subsuperficial (0,1 ppm), em Nova Roma.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo. Por terem sido detectados tão poucos valores acima do LD, tanto em sedimento de fundo quanto em solos, os mapas não são apresentados.

Hf – Háfnio

O háfnio é um metal dúctil, prateado, brilhante e resistente à corrosão. Tem propriedades cristalóquímicas semelhantes às do zircônio e, por isso, tais elementos são encontrados sempre juntos na natureza. As fontes que contêm háfnio coincidem com os minerais de zircônio: baddeleyíta (ZrO_2) e zircão (ZrSiO_4) . É usado em barras de controles de reatores nucleares; na produção de transistores e microprocessadores (em substituição ao óxido de silício). Como carboneto, nitreto e boreto, forma compostos com ponto de fusão dos mais elevados conhecidos até o momento (3.000°C - 4.000°C). O háfnio não apresenta papel biológico conhecido e seus compostos não são considerados tóxicos, apesar de se fazer necessário o manuseio com cautela (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No Brasil, o háfnio é extraído como subproduto do óxido de zircônio, principalmente associado à baddeleyíta (ZrO_2) , nas minas de Jacupiranga-SP e Poços de Caldas-MG.

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 0,150 ppm e valor máximo de 0,880 ppm; considerando o Clarke de 2,8 ppm, os valores identificados se situam muito abaixo deste.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,060 ppm e valor máximo de 0,870 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,160 ppm e valor máximo de 1,150 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Hg – Mercúrio

O mercúrio (do latim – *hydrargyrum*) é um metal de transição, denso, altamente volátil, pobre condutor de calor e eletricidade. Raramente ocorre livre na natureza, é líquido em condições de temperatura ambiente e tem cor prateada. Seu principal mineral é o cinábrio (HgS). Tem facilidade em formar ligas com muitos metais, como ouro, prata e estanho, denominadas amálgamas. É bastante utilizado para amalgamar ouro nos garimpos e minerações. É largamente empregado em instrumentos de laboratório (termômetro e barômetro), lâmpadas de vapor de mercúrio, relés, eletrodos na fabricação de baterias, na produção de pesticidas, pigmentos e em odontologia. Não desempenha papel biológico conhecido até o momento, sendo intrinsecamente tóxico (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Hg orgânico (metilmercúrio e dimetilmercúrio) é altamente nocivo, sendo rapidamente absorvido pelos tratos respiratório, gastrointestinal e epidérmico. O Hg é biocumulativo e biomagnificado na natureza através da cadeia trófica, tendo características toxicológicas capazes de proporcionar doenças neurológicas, mutagênese e teratogênese. Os sais de mercúrio são altamente tóxicos, tais como: fulminato $[Hg(CNO)_2]$, usado como detonante; cloreto de mercúrio (I) ou calomelano (Hg_2Cl_2), usado anteriormente como purgante, anti-helmíntico e diurético; e o cloreto de mercúrio (II), empregado como desinfetante e o primeiro remédio eficaz contra sífilis; timerosal $[COO-Na+(C_6H_4)_2(S-Hg-C_2H_5)]$, usado como agente bacteriostático análogo ao merthiolate (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). As principais fontes pontuais de poluição são as indústrias de soda-cloro, através dos seus efluentes, e as usinas termoelétricas que utilizam carvão mineral. O elemento não é explorado comercialmente no Brasil.

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi identificado acima do LQ (0,0003 mg/L) em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 0,03 ppm e valor máximo de 0,120 ppm em Imaruí, na beira da Lagoa do Imaruí, na Bacia de Duna, mas até mesmo este valor máximo esteve abaixo do limite estipulado pelo CONAMA 454 N1 (0,17 ppm).

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,09 ppm e valor máximo de 0,19 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,10 ppm e valor máximo de 0,20 ppm. Nenhuma amostra esteve acima do VP CONAMA 420/2009 (0,5 ppm).

In - índio

O índio é um metal branco-prateado, calcófilo, brilhante, maleável, dúctil, resistente à corrosão, possui isótopos com meia-vida curta (^{111}In e ^{113}In), ponto de fusão baixo para um metal, e bom condutor de eletricidade e de calor. Durante o intemperismo, acompanha o Fe^{3+} e Mn^{4+} e, parcialmente, o Al^{3+} , precipitando na forma de hidróxidos de Fe. Forma raros minerais, tais como roquesita ($CuInS_2$), dzhalindita ($In(OH)_3$) e indita ($FeIn_2S_4$), mas sua ocorrência está geralmente associada a sulfetos. Cerca de 45% do consumo mundial de índio destina-se à confecção de filmes (óxido de índio) em visores de cristal líquido; o restante é usado em ligas e soldas na manufatura de transistores, em baterias alcalinas (substituindo o Hg), em sistemas de telecomunicações com fibra ótica, controle de reatores nucleares e na medicina nuclear como radioisótopos de vida curta. Não apresenta papel biológico conhecido e seus compostos são considerados altamente tóxicos, causando problemas ao coração, fígado e rins, além de serem teratogênicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No Brasil, o In pode ser encontrado nas reservas estaníferas, principalmente no maciço da Serra da Mangabeira (GO).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 0,03 ppm e valor máximo de 0,08 ppm; considerando o Clarke de 0,24 ppm, os valores identificados situam-se muito abaixo deste.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,04 ppm e valor máximo de 0,11 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,05 ppm e valor máximo de 0,13 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

K – Potássio

O potássio (K – do latim *kalium*) é um metal alcalino, de cor prateada, mole, bom condutor de calor e eletricidade, que oxida-se facilmente e, depois do Li, é o metal mais leve. Em virtude de sua alta reatividade, não é encontrado livre na natureza. É um dos constituintes maiores dos minerais formadores de rocha e o sexto mais comum na natureza, depois do Ca. Ocorre em K-feldspatos, como o ortoclásio (KAlSi_3O_8) e microclina (KAlSi_3O_8); em outros silicatos, entre eles alunita [$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$], leucita (KAlSi_2O_6), muscovita [$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$]; em evaporitos, como a silvinita (mistura de silvita (KCl) e halita (NaCl)), nitro ou caliche (KNO_3) e carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). O principal uso do K é como fertilizante na agricultura. A liga de K-Na é usada como meio de transferência de calor. É um macronutriente não tóxico, ativando reações enzimáticas, importante para o crescimento das plantas e na dieta humana. Os íons de K^+ , assim como os de Na^+ , agem nas membranas celulares na transmissão de impulsos eletroquímicos dos nervos e fibras musculares. Por outro lado, os sais de K são extremamente tóxicos quando injetados na corrente sanguínea. O composto KCN (cianeto de potássio) e o HCN (ácido cianídrico) são letais, considerados hemotóxicos (PEIXOTO, 2004). As principais reservas subterrâneas de sais de potássio, no Brasil, localizam-se nos estados de Sergipe (minas Taquari/Vassouras e Santa Rosa de Lima) e Amazonas (Fazendinha e Arari).

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 2,06 mg/L e valor máximo de 16,90 mg/L.

As cargas de K apresentaram mediana de 18,6 kg/h e máximos na foz dos rios Araranguá (7998,7 kg/h), Tubarão (4490,2 kg/h) e Duna (1356,2 kg/h), devido às maiores vazões.

Entre as amostras de sedimento de fundo tem-se mediana de 0,14% e máximo de 0,58%; considerando o Clarke de 2,32%, os valores identificados situam-se muito abaixo deste.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,12% e valor máximo de 0,37%; em solo subsuperficial, tem-se mediana de 0,11% e valor máximo de 0,74%.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para água superficial, sedimento de fundo e solo.

La – Lantânio

O lantânio é um metal de cor branco-prateada, maleável, sendo um dos mais reativos do grupo dos

ETR; oxida-se rapidamente quando exposto ao ar, não sendo encontrado livre na natureza. É identificado em minerais que contêm outros metais de terras-raras, como monazita [(La,Ce,Th)(PO_4 . SiO_4)], bastnasita [(La,Ce) CO_3 (F.OH)] e allanita [(Ca,La,Al₂,Fe(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH))]. É usado na indústria eletroeletrônica, na composição de vidros e lapidação, fabricação de lentes ópticas especiais, na ressonância magnética nuclear, em cristais geradores de laser, supercondutores, na melhoria da maleabilidade de ligas, ductibilidade e resistência ao impacto do aço e na datação de rochas e minérios (La-Ba) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Na nutrição e no corpo humano, o La ainda não desempenha papel conhecido, mas como segue o comportamento do Ca, encontra-se mais presente no esqueleto humano. Todos os compostos de La são considerados tóxicos, podendo causar problemas no fígado, além de risco de explosão em laboratório (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN, 1992). No Brasil, as principais ocorrências estão em Poços de Caldas, São Gonçalo do Sapucaí, Cordislândia, Silvianópolis, Pouso Alegre (MG), São Francisco de Itabapoana (RJ), província mineral de Pitinga (AM), Mato Preto (PR), Anitápolis (SC) e Catalão (GO).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 18,10 ppm e valor máximo de 82,0 ppm; considerando o Clarke de 34,6 ppm, os valores medianos se situam muito abaixo deste.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 10,7 ppm e valor máximo de 60,4 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 11,5 ppm e valor máximo de 36,1 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Li – Lítio

O lítio é um metal alcalino, o mais leve que se tem conhecimento, pouco abundante, de coloração branco-prateada brilhante, possui alto potencial de oxidação e o calor específico mais alto dentre as substâncias sólidas. Ocorre nas rochas, principalmente nos silicatos. É liberado facilmente dos minerais primários em meios oxidantes e ácidos, face ao intemperismo, sendo predominantemente incorporado aos argilominerais, coloides e óxidos/hidróxidos de Fe-Mn. Seus principais minerais são: espodumênio ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$), ambligonita [(Li,Na)Al(PO_4)

(F,OH)], lepidolita [$\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al,Si})_3\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$], petalita ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$), montebrasita [$\text{LiAl}(\text{PO}_4)(\text{OH})$] e zinnwaldita ($\text{KLiFeAl}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$). Usado, principalmente, como composto para baterias, na transferência de calor, lubrificantes, síntese de compostos orgânicos e depurador de ar em naves espaciais e submarinos, bem como em aplicações nucleares. É um poderoso analgésico, sendo também usado no tratamento da depressão bipolar. Os compostos desse metal são considerados levemente tóxicos, sendo alguns deles carcinogênicos e teratogênicos. Não apresenta papel importante, conhecido até o momento, nos processos biológicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No Brasil, o lítio é encontrado nas províncias pegmatíticas do Vale do Jequitinhonha e Mucuri, em MG, e na Província Borborema, no RN-PB-CE.

No levantamento geoquímico realizado, foram detectados dois valores acima do LQ (0,005 mg/L) em água superficial, no Rio Fiorita (0,0918 mg/L) e no Canal Urussanga (0,559 mg/L), ambos abaixo do limite ambiental CONAMA 357 (2,5 mg/L), porém, ambos os pontos apresentam-se impactados pela DAM.

As cargas de Li apresentaram mediana de 0,025 kg/h e máximos nos trechos inferiores dos rios Araranguá (0,66 e 1,75 kg/h) e Tubarão (0,65 e 0,86 kg/h), devido às maiores vazões.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 12,0 ppm e máximo de 49,0 ppm, no norte. O teor médio representado pelo Clarke é 18 ppm, menor que em granitos (30 ppm), que encontram-se abaixo dos teores médios em folhelhos (60 ppm). Os valores máximos identificados em sedimentos da área situam-se dentro da faixa esperada. O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo.

As amostras de solo superficial apresentaram mediana de 10 ppm e valor máximo de 29 ppm; em solo subsuperficial apresentaram mediana de 13 ppm e valor máximo de 37 ppm. A NOAA (2008) reporta valores Eco-SSL para plantas (2,0 ppm) e micróbios (10,0 ppm), acima do qual a respiração do solo pode ser prejudicada, além de um valor de *background* médio (200 ppm), porém o elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para solos.

Lu – Lutécio

O lutécio é um metal de transição de cor branco-prateada, resistente à corrosão, sendo o mais pesado

e duro dos elementos terras-raras do grupo dos lantanídeos. É relativamente estável em presença do ar e não é encontrado livre na natureza. O Lu é identificado em minerais que contêm outros metais de terras-raras, principalmente a monazita [$(\text{La,Ce,Th})(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4$], onde pode ocorrer em quantidades de até 0,003%. É usado como catalisador em usinas e refinarias de petróleo, em diversos processos químicos como alquilação, hidrogenação e polimerização e como ativador do cintilador de cério em processos de medicina nuclear. Seu radioisótopo de massa 177 associado à hidroxiapatita é utilizado no tratamento seletivo de células tumorais sem irradiar as sadias. Como os demais elementos terras-raras, possui baixa toxicidade, porém, tanto o lutécio quanto seus compostos devem ser manuseados com cuidado, pois mesmo que não desempenhem nenhum papel biológico no corpo humano podem estimular o metabolismo.

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 0,14 ppm e valor máximo de 0,46 ppm; o Clarke de 0,54 ppm mostra que os teores encontrados em sedimentos são baixos.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,07 ppm e valor máximo de 0,29 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,08 ppm e valor máximo de 0,32 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Mg – Magnésio

O magnésio é um metal alcalino-terroso, prateado, que se oxida em contato com o ar e é o oitavo elemento mais abundante na crosta. O Mg possui grande influência sobre o comportamento geoquímico do Fe, Ni, Co, Sc, Zn e Li, em virtude de sua fácil substituição por estes elementos. Os minerais de Mg intemperizam-se facilmente por dissolução. Ocorre como magnesita (MgCO_3), carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e bischofita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O óxido de magnésio e seus compostos são utilizados em lâmpadas (flashes), pirotecnia, indústria aeronáutica e bélica e na agricultura. Na medicina, o óxido de magnésio é utilizado para aliviar a dor de estômago, como antiácido e como laxante de curto prazo. Seus sais são amplamente usados em fármacos e como revestimento de tijolos refratários (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No corpo humano é um nutriente

não tóxico. É também um importante constituinte da clorofila. Alguns compostos, entretanto, são tóxicos e os asbestos (minerais do grupo das serpentinas) são considerados carcinogênicos. Sua deficiência no organismo humano pode causar distúrbios neurológicos e uma ligeira calcificação. O ser humano necessita consumir cerca de 0,3 g de Mg por dia (KOLJONEN, 1992). No Brasil, as principais reservas estão na Bahia (Brumado) e no Ceará.

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 1,995 mg/L e valor máximo de 35,60 mg/L, sobressaindo-se na região costeira da Bacia de Duna e nas áreas afetadas por DAM nas bacias de Araranguá e Urussanga.

As cargas de Mg apresentaram mediana de 23,5 kg/h e máximos na foz dos rios Araranguá (16418 kg/h), Tubarão (6390 kg/h) e Duna (2161 kg/h), devido às maiores vazões.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 0,20% e máximo de 0,50%; considerando o Clarke de 1,5%, todas as amostras apresentam baixas concentrações de Mg, cujo relevo geoquímico dos sedimentos destaca-se nas nascentes das bacias hidrográficas, de norte a sul da área.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,10% e valor máximo de 0,38%; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,07% e valor máximo de 0,59%.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para água superficial, sedimento de fundo e solo.

Mn – Manganês

O manganês é um metal de transição relativamente abundante na crosta, de cor branco-acinzentada, frágil, refratário, facilmente oxidável e não é encontrado livre na natureza. O Mn pode ser remobilizado durante a atividade hidrotermal regional. Em processos intempéricos, os compostos de Mn são oxidados, liberados e reprecipitados (minerais secundários), em função das condições de Eh e pH (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Existem inúmeros minerais de Mn, destacando-se: pirolusita (MnO_2), rodocrosita ($MnCO_3$), psilomelano [$(Ba, H_2O)_2 Mn_5 O_{10}$], criptomelana ($KMn_8 O_{16}$), haussmanita ($Mn_2 O_4$) e a manganita [$MnO(OH)$]. Alguns nódulos, encontrados no assoalho oceânico, podem conter em torno de 24% de Mn. É utilizado, principalmente, na produção de ligas de aço (pela capacidade de endurecer o aço sem torná-lo mais frágil), na produção de pilhas e para coloração de vidros. Desempenha papel fundamental nos processos fotossintéticos de produção de O_2 . O manganês é um oligoelemento não tóxico, essencial

para todas as formas de vida, nas quais tem funções tanto estruturais quanto enzimáticas e é importante na fixação da vitamina B1. Se inalado em quantidades excessivas, pode causar danos neurológicos irreversíveis (LOPES JÚNIOR, 2007; KOLJONEN, 1992). No Brasil, têm-se os depósitos do Azul – PA (Província Mineral de Carajás), de Corumbá – MS, Mariana e Conselheiro Lafaiete – MG e de Caetité – BA (DNPM, 2009).

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 0,008 mg/L e valor máximo de 9,83 mg/L no Rio Fiorita, com 17 violações ao CONAMA 357/2005 (0,1 mg/L), amplamente distribuídas nas bacias de Araranguá, Urussanga e, secundariamente, Tubarão, justamente nas áreas afetadas por DAM.

As cargas de Mn resultaram em medianas de 0,058 kg/h, e as maiores foram registradas em áreas afetadas pela DAM, desde as nascentes do Rio Mãe Luzia (25,1 kg/h) até a foz do Rio Araranguá (115,1 kg/h), foz do Rio Urussanga (15,9 kg/h) e trecho alto do Rio Tubarão (8,0 kg/h), antes da entrada do Rio Braço do Norte. Portanto, são cargas que aumentam com a entrada de outras fontes na Bacia de Araranguá, onde além do impacto da DAM têm-se teores de fundo altos e o aumento da vazão. Mas essa carga diminui com a melhora das condições do meio, tal como acontece na Bacia de Tubarão.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 465 ppm e valor máximo de 2077 ppm, com 35 amostras acima do menor nível de efeito LEL (460 ppm) da NOAA em todas as bacias, mais proeminente nas nascentes e áreas sem impacto da DAM. O Clarke do elemento é 1060 ppm e os maiores teores médios verificam-se em basaltos (2200 ppm) e granodioritos (1200 ppm). Portanto, os teores identificados em sedimentos das nascentes são naturais, enquanto que nas áreas afetadas por DAM os teores naturais encontram-se depletados, ou empobrecidos.

As amostras de solo superficial apresentaram mediana de 319 ppm e valor máximo de 1492 ppm, com 24 amostras acima do valor de prevenção Eco-SSL para plantas (220 ppm) da NOAA, distribuídas em todas as bacias. Em solo subsuperficial, as amostras apresentaram mediana de 189 ppm e valor máximo de 1227 ppm, com 15 amostras acima do valor de prevenção supracitado, praticamente todos fora das áreas afetadas pela DAM.

O elemento não possui valor de restrição para sedimento de fundo e solos na legislação brasileira.

Mo – Molibdênio

O molibdênio é um metal de transição de coloração branco-prateada, resistente à corrosão, com alto ponto de fusão, bom condutor de eletricidade e calor, não sendo encontrado livre na natureza. No intemperismo, os sulfetos com Mo são lentamente oxidados produzindo MoO_4^{2-} (em pH neutro a moderadamente alcalino) e HMoO_4^- (em valores de pH baixo) (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Ocorre, principalmente, como molibdenita (MoS_2), powellita [$\text{Ca}(\text{MoW})\text{O}_4$] e wulfffenita [$\text{Pb}(\text{MoO}_4)$]. É usado para ligas metálicas de alta dureza e resistência mecânica; em peças de mísseis, aeronaves e de uso nuclear; catalisadores na indústria petroquímica; filamentos para a indústria elétrica e lubrificantes resistentes a altas temperaturas. É um micronutriente essencial, porém moderadamente tóxico (KOLJONEN, 1992). Ao lado do F e do Se, faz parte do grupo de elementos que possuem estreita margem entre concentrações essenciais e tóxicas (LOPES JÚNIOR, 2007). No Brasil, o molibdênio ocorre, principalmente, associado a depósitos de tungstênio em skarnitos (RN e PB), porém as reservas oficiais são restritas, da ordem de 168 t de metal contido em reserva medida, localizada em Currais Novos (RN) (BRASIL, 2016).

No levantamento geoquímico realizado, não foram detectados valores acima do limite de quantificação em água superficial.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 0,745 ppm e máximo de 5,53 ppm. O teor médio representado pelo Clarke é 1,2 ppm e o elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,92 ppm e valor máximo de 3,69 ppm em Treviso; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,96 ppm e valor máximo de 1,76 ppm. Todas as amostras possuem teores abaixo do permitido pela legislação brasileira (30,0 ppm), porém o valor máximo obtido em solo superficial em Treviso situa-se acima do valor *Target* da NOAA (3,0 ppm) e localiza-se em área afetada pela DAM.

Na – Sódio

O sódio (do latim – *natrium*) é um metal alcalino, intensamente reativo, de cor prateada a branca, sendo encontrado na natureza apenas quando combinado com outros elementos. Com o cloro,

forma um dos mais importantes condimentos naturais, o sal (NaCl), usado desde tempos pré-históricos. Apresenta-se em pequenas quantidades nos sedimentos arenosos, mesmo contendo algum feldspato, mas é o sétimo elemento mais abundante da crosta. Durante o intemperismo, o sódio é dissolvido dos feldspatos e removido para os rios e mares, sendo responsável pelo aumento da salinidade da água (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Seus principais minerais são os sais de evaporitos, tais como a halita (NaCl), bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), thenardita (Na_2SO_4), soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) e trona ($\text{Na}_3\text{HCO}_3\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). É usado em diversos produtos, como soda cáustica (NaOH), hipoclorito de sódio (NaClO), purificação e desinfecção de água, produtos para panificação (bicarbonato de sódio – NaHCO_3), produção de vidro, fabricação de sabão e nas indústrias têxtil e química (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É um elemento vital, não tóxico, sendo importante na dieta alimentar humana para o equilíbrio das soluções celulares e de algumas funções das células nervosas. Os sais de sódio são geralmente inofensivos, como o NaCl (“sal de cozinha”), mas não podem ser ingeridos em excesso, principalmente por pessoas com problemas cardíacos, porque eleva a pressão arterial (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No Brasil, existe produção de sal marinho em superfície, principalmente, no Rio Grande do Norte e no Rio de Janeiro. Em Alagoas, existe produção de NaCl para fins industriais, sendo retirado de mina subterrânea.

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 6,1 mg/L e valor máximo de 268,0 mg/L. Foram três amostras acima do limite de potabilidade da Portaria 2914/2011 (200mg/L), na foz do Rio Araranguá (268mg/L), no Rio Prainha da Bacia de Duna (239 mg/L) e foz do Rio Urussanga (215 mg/L).

As cargas de Na apresentaram mediana de 56,1 kg/h e máximos na foz dos rios Araranguá (135416 kg/h), Tubarão (53538 kg/h) e Duna (17588 kg/h), devido às maiores vazões.

Em sedimento de fundo, foi obtida a mediana de 0,02% e o valor máximo de 0,97%, com os maiores valores próximos ao litoral. Considerando o valor médio representado pelo Clarke de 2,43%, os teores obtidos são baixos.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,01% e valor máximo de 0,04%; em solo

subsuperficial, apresentaram mediana de 0,005% e valor máximo de 0,05%.

O elemento não possui valor de restrição na legislação ambiental brasileira para água superficial, sedimento de fundo e solo.

Nb – Nióbio

O nióbio é um metal de transição de cor branca brilhante, maleável, dúctil e com boa resistência à corrosão. A maioria dos compostos de Nb é solúvel em meios ácidos e alcalinos. Forma uma série mineral que varia da columbita (Nb predominante) até tantalita (Ta predominante), podendo ocorrer ainda como pirocloro [(Na,Ca)₂Nb₂O₆(OH,F)], samarskita (óxido complexo de ETR, U, Fe, Ti, Sn, Nb e Ta), loparita [(Ce,Na,Ca)(Ti,Nb)O₃], fergusonita (óxido complexo de Nb e ETR), euxenita [(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti)₂O₆] e tapiolita (Fe,Mn)(Nb,Ta)₂O₆ (RANKAMA; SAHAMA, 1954). Usado, principalmente, em aços inoxidáveis e ligas de metais não ferrosos, indústria nuclear, na indústria aeronáutica, na produção de joias e como superligas. O carboneto de nióbio (NbC) é usado nos *bits* de brocas de perfuração. Ligas de nióbio, fisiologicamente inertes e com características hipoalergênicas, são usadas em muitos dispositivos médicos, tal como o marca-passo. Não é conhecido, até o momento, o papel que desempenha nos processos vitais e seus compostos são considerados tóxicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). As principais reservas de nióbio, no Brasil, encontram-se em Minas Gerais, localizadas no Complexo Alcalino de Araxá e no município de Nazareno; em Goiás estão nos municípios de Catalão e Ouidor; e no Amazonas, nos municípios de São Gabriel da Cachoeira e Presidente Figueiredo (BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico realizado o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 1,65 ppm e valor máximo de 4,88 ppm, em Anitápolis; considerando o Clarke de 20,0 ppm, os teores identificados são muito baixos.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 1,32 ppm e valor máximo de 3,95 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 1,03 ppm e valor máximo de 2,99 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação ambiental brasileira para sedimento de fundo e solo.

Ni – Níquel

O níquel é um metal prateado, considerado siderófilo, por estar associado ao Fe, e calcófilo, por possuir grande

afinidade com o enxofre. Durante o intemperismo, o íon Ni⁺² é facilmente mobilizado em soluções aquosas, podendo migrar por grandes distâncias. Geralmente, associa-se ao Co, Cu e Pt, em depósitos sulfetados; em minerais como a pentlandita [(NiFe)₉S₈], milerita (NiS), violarita (FeNi₂S₄), nicolita ou niquelina (NiAs), garnierita [(NiMg)₆(OH)₈Si₄O₁₀] e heazlewoodita (Ni₃S₂). O mineral pirrotita (FeS) pode conter até 5% de Ni. Meteoritos de Fe, os sideritos, podem conter de 5 a 20% de Ni. É usado, principalmente, como componente em aços inoxidáveis, ligas não ferrosas e eletrodeposição (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O níquel não tem papel biológico conhecido, mas acredita-se que participe de reações enzimáticas. Possui efeito deletério na saúde humana marcado por reações alérgicas, pode causar câncer respiratório, irritação gastrointestinal, dermatite e malformações congênitas (KOLJONEN, 1992). No Brasil, ocorre nos estados do Pará (Jaguar, Onça-Puma, Vermelho e Jacaré-Jacarezinho), Goiás (Niquelândia, Barro Alto, Americana do Brasil, Água Branca), Bahia (Santa Rita) e no Piauí (São João do Piauí) (SUMÁRIO, 2012).

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 0,001 mg/L e valor máximo de 0,173 mg/L, com duas violações ao CONAMA 357/2005 (0,025 mg/L), no Rio Fiorita (0,173 mg/L) e no Canal Urussanga (0,0518 mg/L).

As cargas de Ni tiveram mediana de 0,01 kg/h e maiores cargas em áreas afetadas pela DAM, desde as nascentes do Rio Mãe Luzia (0,44 kg/h) até a foz do Rio Araranguá (0,70 kg/h), foz do Rio Tubarão (0,35 kg/h) e trecho alto do Rio Urussanga (0,31 kg/h). Portanto, são cargas intensificadas por influência da DAM e conservativas, pois se relacionam com o aumento da vazão.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 7,65 ppm e valor máximo de 22,3 ppm, com nove violações ao CONAMA 454/2012 (18 ppm), quase todas nos trechos altos da Bacia de Araranguá, nos rios da Figueira (22,3 ppm), Amola Faca (22,1 ppm), Sangão (21,7 ppm), Três Barras (21,2 ppm) e Manoel Alves (19,3 e 18,8 ppm); na Bacia de Mampituba, no Rio Malacara (19,5 ppm); e na Bacia de Tubarão, nos rios do Meio (19,3 ppm) e Oratório (18,5 ppm).

As amostras de solo superficial apresentam mediana de 4,6 ppm e valor máximo de 66,2 ppm em Curral Falso, com esta, foram duas violações ao CONAMA 420/2009 (30 ppm), incluindo Meleiro (30,9 ppm). Em solo subsuperficial, apresenta mediana de 4,7 ppm e valor máximo de 69,9 ppm em Nova Roma e, esta última, foi a única violação à legislação.

Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é um fator limitante para manutenção da vida aquática e de processos de auto-depuração em sistemas aquáticos naturais. Durante a degradação da matéria orgânica, as bactérias usam oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo causar a redução de sua concentração na água. De acordo com o CONAMA 357/2005, níveis de OD superiores a 5 mg/L classificam as águas-doces superficiais na Classe 1, que pode ser destinada ao abastecimento humano após tratamento simplificado; OD não inferior a 4 mg/L seria Classe 2, que requer tratamento convencional; enquanto que OD não inferior a 2,0 mg/L seria Classe 3, que necessita de tratamento convencional ou ainda avançado. Níveis de OD abaixo de 2 mg/L podem levar à morte a maioria dos organismos.

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram valores de OD entre 10,5 mg/L e 1,98 mg/L, este último (Classe 4), em tributário do Rio Braço do Norte, a montante de São Ludgero, na Bacia do Rio Tubarão. Valores entre 2 e 4 mg/L (Classe 3) foram identificados em 12 amostras, provenientes das bacias de Araranguá (2,9 – 3,95 mg/L), Urussanga (3,19 – 3,48 mg/L), Tubarão (2,5 – 3,84 mg/L) e Duna (2,69 – 3,61 mg/L). Valores entre 4 e 5 mg/L (Classe 2) foram identificados em oito amostras, nas bacias de Araranguá (4,32 – 4,96 mg/L), Urussanga (4,5 mg/L), Tubarão (4,69 – 4,93 mg/L) e Duna (4,24 mg/L). Na Classe 1 (> 5 mg/L), de boa qualidade, foram identificadas 52 amostras, em todas as bacias.

P – Fósforo

O fósforo (do latim – *phosphorus*) é um elemento não metálico, semitransparente, fosforescente no escuro, e que pega fogo espontaneamente quando exposto ao ar. Não é encontrado livre na natureza, mas ocorre largamente em muitos minerais na forma de fosfatos associados com o cálcio, sendo enriquecido em rochas máficas. Quando puro, é incolor, transparente e insolúvel em água. Os principais minerais são a apatita [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$], monazita [(Ce, La, Nd, Th). $(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4$] e xenotímio (YPO_4). Também é extraído de fosforitos, rochas sedimentares de origem marinha com alto teor de minerais fosfatados. O P é usado, principalmente, em fosfatos solúveis na indústria de fertilizantes, em ração animal e na indústria química (vidros especiais, tipos de aços contra corrosão, em tubulações e caldeiras) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É um componente essencial para a vida (constituente do RNA e DNA); o fosfato de cálcio é o principal composto formador de ossos e dentes: hidroxiapatita

[$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$] e fluorapatita [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$], respectivamente. Compõe o tecido nervoso e o protoplasma celular dos animais. Alguns processos biológicos incluem fósforo, tais como a fotossíntese, fermentação e metabolismo. Por outro lado, o P na sua forma elementar, é altamente tóxico (LOPES JÚNIOR, 2007). O fósforo, juntamente com o nitrogênio, são macronutrientes imprescindíveis aos processos biológicos e, quando associados em proporção adequada e em quantidades excessivas, provocam a danosa eutrofização (VON SPERLING, 2004). No Brasil, as principais jazidas estão em Tapira, Patos de Minas e Araxá-MG, Catalão-GO e Cajati-SP (SUMÁRIO, 2009).

No levantamento geoquímico realizado, o P na forma de fosfato (PO_4^{3-}) não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 642,5 ppm e valor máximo de 3.104 ppm. Considerando o valor de alerta estipulado pelo CONAMA 454/2012 (2.000 ppm), apenas duas amostras situaram-se acima deste, no Rio Mãe Luzia (3.104 ppm), na divisa dos municípios de Nova Veneza e Forquilha, e no Rio Ronco D'Água (2.283 ppm).

As amostras de solo superficial apresentam mediana de 361,0 ppm e valor máximo de 815,0 ppm. Em solo subsuperficial, obteve-se a mediana de 231,0 ppm e valor máximo de 624,0 ppm. Os valores apresentados podem ser considerados baixos no que diz respeito à fertilidade natural, e o elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para solo.

Pb – Chumbo

O chumbo (do latim – *plumbum*) é um metal pesado de cor branco-azulada, maleável, dúctil, resistente à corrosão e fraco condutor de eletricidade. Ressalta-se que parte do chumbo na natureza tem sido formada pelo decaimento radioativo do urânio e tório (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN, 1992). Tem como principais minerais: galena (PbS), anglesita (PbSO_4), cerusita (PbCO_3), e os menos comuns, bournonita (PbCuSbS_3), jamesonita ($\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$) e wulfenita (PbMoO_4). É usado, principalmente, como liga metálica, baterias automotivas, fusíveis, revestimentos de cabos elétricos, pigmento de tinta e em revestimentos protetores de raios X. Como não é elemento essencial nem faz parte do metabolismo humano, é perigoso quando presente em excesso no meio ambiente e, geralmente, fixa-se na porção mais superior do solo (KOLJONEN, 1992; KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). O Pb, quando absorvido, pode acumular-se nos

ossos, fígado e rins (tecidos ricos em Ca) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Esse elemento pode afetar todos os órgãos internos do corpo humano e causar danos irreversíveis ao cérebro (saturnismo), não importando se a contaminação ocorreu por ingestão, contato dermal ou inalação. Apesar de ser intrinsecamente tóxico, a maior parte do Pb ingerido passa pelo organismo sem ser absorvido (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). A principal produção de concentrado de Pb, no Brasil, é proveniente da Mina do Morro Agudo, em Paracatu-MG (SUMÁRIO, 2012).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi detectado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 12,6 ppm e valor máximo de 67,6 ppm, com três resultados acima do N1 CONAMA 454/2012 (35,0 ppm), situados no trecho final do Rio Tubarão das Conchas (67,6 ppm), na foz do Canal Urussanga (44,5 ppm) e no Rio Capanema (40,3 ppm), este último na Bacia de Duna.

As amostras de solo superficial apresentam mediana de 16,3 ppm e valor máximo de 38,0 ppm; em solo subsuperficial, apresentam mediana de 16,9 ppm e valor máximo de 44,0 ppm. Todas as amostras possuem teores abaixo do VP CONAMA 420/2009 (72,0 ppm) e dos valores de prevenção *Eco-SSL* para plantas (50,0 ppm) reportados pela NOAA.

pH – Potencial Hidrogeniônico

O pH representa a atividade do íon hidrogênio na água, de forma logaritimizada, resultante, inicialmente, da dissociação da própria molécula da água e, posteriormente, acrescida pelo hidrogênio de outras fontes, como de efluentes industriais. Por influir em diversos equilíbrios químicos, o pH é um parâmetro importante em estudos geoquímicos, variando de acordo com a temperatura e a composição mineral do corpo d'água. A escala logarítmica do pH compreende valores de 0 a 14, sendo que o 7 é considerado o valor neutro. O valor 0 representa a acidez máxima e o valor 14, a alcalinidade máxima. A condição de pH, que corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado, é o da neutralidade, tanto nos ambientes aeróbios, como nos anaeróbios.

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentam valores de pH entre 2,88 e 8,13, sendo que 12 amostras apresentaram valores de pH menores que 6, violando as classes 1

a 4 do CONAMA 357/2005 (pH entre 6 e 9). Os valores mais baixos de pH (ácidos) foram identificados nas áreas mais próximas aos focos de impacto da mineração, no Canal Urussanga desde o seu curso médio (3,29), sob a BR101 (3,93), bem como em sua foz (4,11), além do Rio Linha Anta (5,73), todos situados na Bacia de Urussanga; na Bacia de Araranguá, nos rios Fiorita (2,88), Sangão (3,05) e Mãe Luzia (4,43); e na Bacia de Tubarão, nos rios Palmeiras (3,49) e Tubarão das Conchas (3,79), ambos nas imediações de Orleans, além do Rio Braço do Norte (5,91), à jusante da cidade, e no Rio Sertão dos Correias (5,95), em Tubarão.

Rb – Rubídio

O rubídio não é um elemento muito abundante na crosta terrestre, porém, como seu raio iônico é muito similar ao do potássio, o substitui parcialmente nas espécies minerais potássicas, onde aparece como impureza. É um metal alcalino, de coloração branco-prateada brilhante, baixa temperatura de fusão, eletropositivo, muito reativo e de elevada volatilidade. Encontrado em diversos minerais, como a lepidolita, leucita, polucita e zinwaldita. É utilizado, principalmente, na fabricação de cristais especiais para sistemas de telecomunicações de fibra ótica e na fabricação de vidros especiais, motores iônicos em veículos espaciais, como componente de fotocélula, é utilizado junto com o cério em relógios atômicos e na fabricação de fogos de artifícios. Possui isótopo radioativo ^{87}Rb fazendo par com o Sr ($^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$), utilizado para estabelecer idades convencionais em rochas para eventos de magmatismo e metamorfismo. O rubídio não apresenta um papel biológico importante conhecido, sendo considerado atóxico. Pode acumular-se no organismo, junto ao K, nos músculos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005) e no corpo, quando substitui o K em grandes quantidades, pode causar irritabilidade e espasmos (WINTER, 1993). Não existe exploração do elemento no Brasil.

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 17,85 ppm e valor máximo de 72,90 ppm; considerando o teor médio representado pelo Clarke de 78 ppm, os teores encontrados baixos.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 30,50 ppm e valor máximo de 112,4 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 27,30 ppm e valor máximo de 121,5 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

S – Enxofre

O enxofre é o décimo sexto elemento em abundância na crosta terrestre. É um não metal, de coloração amarela, sólido na temperatura de 20°C, mau condutor de calor e eletricidade, inodoro e insolúvel em água. Elemento bastante comum na superfície da litosfera, ocorrendo em diversos minerais sob a forma de sulfetos e sulfatos, ou mesmo em sua forma pura, em regiões vulcânicas. Na forma nativa, é encontrado em fontes termais, zonas vulcânicas e em meteoritos. Também está presente, em pequenas quantidades, em combustíveis fósseis, como no carvão e no petróleo. Forma de sulfetos tais como pirita (FeS_2), galena, esfalerita e cinábrio; e sulfatos como a gipsita ($\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). É utilizado em vários processos industriais, como na produção de ácido sulfúrico, na fabricação de fósforos, adubos químicos e medicamentos laxantes; como componente da pólvora e vulcanização da borracha, é usado ainda para branquear o papel e como conservante de bebidas alcoólicas. É um nutriente essencial para todos os organismos vivos. É constituinte de algumas enzimas e vitaminas, neutraliza os tóxicos e ajuda o fígado na secreção da bílis. As plantas absorvem o enxofre do solo como íon sulfato. No Brasil, parte do enxofre (35%) é obtida através do refino de petróleo e gás, sendo o restante proveniente da industrialização do Cu, Zn e Ni (SUMÁRIO, 2012), além do depósito de enxofre nativo do Castanhal, em Sergipe (BIONDI, 2003).

Em áreas de mineração de carvão, o maior desafio é controlar a oxidação da pirita (FeS_2) e a consequente geração de drenagem ácida de mina (DAM). Em minas subterrâneas, sem o contato com o ar, a pirita é estável e insolúvel, portanto é desejável que a situação do meio permaneça nessa condição. Como resultado da mineração e da exposição ao oxigênio, parte da pirita é oxidada e solubilizada, produzindo acidez e solubilização de metais no meio aquático.

No levantamento geoquímico realizado em água superficial, o sulfato apresentou valores entre 2,47 – 967,7 mg/L, com mediana de 14,82 mg/L. Considerando o limite CONAMA 357/2005 para as classes 1 a 3 (250 mg/L), três amostras passaram desse limite, nos rios Fiorita (967,7 mg/L), Sangão (430,1 mg/L) e no Canal Urussanga (317,8 mg/L).

As cargas de sulfato não se atenuam com a distância e crescem à medida em que entram novas fontes e

a vazão aumenta, tanto que as maiores cargas foram identificadas na foz dos rios Araranguá (52847,7 kg/h) e Tubarão (20330 kg/h), enquanto que a mediana calculada foi de 170,2 kg/h.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 0,020 % e valor máximo de 2,34% no rio Fiorita. Com 44 resultados acima do limite UET (espessura da epiderme em plantas) para sulfetos da NOAA de 130 ppm (ou 0,013%) e 31 resultados acima do Clarke de 0,034%, percebe-se que os teores identificados são muito altos, chegando a duas ordens de grandeza acima dos valores médios e orientadores. Apesar dos maiores valores terem sido obtidos na bacia do Rio Araranguá, toda a área impactada pela DAM encontra-se destacada no mapa. Além desta, a Bacia de Duna também se destaca, nesse caso, devido à influência salobra das lagoas costeiras.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,03 % e valor máximo de 0,06%; em solo subsuperficial apresentaram mediana de 0,02 % e valor máximo de 0,08%. O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para solo, porém a NOAA aponta um valor de *background* de 0,12% e os pontos destacados no mapa são apenas os valores máximos isolados e que encontram-se abaixo deste.

Sb – Antimônio

O antimônio (do latim – *stibium*) é um semimetal de coloração branco-acinzentada, brilho metálico, mau condutor de calor e eletricidade, solúvel em água-régia, sendo por vezes encontrado livre na natureza. O Sb é incorporado aos sedimentos de drenagem na forma de minerais sulfetados detríticos. Tem como principais minerais a estibinita (Sb_2S_3), ulmanita (NiSbS), kermesita ($\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$), valentinita (Sb_2O_3), stibiconita [$(\text{Sb}_3)\text{O}_6(\text{OH})$], livingstonita (HgSb_4S_8), tetraedrita [$(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$], calcostibita (CuSbS_2) e jamesonita ($\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$). É usado, principalmente, em ligas junto com o Sn e Pb, na fabricação de placas para baterias e revestimentos de cabos, materiais retardadores de chama, semicondutores, indústria da borracha, pigmentos, fabricação de vidros, esmaltes, pinturas, cerâmicas e pequena parte para elaboração de fármacos (compostos injetáveis usados no tratamento da *leishmaniose*). O Sb não tem papel biológico conhecido e seus compostos são altamente tóxicos. Quando em excesso, provoca severos danos ao fígado (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN, 1992). Depósitos do elemento são raros e sempre relacionados às jazidas de Pb, Hg e Ag.

No levantamento geoquímico realizado, não foram detectados valores acima do limite de quantificação em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 0,13 ppm e valor máximo de 0,58 ppm. O Clarke do elemento é 0,2 ppm e os locais, onde se verificam os valores maiores, coincidem com as áreas impactadas pelo carvão: na Bacia de Araranguá, no rio Mãe Luzia (0,58 ppm); e na Bacia de Tubarão, no rio Laranjeiras (0,50 ppm), em Orleans. O Sb não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo, mas a NOAA (2008) aponta um valor UET (3,0 ppm), para sedimentos aquáticos, acima do qual afetaria a espessura da epiderme em plantas.

As amostras de solo superficial apresentam mediana de 0,16 ppm e valor máximo de 0,76 ppm; em solo subsuperficial, apresenta mediana de 0,19 ppm e valor máximo de 0,66 ppm. Nenhuma amostra superou o limite do CONAMA 420/2009 (2 ppm).

Sc - Escândio

O escândio é um elemento de coloração prateada, baixa densidade, alto ponto de fusão e, sob a ação do ar, adquire película amarelada a rosada. Não é encontrado livre na natureza. Seus principais minerais são a thortveitita $[(ScY)Si_2O_7]$ e a kolbeckita $(ScPO_4 \cdot 2H_2O)$ (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É usado na indústria metalúrgica formando ligas leves e de alta resistência com o Al; fontes de luz (ScI_3) ; o composto Sc_2O_3 é usado em lâmpadas de alta intensidade; quando o Sc é irradiado por uma fonte de nêutrons, passa a emitir uma radiação, com a possibilidade de uso em radioterapia (PEIXOTO, 2005). Não tem papel biológico conhecido, mas seus compostos são considerados tóxicos e carcinogênicos, apesar de pouco estudados. É extraído como subproduto de depósitos de níquel, ferro e urânio.

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 4,25 ppm e valor máximo de 18,8 ppm; relativamente ao teor médio representado pelo Clarke (25,0 ppm), os valores identificados são baixos.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 5,50 ppm e valor máximo de 32,10 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 7,0 ppm e valor máximo de 49,90 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Se – Selênio

O selênio é um não metal de coloração cinza, média densidade, baixo ponto de fusão, apresentando efeito fotoelétrico. É um elemento raro na natureza, existindo naturalmente em rochas, sedimentos e solos em estado nativo, ou em minerais sulfetados, ou como selenato associado a Pb, Hg, Cu, Ag e Th. Tem várias aplicações na área da eletrônica e elétrica; em fotografias é utilizado como catalisador na oxidação, hidrogenação e desidrogenação de compostos orgânicos, sendo também adicionado aos aços inoxidáveis. É um micronutriente para todas as formas de vida, sendo essencial ao organismo humano. No entanto, torna-se tóxico e cancerígeno quando associado a algumas de suas formas orgânicas e se consumido em quantidades elevadas. Sua carência nos humanos pode causar: esterilidade feminina, infecções, problemas de crescimento e insuficiência pancreática; e seu excesso (em nível de nutriente) pode ocasionar artrite, cansaço, halitose, irritabilidade, disfunção renal, desconforto muscular e pele amarelada. O selênio é produzido a partir de depósitos de cobre, como subproduto.

No levantamento geoquímico realizado não foram detectados valores acima do limite de quantificação em nenhuma das vias analisadas.

Si – Silício

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, ficando atrás apenas do oxigênio, que compõe quase a metade de toda a crosta. É encontrado em praticamente todas as rochas e solos. Combinado com o oxigênio forma a sílica (SiO_2) ; com oxigênio e outros elementos (alumínio, magnésio, cálcio, sódio, potássio ou ferro), forma silicatos, sendo os principais quartzo, feldspatos e mica. É um componente essencial da grande maioria das rochas que formam a crosta terrestre. Utilizado para a produção de ligas metálicas, na preparação de silicões, na indústria cerâmica, na fabricação de vidros, na indústria eletrônica e microeletrônica, para a produção de chips, células solares e em diversas variedades de circuitos eletrônicos, entre outros. Apesar de sua abundância, não é nutriente nem essencial às formas de vida. A exposição ocupacional à poeira contendo silício representa risco à saúde humana, causando silicose. O quartzo, em suas variadas formas e cores, são encontrados em grandes quantidades nos estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia.

No levantamento geoquímico realizado, a análise de Si foi realizada apenas na RH Extremo Sul e no sudoeste da Bacia de Tubarão. As amostras de água superficial apresentaram mediana de 6,0 mg/L e valor máximo de 14,20 mg/L. O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para água superficial, mas os pontos destacados nas bacias de Araranguá e Urussanga, no Rio Mãe Luzia (14,2 mg/L), em Siderópolis, Rio Sangão (12,5 mg/L), em Forquilha, além do Rio Urussanga (12,6 mg/L), coincidem com as áreas afetadas por DAM e, possivelmente, se devem à abertura de minerais silicatados, com liberação de sílica e metais para a solução.

As cargas de Si apresentaram mediana de 49,8 kg/h e máximos desde as cabeceiras do Rio Araranguá (853,9 kg/h) até a sua foz (3494 kg/h), além do trecho médio no Rio Itoupava (1367,7 kg/h), correlacionados com maiores vazões.

Sn – Estanho

O estanho (do latim – *stannum*) é um metal siderófilo, de coloração branco-metálica brilhante, maleável, bom condutor de eletricidade e de calor, resistente à corrosão, inerte ao oxigênio em condições ambiente, e que apresenta baixa temperatura de fusão em relação aos outros metais. Cassiterita (SnO_2) é a principal fonte, embora pequenas quantidades de estanho sejam recuperadas de sulfetos complexos, tais como a estanita (Cu_2FeSnS) e teallita (PbSnS_2). Desde a Antiguidade, é usado em ligas metálicas com o cobre (Idade do Bronze – 3.300 a.C.), em galvanoplastia, solda (Pb-Sn), componentes eletrônicos, objetos decorativos, na fabricação de molas e espelhos, remédios e fungicidas. Seus compostos orgânicos são considerados extremamente tóxicos e, em níveis elevados, podem ser carcinogênicos e teratogênicos (LOPES JÚNIOR, 2007; MINERAIS DO PARANÁ, 2005). As principais minas do Brasil são a de Pitinga (AM) e a Província Estanífera de Rondônia (SUMÁRIO, 2012).

No levantamento geoquímico realizado, não foram detectados valores acima do limite de quantificação em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 1,55 ppm e valor máximo de 4,50 ppm. O elemento não possui valor de restrição para sedimento de fundo na legislação brasileira, mas a NOAA (2008) aponta um valor de *background* de 5 ppm.

As amostras de solo superficial apresentaram mediana de 1,80 ppm e valor máximo de 9,60 ppm; em solo subsuperficial apresentaram mediana de

2,20 ppm e valor máximo de 12,20 ppm. O elemento não possui valor de restrição para solos na legislação brasileira, porém a NOAA (2008) apresenta um valor Eco-SSL para mamíferos (7,62 ppm), que é superado pelo máximo em solo superficial em Laguna e pelo máximo subsuperficial em Anitápolis.

Sr – Estrôncio

O estrôncio é um metal alcalino-terroso, branco-prateado, maleável, dúctil, bom condutor de eletricidade e que se oxida rapidamente quando exposto ao ar. Durante o intemperismo é facilmente mobilizado, principalmente em ambientes oxidantes ácidos. O conteúdo de Sr nos solos é fortemente controlado pela rocha-fonte e pelo clima, com isto, suas razões variam nos horizontes superficiais, sendo fortemente lixiviado em solos ácidos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992; KOLJONEN, 1992). Seus principais minerais são a celestita (SrSO_4) e a estroncianita (SrCO_3). É usado no refino de açúcar, na síntese da gema fabulita (titanato de estrôncio), fogos de artifício (nitratos), composição de pigmentos (cromatos), fabricação de cerâmicas, medicina, odontologia, vidros para tubos de imagem de TV, ímãs de ferrita e cremes dentais. O isótopo ^{90}Sr é usado em radioterapia e em geradores para converter diretamente a radiação em energia elétrica. O ^{87}Sr radiogênico é produzido pela desintegração do ^{87}Rb radioativo (método Rb-Sr utilizado para datação de rochas). O elemento não é tóxico, exceto a forma radioativa (^{90}Sr artificial, remanescente de explosões nucleares). Por se assemelhar ao Ca, o Sr é absorvido pelo corpo e armazenado nos ossos em substituição ao primeiro; porém o isótopo ^{90}Sr , se ingerido, é perigoso, pois ao ocupar o lugar do Ca na estrutura óssea pode causar câncer (LOPES JÚNIOR, 2007). No Brasil, há apenas um pequeno depósito não comercial de celestita em rochas sedimentares da Bacia do Apodi – RN e uma ocorrência na Bacia do Araripe – CE (LIMA *et al.*, 1994).

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 0,031 mg/L e valor máximo de 0,52 mg/L, bem abaixo do limite para efeitos crônicos (1,5 mg/L) apontado pela NOAA (BUCHMAN, 2008).

As cargas de Sr apresentaram mediana de 0,34 kg/h e máximos na foz dos rios Araranguá (100,3 kg/h) e Tubarão (45,6 kg/h) devido às vazões, e no Rio Duna (29,8 kg/h) devido à maior concentração no local.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 21,80 ppm e valor máximo de 100,7 ppm.

Os valores são da mesma ordem de grandeza do valor de *background* (49 ppm) em sedimento apontado pela NOAA (BUCHMAN, 2008), e bem abaixo do teor médio representado pelo Clarke (384 ppm).

As amostras de solo superficial apresentaram mediana de 8,80 ppm e valor máximo de 40,10 ppm; em solo subsuperficial apresentaram mediana de 6,20 ppm e valor máximo de 52,7 ppm. O elemento apresenta teores bem menores que o valor de *background* (120,0 ppm) em solo apontado pela NOAA (BUCHMAN, 2008).

O elemento não possui valores de restrição para água superficial, sedimento de fundo e solo, na legislação brasileira.

Ta – Tântalo

O tântalo é um metal extremamente dúctil e maleável, inclusive em baixas temperaturas, sendo considerado um elemento de abundância razoavelmente baixa na crosta terrestre, com poucos depósitos conhecidos. É encontrado, frequentemente, associado com nióbio e tório e elementos radioativos, como o urânio. Seu principal mineral é a tantalita (Ta), que forma uma série com a columbita (Nb). É usado na fabricação de capacitores na indústria eletrônica, em superligas para produzir peças de motores a jato, mísseis e reatores nucleares, na manufatura de próteses para o tratamento de fraturas e marca-passos cardíacos. Sua utilização cresceu principalmente a partir dos anos de 1980, impulsionada pela crescente demanda da indústria de componentes eletrônicos. Normalmente não causa problemas quando manuseado em laboratório; entretanto, deve ser considerado como altamente tóxico, porque há evidência de que os compostos de tântalo podem causar tumores, e a poeira do metal é explosiva. No Brasil, as maiores lavras ocorrem no Rio Grande do Norte (Borborema), no Amazonas e no interior do Amapá (SUMÁRIO, 2012).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, apenas quatro das amostras apresentaram valores acima do limite de detecção, com máximo de 0,12 ppm muito abaixo do Clarke de 3 ppm para a crosta terrestre.

Não foram encontrados valores acima do limite de detecção nas amostras de solo. Em função da inexistência de resultados importantes, os mapas desse elemento não foram montados.

Tb – Térbio

O térbio é um metal de cor branco-prateada, maleável, pertencente ao grupo dos ETR. É encontrado naturalmente nos minerais monazita $(Ce,La)PO_4$ e bastnasita $(Ce,La)CO_3F$, mas também pode ser produzido artificialmente através da eletrólise do óxido de térbio em cloreto de cálcio fundido (RSC, 2020). É utilizado na iluminação fosforescente em muitas lâmpadas, painéis e televisores (USGS, 2011) e na prevenção da perda do magnetismo devido ao calor em imãs (BRITISH GEOLOGICAL SERVICE, 2011). O térbio não possui papel biológico conhecido e tem baixa toxicidade (RIM; KOO; PARK, 2013). No Brasil, as principais ocorrências de elementos terras-raras encontram-se em Catalão (GO), Araxá (MG), Tapira (MG), Jacupiranga (SP), Mato Preto (PR), dentre outras (ANM, 2017).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 0,46 ppm e valor máximo de 1,30 ppm, que é equivalente ao teor médio representado pelo Clarke (1,18 ppm).

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,21 ppm e valor máximo de 1,08 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,26 ppm e valor máximo de 0,89 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Th – Tório

O tório é um metal da série dos actinídeos, sendo o isótopo ^{232}Th o único disponível na natureza, sólido, de cor branca brilhante a prateada e, quando exposto ao ar, é levemente radioativo. É um condutor intermediário de calor e corrente elétrica, litófilo e concentra-se nas partes superiores da litosfera (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Os minerais de tório são geralmente resistatos, concentrando-se nos sedimentos residuais em areias e *placers* como minerais pesados (KOLJONEN, 1992). Os principais minerais de tório são a monazita $[(Ce,La,Nd,Th,Y)PO_4]$, a thorita $[(Th,U)SiO_4]$ e a euxenita $[(Y,Ca,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6]$. Seus usos básicos são como fonte de energia nuclear (no processo de obtenção de ^{233}U), ligas metálicas com o Mg, catalisador de reações, fabricação de filamentos de W e células fotoelétricas. O tório não tem função biológica conhecida e, quando disperso no ar, geralmente pela mineração, pode ocasionar

câncer de pulmão, pâncreas e sangue. Caso esteja acondicionado em algum recipiente e, posteriormente, seja exposto ao ar, pode explodir. Mesmo com baixa radioatividade, oferece risco à saúde humana, pois pode originar espécies radioativas, como o gás radônio ^{230}Rn e o ^{208}Pb . No Brasil, o tório é encontrado incluso no minério de ferro-nióbio nas minas de Catalão-Ouvidor em Goiás, e em intrusões alcalinas na borda NE da Bacia do Paraná.

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 8,10 ppm e valor máximo de 56,40 ppm. Com o Clarke de 8,10 ppm e a maior média entre os litotipos de rochas em granitos (17 ppm), praticamente todos os valores identificados nas bacias de Tubarão e Duna, são relativamente altos.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 7,0 ppm e valor máximo de 23,0 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 8,40 ppm e valor máximo de 35,40 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Ti – Titânio

O titânio é um elemento litófilo. Quando puro, é um metal branco e brilhante, que ocorre em três estados de oxidação (Ti^{2+} , Ti^{3+} e Ti^{4+}) e possui boa resistência mecânica à corrosão. É o nono elemento mais comum na crosta terrestre (KOLJONEN, 1992). Seus principais minerais são a ilmenita (FeTiO_3), rutilo (TiO_2) e suas variedades polimórficas brookita e octaedrita/anatásio, e sphene/titanita (CaTiSiO_5), além dos pouco comuns perovskita (CaTiO_3) e loparita ($\text{Ce,Na,Ca}(\text{Ti,Nb})\text{O}_3$). É usado na confecção de ligas, na indústria aeroespacial, confecção de próteses ortopédicas; indústria bélica e como refletor de radiação infravermelha (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). A maior parte dos concentrados provenientes dos minerais de titânio é destinada à produção de pigmentos. Não tem papel biológico conhecido até o momento e não é tóxico, mas suspeita-se de ser carcinogênico. No Brasil, os principais depósitos localizam-se na zona costeira dos estados do RJ, ES, PB, RN, BA e RS, sendo a jazida tipo *placer* de Mataraca (PB) a mais importante (BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram apenas nove resultados acima do LQ (0,002 mg/L), resultando em

mediana de 0,001 mg/L, e valor máximo de 0,11 mg/L no Rio dos Índios, na Bacia de Tubarão, valor este bem abaixo do limite para efeitos agudos (2,0 mg/L) apontado pela NOAA (BUCHMAN, 2008).

As cargas de Ti apresentaram mediana de 0,01 kg/h e máximos nas cabeceiras dos rios Araranguá (1,07 kg/h) e Tubarão (0,84 kg/h), ou seja, mais próximo das áreas-fontes e sem impacto de DAM; e também na foz do Rio Araranguá (0,70 kg/h) devido às maiores vazões.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 0,11% e valor máximo de 0,54%, em Praia Grande e Turvo, nas bacias de Mampituba e Araranguá, respectivamente, valor este que situa-se pouco acima do Clarke de 0,38%.

No solo superficial, as amostras apresentaram mediana de 0,04% e valor máximo de 0,33%; no solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,05% e valor máximo de 0,32%. Os valores máximos, situados em nascentes das bacias de Mampituba e Duna, são da mesma ordem de grandeza do valor de *background* (0,224%) apontado pela NOAA (BUCHMAN, 2008).

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para água superficial, sedimento de fundo e solo.

Tl – Tálíio

O tálíio é um metal cinza-azulado, maleável, pesado, inodoro e sem gosto. É relativamente abundante na crosta terrestre (0,7 ppm), sendo encontrado, principalmente, associado com minerais de potássio em argilas, solos e granitos (USGS, 2019). Os principais minerais são: lorandita (TlAsS_2), crookesita [$\text{Cu}_7(\text{Tl,Ag})\text{Se}_4$] e hutchinsonita [$(\text{Tl, Pb})_2\text{As}_5\text{S}_9$] (PRIOR, 1905). É usado como material semiconductor para retificadores de selênio, em equipamentos de detecção de radiações gama (cintilômetros) e infravermelha, em filtros cristalinos para difração da luz juntamente com selênio e arsênio, em equipamentos de medição de baixas temperaturas junto com Hg, na síntese de compostos orgânicos e em líquidos de alta densidade (USGS, 2019); além disso, é usado como veneno de ratos e formigas na forma do sulfato de tálíio (MAIA, 2004). O tálíio metálico é um composto altamente tóxico para o meio ambiente e para seres humanos pelos riscos em longo prazo, pois se acumula no organismo (MAIA, 2004). Ele chega ao meio ambiente, principalmente, por meio da queima de carvão e na fundição de minérios de cobre, chumbo e zinco. A

fonte de tálio nas águas são os efluentes de fábricas de vidros, de eletrônicos e de remédios, além das águas provenientes das minerações (BELZILE; YU-WEI, 2017). O tálio é um metal muito reativo que se oxida lentamente, quando exposto ao ar em temperatura ambiente, formando os óxidos de tálio (I) e tálio (III). Sua mobilidade é comparada a do potássio, ligeiramente móvel, tanto em condições redutoras quanto oxidantes (BELZILE; YU-WEI, 2017). Sua principal fonte comercial é como mineral-traço em depósitos de sulfetos de cobre, chumbo e zinco e na recuperação de poeira de combustíveis. Ainda não existem depósitos ou reservas exclusivamente de tálio.

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 0,215 ppm e valor máximo de 0,650 ppm, sendo que este último se situa abaixo do teor médio representado pelo Clarke (0,72 ppm).

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,28 ppm e valor máximo de 0,91 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,31 ppm e valor máximo de 1,18 ppm, pouco acima do valor *Target* (1,0 ppm) apontado pela NOAA (BUCHMAN, 2008).

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

U – Urânio

O urânio é um metal do grupo dos actinídeos, não possui cor característica, é denso, reativo, dúctil, maleável, oxida-se facilmente e possui, como característica principal, ser altamente radioativo. Existe na forma de três isótopos: ^{234}U , ^{235}U e ^{238}U . O urânio é comumente enriquecido nos granitos, pegmatitos e depósitos hidrotermais. Suas associações metalogênicas são com V, As, P, Mo, Se, Pb e Cu (KOLJONEN, 1992). Em condições de intemperismo, forma complexos orgânicos facilmente solúveis e móveis, relativamente estáveis em condições áridas. Seus principais minerais são a pechblenda, variedade impura da uraninita (UO_2), e a carnotita [$\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$]. É usado como combustível nuclear para geração de energia elétrica, explosivos nucleares e produção de raios X. Não é um elemento nutriente e ocorre em alguns locais devido a vazamentos e acidentes em usinas nucleares e no armazenamento do lixo atômico. Por ser radioativo e bioacumulativo, pode causar sérios problemas ao sangue, ossos, rins e

fígado, sendo altamente carcinogênico (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2004). No Brasil, as principais jazidas estão na Bahia (Lagoa Real, município de Caetité), no Ceará (Itataia, município de Santa Quitéria) e em Minas Gerais (Poços de Caldas).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 1,82 ppm e valor máximo de 7,35 ppm. O teor médio representado pelo Clarke é de 2,3 ppm e os teores máximos identificados no norte da área, sobre granitoides, são superiores aos teores médios em granitos (4,8 ppm), que são os maiores dentre todos os litotipos. O relevo geoquímico, levemente amplificado no norte da área, pode estar relacionado à ocorrência de pegmatitos ou de mineralizações hidrotermais.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 1,60 ppm e valor máximo de 4,75 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 1,74 ppm e valor máximo de 5,34 ppm, equivalente ao limite Eco-SSL para plantas (5,0 ppm) apontado pela NOAA (2008).

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

V – Vanádio

O vanádio é um metal de cor branco-prateada, macio, dúctil, litófilo, e que ocorre em vários estados de oxidação. Não é encontrado livre na natureza e ocorre junto com o urânio em sedimentos ricos em matéria orgânica, notadamente em ambientes redutores (KOLJONEN, 1992). Seus principais minerais são a carnotita [$\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$], ferghanita [$\text{U}_3(\text{VO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] e vanadinita [$\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$]. Pode também ser encontrado em outros 60 diferentes minerais, na bauxita, nos minérios de Fe e Ti, no carvão mineral e no petróleo (notadamente o extraído na Venezuela). É usado, principalmente, como componente da liga Fe-V, na indústria de aços especiais e como compostos químicos em agentes catalisadores. O vanádio é considerado um elemento essencial para algumas espécies vegetais e animais (LOPES JÚNIOR, 2007). Exposições a altos níveis desse elemento podem causar irritações nos pulmões, olhos e garganta, mas não é considerado elemento carcinogênico (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No Brasil, o vanádio pode ser encontrado no município de Maracás-BA, mas ainda não há produção no país na forma de metal (SUMÁRIO, 2012).

No levantamento geoquímico realizado, não foram detectados valores acima do limite de quantificação em água superficial.

As amostras de sedimento de fundo apresentaram mediana de 56,5 ppm e valor máximo de 483,0 ppm. O valor de *background* (50 ppm) apontado pela NOAA (BUCHMAN, 2008) é semelhante ao encontrado neste estudo, e este por sua vez é inferior ao teor médio representado pelo Clarke (136,0 ppm). Valores acima do Clarke preponderam nas nascentes das bacias de Mampituba e Araranguá, mas o elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo.

As amostras de solo superficial apresentaram mediana de 50 ppm e valor máximo de 396,0 ppm, com cinco amostras acima do valor de intervenção (250 ppm) apontado pela NOAA (BUCHMAN, 2008), nas bacias de Mampituba em Arroio do Silva (396 ppm), Urussanga em Cocal do Sul (372 ppm), Tubarão em Curral Falso (322 ppm), e Araranguá em Nova Roma (284 ppm). Em solo subsuperficial, as amostras apresentaram mediana de 62,0 ppm e valor máximo de 411,0 ppm, com seis amostras acima do valor de referência ambiental supramencionado, sendo quatro delas na bacia de Araranguá, em Vila Maria (411 ppm), Nova Roma (326 ppm), Timbé do Sul (303 ppm) e Meleiro (293 ppm), além das bacias de Mampituba, na subida da serra em Praia Grande (361 ppm) e de Tubarão, próximo à sede de Rio Fortuna (277 ppm). Nenhuma amostra ultrapassou o limite de investigação industrial em solo estabelecido pelo CONAMA 420/2009 (1000 ppm).

W – Tungstênio

O tungstênio, também conhecido como volfrâmio, é um metal de cor branca a cinza, apresenta o mais elevado ponto de fusão entre os metais, e não é encontrado livre na natureza. Ocorre, principalmente, nos minerais scheelita (CaWO_4) e wolframita $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4]$, que são muito resistentes ao intemperismo e costumam ser concentrados em areias (*placers*) junto com outros minerais pesados. É usado, principalmente, no setor de ferro-ligas (Fe, Ni ou Co); na forma de carbetos (WC e W_2C), tipo *widia* (conhecido como metal duro), em brocas de perfuração (*bits*), nas indústrias de produtos químicos e de curtumes (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Não possui papel biológico conhecido e todos os seus compostos são levemente tóxicos; não é considerado carcinogênico (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2004). No Brasil, o tungstênio (scheelita) é encontrado no Rio Grande do Norte e na Paraíba (principalmente nas minas da região do Seridó, porção central

do RN), bem como nos estados do Pará e Rondônia (SUMÁRIO, 2012).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 0,20 ppm e valor máximo de 4,80 ppm, sendo que o teor médio representado pelo Clarke é de 1,2 ppm.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,10 ppm e valor máximo de 0,60 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 0,05 ppm e valor máximo de 0,50 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Y – Ítrio

O ítrio, embora não seja um lantanídeo, é considerado por vários autores como um dos ETR, devido às suas semelhanças geoquímicas e metalúrgicas. Possui cor prateada metálica, é dúctil, reativo e estável em contato com o ar. Tem como principais minerais o xenotímio (YPO_4), a fergusonita $[(\text{Y}(\text{Nb},\text{Ta})\text{O}_4)]$ e a monazita $[(\text{Y},\text{La},\text{Nd},\text{Th},\text{Ce})\text{PO}_4]$. É bastante utilizado na confecção de ligas de Al e Mg para aumentar a resistência em vidros ópticos, cerâmicas supercondutoras, catalisadores, lasers infravermelhos e filtros de micro-ondas. Na medicina, alguns de seus isótopos radioativos são usados na radioterapia do câncer. Não possui função biológica conhecida, sendo considerado levemente tóxico e suspeito de ser carcinogênico (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No Brasil, o ítrio é obtido como subproduto em rochas alcalinas na Mina Barreiro, em Araxá (MG) (BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 12,35 ppm e valor máximo de 38,67 ppm, valor semelhante ao teor médio representado pelo Clarke (31 ppm).

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 5,36 ppm e valor máximo de 27,10 ppm; em solo subsuperficial, obteve-se mediana de 6,34 ppm e valor máximo de 26,0 ppm

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Yb – Itérbio

O itérbio é um metal de cor branco-prateada, maleável, pertencente ao grupo dos elementos terras-raras

(ETR). É encontrado naturalmente no mineral monazita $(\text{Ce, La})\text{PO}_4$, podendo ser extraído por troca iônica e extração por solvente (RSC, 2020). É utilizado nas indústrias química e metalúrgica, em amplificador de fibras óticas e em várias aplicações de lasers, além disso o itérbio metálico, devido à sua elevada resistência elétrica quando submetido a tensões muito elevadas, é usado em medidores de tensão para monitorar as deformações do solo e explosões nucleares (FERREIRA; NASCIMENTO, 2013). Todos os compostos de itérbio devem ser tratados como altamente tóxicos, pois é conhecido por causar irritação na pele e nos olhos, e alguns podem ser teratogênicos (RIM; KOO; PARK, 2013), ou seja, se presente durante a vida embrionária ou fetal, produzem alteração na estrutura ou função da descendência (SIAT/UFBA, 2020). No Brasil, as principais ocorrências de ETR encontram-se em Catalão (GO), Araxá (MG), Tapira (MG), Jacupiranga (SP) e Mato Preto (PR), dentre outras (SUMÁRIO, 2017).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 1,05 ppm e valor máximo de 3,20 ppm, semelhante ao teor médio representado pelo Clarke (3,1 ppm).

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 0,50 ppm e valor máximo de 2,10 ppm; em solo subsuperficial, tem-se mediana de 0,60 ppm e valor máximo de 2,30 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

Zn – Zinco

O zinco é um metal de cor branco-azulada, possui facilidade de se oxidar, com baixo ponto de fusão que o torna maleável, é razoável condutor de eletricidade e tem facilidade de combinação com outros metais, o que permite sua utilização na fabricação de ligas. Tem como principais minerais: esfalerita (ZnS), smithsonita (ZnCO_3) , hidrozincita $[\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6]$, zincita (ZnO) , calamina $[\text{Zn}_4\text{Si}_3\text{O}(\text{OH})_2]$, willemita $(\text{Zn}_2\text{SiO}_4)$ e franklinita $[(\text{Zn}, \text{Mn}, \text{Fe})_2\text{O}_4]$. Os compostos de Zn possuem uma variada utilização na indústria: desodorantes, xampu, tintas luminescentes, cosméticos, borrachas, tintas, pilhas e baterias, etc. É utilizado também em ligas como latão e bronze, entretanto seu uso principal está no processo de galvanização. Elemento-traço essencial para os sistemas vivos é encontrado em todos os tecidos e fluidos do corpo

humano, sendo essencial para o crescimento, desenvolvimento e reprodução (KOLJONEN, 1992). O Zn metálico e seus compostos não são considerados tóxicos, salvo em elevadas quantidades, mas alguns sais podem ser carcinogênicos (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2004). O Brasil tem as principais jazidas nos estados de Minas Gerais e Paraná (SUMÁRIO, 2010).

No levantamento geoquímico realizado, as amostras de água superficial apresentaram mediana de 0,0025 mg/L e valor máximo de 1,15 mg/L, com três violações ao CONAMA 357/2005 (0,18 mg/L), nos rios Fiorita (1,15 mg/L) e Sangão (1,10 mg/L) e no Canal Urussanga (0,344 mg/L), todas na área de influência da DAM. Vale mencionar que as referências posteriores (CONAMA 396/2008 e Portaria MS 2914/2011) apontam um limite mais alto (5,0 mg/L).

As cargas de Zn tiveram mediana de 0,05 kg/h e as maiores foram registradas em áreas afetadas por DAM, desde as nascentes (2,9 kg/h), trecho final (7,4 kg/h) e foz do Rio Araranguá (11,2 kg/h), na foz do Rio Tubarão (5,5 kg/h) e na foz do Rio Urussanga (2,7 kg/h). Portanto, são cargas amplificadas por influência da DAM e conservativas, pois se correlacionam positivamente com o aumento da vazão.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 64,0 ppm e valor máximo de 281,0 ppm; considerando o limite estabelecido pelo CONAMA 454/2012 (123 ppm), foram sete violações a este, cinco delas na Bacia de Araranguá, na foz dos rios dos Porcos (281 ppm) e Araranguá (147 ppm) e nos rios Mãe Luzia (144 ppm), Amola Faca (133 ppm) e Sangão (131 ppm); além do Rio Urussanga sob a BR101 (136 ppm) e do Rio Malacara (135 ppm), este último na Bacia de Mampituba.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 50,0 ppm e valor máximo de 101,0 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 40,0 ppm e valor máximo de 95,0 ppm. O limite permitido pelo CONAMA 420/2009 é de 300 ppm, porém a NOAA (BUCHMAN, 2008) aponta um valor de prevenção Eco-SSL inferior para plantas (50,0 ppm). Considerando este último, seriam 18 pontos acima deste em solo superficial e 13 pontos em solo subsuperficial, distribuídos por todas as cinco bacias, exceto solo subsuperficial em Urussanga.

Zr – Zircônio

O zircônio é um metal de transição, branco-prateado a azulado, quimicamente semelhante ao titânio.

Possui reatividade baixa em temperatura normal, mas quando dividido em seções delgadas pode entrar em combustão espontânea. Ocorre como zircão ($ZrSiO_4$), também conhecido como zirconita ou zircônia, baddeleyita (ZrO_2), eudialita [$Na_{15}Ca_6(Fe,Mn)_3Zr_3SiO(O,OH,H_2O)_3$] ou enriquecido na titanita (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O zircão é um dos minerais mais resistentes ao intemperismo (resistato), sendo concentrado em sedimentos atuais arenosos do tipo *placers* (KOLJONEN, 1992). É usado em usinas nucleares; na fabricação de joias, devido a sua transparência e fulgor adamantino; como material refratário na fabricação de vidrarias laboratoriais e cerâmica; confecção de ligas supercondutoras com o Nb e para *flash* fotográfico. Não é conhecida sua função na fisiologia animal e vegetal. No Brasil, as reservas encontram-se distribuídas nos estados do AM, RJ, MG, PB, TO e BA (SUMÁRIO, 2010).

No levantamento geoquímico realizado, o elemento não foi analisado em água superficial.

Em sedimento de fundo, as amostras apresentaram mediana de 9,40 ppm e valor máximo de 59,50 ppm, sendo que o teor médio representado pelo Clarke é de 162 ppm.

As amostras em solo superficial apresentaram mediana de 3,0 ppm e valor máximo de 46,0 ppm; em solo subsuperficial, apresentaram mediana de 8,60 ppm e valor máximo de 55,30 ppm.

O elemento não possui valor de restrição na legislação brasileira para sedimento de fundo e solo.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

QUALIDADE DAS ÁGUAS

A seguir, são apresentados os resultados de qualidade das águas superficiais que ultrapassaram os limites das referências ambientais preconizadas pelo CONAMA 357/2005 (Tabela 23).

TABELA 23
Incrementos dos teores máximos acima da referência ambiental.

ELEMENTO	VALOR MÁXIMO	RES. CONAMA 357/2005	INCREMENTO ACIMA REF. AMBIENTAL (%)
FeT	133,0	0,3	44233
Al	27,60	0,1	27500
Mn	9,83	0,1	9730
Cu	0,08	0,009	789

TABELA 23 (continuação)
Incrementos dos teores máximos acima da referência ambiental.

ELEMENTO	VALOR MÁXIMO	RES. CONAMA 357/2005	INCREMENTO ACIMA REF. AMBIENTAL (%)
Ni	0,17	0,025	580
Zn	1,15	0,18	539
SO ₄	967,7	250	287
Cl	720,0	250	188
Co	0,11	0,05	120
Na*	268,0	200*	34
B	0,64	0,5	28

Onde: Valores em mg/L; Referência Ambiental* (Na) referente à Portaria MS 2914/2011.

Os locais onde os limites ambientais foram ultrapassados, as causas e os possíveis efeitos sobre a saúde humana foram agrupados por tipo de contaminação, que podem ser por influência da DAM, das ocorrências ou mineração de fluorita ou, ainda, por influência salobra nas proximidades das lagoas costeiras. Segue-se uma caracterização por bacia, com indicação dos possíveis pontos geradores de DAM.

Drenagem ácida de mina (DAM)

Na área central-leste, destacam-se Fe, Al, Mn, Ni, Zn, SO₄, Co e B. Os pontos com os maiores incrementos situam-se em cinco rios principais, que apresentam os maiores teores de Fe, Al, Mn e SO₄, acima dos valores de referência ambiental. Esses rios são: Fiorita (somam-se Ni, B, Zn, Co), Mãe Luzia e Sangão (Zn), Canal Urussanga (somam-se Zn, Ni) e o Rio Oratório, uma das nascentes do rio Tubarão, em menor proporção.

Fe – Foram 33 amostras com teores acima da legislação ambiental (0,3 mg/L), distribuídas em todas as cinco bacias. O Fe é essencial para os processos fisiológicos de todos os seres vivos, porém sua ingestão em excesso pode causar uma doença chamada hemocromatose, que em casos graves pode desencadear cirrose, insuficiência cardíaca, diabetes e problemas endócrinos. A doença manifesta-se em adultos e, por isto, é recomendado incluir a ferritina nos exames de rotina a partir dos 30 anos.

Al - Foram 35 amostras com teores acima da legislação ambiental (0,1 mg/L), distribuídas em todas as bacias, exceto Mampituba. O Al não é um nutriente essencial e, se assimilado em excesso na forma iônica,

é prejudicial e tóxico, sendo também associado à demência senil (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992).

Mn – Foram 17 amostras com teores acima da legislação ambiental (0,1 mg/L), distribuídas dentro da área de influência RCSC. Do ponto de vista ambiental, não há problema enquanto as águas de drenagem não sejam destinadas ao consumo direto, já que as águas de abastecimento passam pelo tratamento convencional previamente à distribuição, onde se busca reduzir compostos que conferem cor à água, entre eles Fe e Mn. Em condições naturais o Mn é um nutriente e desempenha papel fundamental nos processos fotossintéticos. É um oligoelemento não tóxico, essencial para todas as formas de vida, nas quais tem funções tanto estruturais quanto enzimáticas, sendo importante na fixação da vitamina B1 (KOLJONEN, 1992).

Ni – Foram duas amostras com teores acima da legislação ambiental (0,025 mg/L), uma no Rio Fiorita (0,173 mg/L), outra no Canal Urussanga (0,0518 mg/L). O Ni não tem papel biológico conhecido, e seus efeitos deletérios na saúde humana incluem reações alérgicas, câncer respiratório, irritação gastrointestinal, dermatite e malformações congênitas (KOLJONEN, 1992).

Zn – Foram três amostras com teores acima da legislação ambiental (0,18 mg/L), uma no Rio Fiorita (1,15 mg/L), outra no Rio Sangão (1,11 mg/L), e a terceira no Canal Urussanga (0,344 mg/L). O Zn é um elemento-traço essencial para o crescimento, desenvolvimento e reprodução dos organismos (KOLJONEN, 1992), mas alguns de seus sais podem ser carcinogênicos.

Sulfatos – Foram três amostras com teores acima da legislação ambiental (250 mg/L), uma no Rio Fiorita (968 mg/L), outra no Rio Sangão (430 mg/L), e a última no Canal Urussanga (318 mg/L). As águas com altos níveis de sulfatos podem apresentar efeitos laxativos se consumidas por seres humanos e, se estiver na presença dos íons magnésio e sódio, pode resultar em distúrbios gastrointestinais.

Co – Foram duas amostras com teores acima da legislação ambiental (0,05 mg/L), uma no Rio Fiorita (0,108 mg/L), outra no Rio Sangão (0,05 mg/L). O cobalto é um nutriente essencial, necessário à formação da vitamina B₁₂, mas em elevadas concentrações torna-se tóxico e carcinogênico (KOLJONEN, 1992).

B – Foi detectada uma amostra acima do limite da legislação ambiental (0,5 mg/L) no Rio Fiorita (0,636 mg/L). Maiores quantidades de boro são encontradas em

evaporitos e sedimentos argilosos de ambientes marinhos. Em sistemas de águas-doces, sua concentração é variável, da ordem de 0,010 mg/L. É um nutriente essencial às plantas, todavia, em concentrações elevadas, pode provocar sintomas semelhantes àqueles causados pela deficiência em solos, como a necrose em pontas e margens das folhas, assim como um crescimento menor do que o esperado. A ingestão de altas doses, mesmo em curto espaço de tempo, pode prejudicar o funcionamento do estômago, intestino, fígado, rins e o cérebro.

Mineração de fluorita

O processo de extração e beneficiamento da fluorita retira os sais e sulfetos formados na superfície do mineral (SAMPAIO; ANDRADE; BALTAR, 2005). Pela coincidência da presença de Cu e Al em excesso na área, associam-se os elementos a essa atividade.

Cu – Foram dez amostras com teores acima da legislação ambiental (0,009 mg/L), todas na Bacia de Tubarão. Juntamente com Al, o Cu está mais associado em área ao Distrito Fluorítico de Santa Catarina. Suspeita-se que seja uma das impurezas presentes nas ocorrências de fluorita, tal como a barita e outros sulfetos. O Cu é importante para a fotossíntese e essencial para a boa saúde humana, participando no organismo humano do processo de fixação do ferro na hemoglobina do sangue (KOLJONEN, 1992; MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em excesso e sob exposição prolongada, entretanto, pode causar irritações nas vias respiratórias, vertigem, náuseas e diarreias.

Influência salobra

Os cloretos são indicativos de influência salobra, quando próximo de lagoas com influência marinha, caso das lagoas das bacias de Duna e Tubarão. Também podem ser indicativos de fontes pontuais de despejos domésticos, especialmente no caso de águas interiores próximas às nascentes.

Cloretos – Foram encontradas nove amostras acima do limite ambiental (250 mg/L), nas bacias Tubarão e Duna. Dos pontos destacados, somente o Rio Capivari encontra-se num trecho superior da bacia (Tubarão), estando os demais pontos no trecho inferior desta e da Bacia Duna. No trecho inferior das bacias de captação, a origem provável seria um somatório de fontes difusas, dos tributários que drenam áreas ocupadas por usos agrícolas e/ou urbanos, cujo efeito pode ser somado e diluído na foz dos rios principais.

Na – Foram encontradas três amostras acima do limite ambiental (200 mg/L) no Rio dos Porcos (268 mg/L), no Rio Prainha (239 mg/L) e no Canal Urussanga

(215 mg/L). O sódio ocorre junto com cloreto e pelas mesmas causas, e esteve acima do limite ambiental no curso inferior de cada uma das bacias: Duna, Urussanga e Araranguá. O maior efeito adverso da ingestão aumentada de cloreto de sódio é a elevação da pressão sanguínea, reconhecidamente um fator de risco para doenças cardiovasculares e renais (TRAMONTE, 2015). No trecho inferior da Bacia Tubarão, somam-se Ca e Mg, nutrientes sem limites ambientais, aumentados nas imediações dos sambaquis de Jaguaruna.

Tipologia por bacia

Os parâmetros que se mostram acima dos limites ambientais foram agrupados por rio e por bacia hidrográfica (Tabelas 24-28).

As Tabelas 24 e 25 mostram que as bacias de Tubarão (~ 4.700 km²) e Araranguá (~ 3.000 km²), com as maiores áreas de captação, possuem maior número de drenagens com parâmetros acima da legislação ambiental. A grande maioria destaca-se por conta do Fe, Al e Mn, amplamente distribuídos em valores levemente acima dos limites ambientais, o que é bastante comum dado os tipos de solos predominantes (Argissolos, Cambissolos e Gleissolos) e o clima úmido, que favorece o intemperismo químico. Nota-se, ainda, que os pontos

com as maiores concentrações de Fe, Al e Mn, são os mesmos que se destacaram em alguns outros parâmetros, tais como SO₄, Zn, Co e B. Esses pontos representam focos de pior qualidade, somando mais parâmetros acima dos limites ambientais, como será visto adiante.

Os focos de pior qualidade (que detêm o maior número de violações), são também aqueles em que o pH diminui e a acidez dispara (maiores incrementos), portanto, atribui-se essa piora de qualidade à geração de DAM. Esses pontos, aqui chamados *geradores*, são os mais próximos da geração dentre os amostrados, não necessariamente coincidindo com o ponto gerador (boca de mina, lagoas ou áreas de disposição de rejeitos, etc.). Observa-se que a maioria dos metais pode voltar a ficar abaixo dos limites ambientais, embora a acidez permaneça elevada, poucos metros a jusante. A seleção dos parâmetros que atestam a piora da qualidade da água, em pontos aqui chamados *geradores* (de DAM), é apresentada na Tabela 29.

A Tabela 29 reúne características de qualidade da água relacionadas com a DAM, nos rios mais impactados pela mineração de carvão, em pontos representativos de montante, gerador de DAM e jusante, em cada uma das bacias hidrográficas afetadas.

TABELA 24

Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Tubarão.

BACIA DE TUBARÃO				
Rio Palmeiras Al - 5,86 mg/L Fe - 3,29 mg/L Mn - 1,5 mg/L	Rio dos Índios Al - 4,4 mg/L Fe - 2,53 mg/L	Rio Tubarão Al - 3,47; 0,88; 0,19 mg/L Fe - 1,31 mg/L Mn - 0,612 mg/L Cu - 0,035 mg/L Cloreto - 409 mg/L	Rio Bravo Al - 2,11 mg/L Fe - 1,17 mg/L Cu - 0,0236 mg/L	Rio Bugres Al - 1,36 mg/L Fe - 0,813 mg/L
Rio do Meio Al - 1,23 mg/L	trib. Baço Norte Al - 1,02 mg/L Fe - 1,05 mg/L	Rio Capivari Al - 0,98; 0,28 mg/L Fe - 0,636 mg/L Cu - 0,0321 mg/L Cloreto - 626; 360 mg/L	Rio Congonhas Al - 0,896; 0,14 mg/L Fe - 0,507; 0,305 mg/L Cloreto - 406 mg/L	Rio Esquerdo Al - 0,4 mg/L
Sertão Correias Al - 0,296 mg/L Fe - 0,488 mg/L	Rio Espreado Al - 0,19 mg/L	Rio Sete Al - 0,167 mg/L Fe - 0,412 mg/L Cu - 0,0632 mg/L	Rio Chapéu Al - 0,135 mg/L	Rio Hipólito Al - 0,123 mg/L
Rio Pequeno Fe - 0,418 mg/L	Pedras Grandes Fe - 0,407 mg/L	Rio Braço Norte Fe - 0,304 mg/L Cu - 0,0812; 0,018 e 0,0178 mg/L	Rio Gravatal Fe - 0,301 mg/L Cu - 0,0233 mg/L	Rio São Bonifácio Cu - 0,0155 mg/L

Onde: CONAMA 357/2005 para Al (0,1 mg/L), Fe (0,3 mg/L), Mn (0,1 mg/L), Zn (0,18 mg/L), SO₄ (250 mg/L), Co (0,05 mg/L), B (0,5 mg/L), Cu (0,009 mg/L), Cloreto (250 mg/L); e Portaria 2914/2011 para Na (200 mg/L).

TABELA 25

Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Araranguá.

BACIA ARARANGUÁ		
Rio Fiorita Al - 27,6 mg/L Fe - 133 mg/L Mn - 9,83 mg/L Ni - 0,173 mg/L Zn - 1,15 mg/L SO ₄ - 968 mg/L Co - 0,108 mg/L B - 0,636 mg/L	Rio Sangão Al - 18,3 mg/L Fe - 14,4 mg/L Mn - 2,33 mg/L Zn - 1,11 mg/L SO ₄ - 430 mg/L Co - 0,05 mg/L	Rio Mãe Luzia Al - 0,723 mg/L Fe - 1,05; 0,391 mg/L Mn - 0,691; 0,435; 0,277 mg/L
Rio Figueira Al - 0,159 mg/L	Rio Araranguá Al - 0,133 mg/L Mn - 0,164 mg/L	Rio dos Porcos Al - 0,129 mg/L Fe - 0,463 mg/L Mn - 0,138 mg/L Na - 268 mg/L
Rio Jundiá Al - 0,108 mg/L Fe - 0,496 mg/L	Rio do Cedro Al - 0,105 mg/L Fe - 0,48 mg/L	Rio São Bento Mn - 0,527 mg/L

TABELA 26

Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Urussanga.

BACIA DE URUSSANGA		
Rio Urussanga Al - 24,1; 9,03; 7,25 mg/L Fe - 4,57; 1,55; 0,376 mg/L Mn - 1,69; 0,859; 0,75 mg/L Ni - 0,0518 mg/L Zn - 0,344 mg/L SO ₄ - 318 mg/L Na - 215 mg/L	Rio Cocal Fe - 0,523 mg/L Mn - 0,163 mg/L	Rio Galo Mn - 0,312 mg/L
	Rio Ronco D'Água Al - 0,207 mg/L Fe - 0,639 mg/L	Rio Linha Anta Al - 0,122 mg/L Fe - 0,469 mg/L Mn - 0,182 mg/L

TABELA 27

Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Duna.

BACIA DE DUNA			
Rio Capanema Al - 0,657 mg/L Fe - 0,587 mg/L Cu - 0,0424 mg/L Cloreto - 720 mg/L	Rio Araçatuba Al - 0,187 mg/L	Rio Duna Al - 0,124 mg/L Cloreto - 596; 382 mg/L	Rio Prainha Cloreto - 710 mg/L Na - 239 mg/L

TABELA 28

Concentrações dos elementos que excederam limites ambientais na Bacia de Mampituba.

BACIA DE MAMPITUBA	
Rio Leão Al - 0,0997 mg/L Fe - 0,898 mg/L Mn - 0,178 mg/L	Rio Caverá Fe - 0,503 mg/L

TABELA 29

Aspectos relacionados com a DAM nos rios mais impactados pela mineração de carvão em cada bacia hidrográfica.

ARARANGUÁ		URUSSANGA		TUBARÃO
Montante	Rio Mãe Luzia – EV01 (Siderópolis)		Rio Cocal – EV04 (Morro da Fumaça)	Rio Oratório – MF06 (Lauro Muller)
	Q (1,26 m³/s) pH 6,78 SO ₄ (114,8 mg/L) Fe (0,39 mg/L) Al (0,01 mg/L) Mn (0,44 mg/L) Carga SO ₄ (518,9 kg/h) Carga Fe (1,77 kg/h)		Q (0,24 m³/s) pH 6,64 SO ₄ (55,98 mg/L) Fe (0,523 mg/L) Al (0,01 mg/L) Mn (0,163 mg/L) Carga SO ₄ (48,41 Kg/h) Carga Fe (0,45 kg/h) Carga Acidez (2,84 kg/h)	Q (0,88 m³/s) pH 6,65 SO ₄ (36,2 mg/L) Fe (0,18 mg/L) Al (0,01 mg/L) Mn (0,03 mg/L) Carga SO ₄ (114,7 Kg/h) Carga Fe (0,57 kg/h) Carga Acidez (8,2 kg/h)
Gerador DAM	Rio Fiorita - EV02 (Recebedor Língua Dragão)	Rio Sangão - EV15 (rizicultura)	Rio Urussanga - EV05 (Estação Cocal - Fluorita)	Rio Tubarão das Conchas - MF05 (montante) (Orleans / Pedras Grandes - Carvão)
	Q (0,71 m³/s) pH 2,88 SO ₄ (968 mg/L) Fe (133 mg/L) Al (27,6 mg/L) Mn (9,83 mg/L) Zn (1,15 mg/L) B (0,636 mg/L) Ni (0,173 mg/L) Co (0,108 mg/L) Carga SO ₄ (2475,5 kg/h) Carga Fe (340,2 kg/h) Carga Acidez (1207,7 kg/h)	Q (1,85 m³/s) pH 3,05 SO ₄ (430 mg/L) Al (18,3 mg/L) Fe (14,4 mg/L) Mn (2,33 mg/L) Zn (1,11 mg/L) Carga SO ₄ (2859,9 kg/h) Carga Fe (95,7 kg/h) Carga Acidez (1675,7 kg/h)	Q (1,66 m³/s) pH 3,29 SO ₄ (318 mg/L) Fe (4,57 mg/L) Al (24,1 mg/L) Mn (1,69 mg/L) Zn (0,344 mg/L) Ni (0,0518 mg/L) Carga SO ₄ (1893,2 kg/h) Carga Fe (27,2 kg/h) Carga Acidez (1430,0 kg/h)	Q (1,53 m³/s) pH 3,62 SO ₄ (146 – 121 mg/L) Fe (1,31 mg/L) Al (3,47 mg/L) Mn (0,612 mg/L) Carga SO ₄ (662,7 kg/h) Carga Fe (7,2 kg/h) Carga Acidez (799,3 kg/h)
Jusante	Rio Mãe Luzia – EV25 (Nova Veneza/Forquilha)	Rio Mãe Luzia – EV18 (Irrigando arroz)	Canal Urussanga – EV14 Sob BR101	Rio Tubarão das Conchas - EV06 (jusante) - Rio Palmeira
	Q (5,6 m³/s) pH 4,43 SO ₄ (114,4 mg/L) Fe (1,05 mg/L) Al (0,72 mg/L) Mn (0,69 mg/L) Carga SO ₄ (2318,2 kg/h) Carga Fe (21,3 kg/h) Carga Acidez (455,3 kg/h)	Q (10,6 m³/s) pH 6,14 SO ₄ (49,4 mg/L) Al (0,01 mg/L) Fe (0,026 mg/L) Mn (0,27 mg/L) Carga SO ₄ (1887,4 kg/h) Carga Fe (1,00 kg/h) Carga Acidez (305,7 kg/h)	Q (2,8 m³/s) pH 3,93 SO ₄ (145,3 mg/L) Fe (1,55 mg/L) Al (9,03 mg/L) Mn (0,86 mg/L) Zn (0,16 mg/L) Ni (0,001 mg/L) Carga SO ₄ (1469,8 kg/h) Carga Fe (15,68 kg/h) Carga Acidez (1099,8 kg/h)	Q (1,48 m³/s) pH 3,83 SO ₄ (155,6 mg/L) Fe (3,29 mg/L) Al (5,86 mg/L) Mn (1,5 mg/L) Carga SO ₄ (827,4 kg/h) Carga Fe (17,5 kg/h) Carga Acidez (589,8 kg/h)

Pontos geradores

A localização dos pontos geradores de DAM, bem como dos pontos representativos da qualidade da água, a montante e jusante do ponto gerador, são apresentados a seguir. Foi possível identificar um ponto gerador em cada uma das bacias de Tubarão e Urussanga, e dois pontos na Bacia Araranguá.

Na Bacia Urussanga, o ponto denominado montante (EVA04) localiza-se no Rio Cocal, na localidade de Morro da Fumaça, próximo à sua desembocadura no Rio Urussanga. O pH 6,64 atesta que esse tributário, possivelmente, ainda não foi efetivamente afetado pela DAM (Figura 41).

O ponto gerador (EVA05) está situado no Rio Urussanga, antes da confluência com o Rio Cocal (ponto montante), e recebe como tributários os rios Carvão e Maior. Portanto, o primeiro ponto amostrado no canal principal do Rio Urussanga já apresenta pH 3,29, típico de DAM. São apenas 1,6 km de distância que separam os dois pontos, representativos de trechos distintos.

O ponto a jusante (EVA14) localiza-se no Canal Urussanga, sob a ponte da BR101, após retificação do rio, onde o pH é 3,93. Nesse ponto, o entorno é ocupado por rizicultura.

Na Figura 42 estão representadas as cargas dos parâmetros relacionados com a DAM (SO_4 , Acidez, Mn, Al, Fe^T , Zn, Ni, Cu, Fe^{2+}), nos pontos representativos de montante, gerador e jusante, agrupados por ordem de grandeza da carga, na Bacia de Urussanga.

Alguma carga de SO_4 (48,4 kg/h) já pode ser vista no ponto de montante, juntamente com Fe^{2+} (0,03 kg/h), sendo que nesse tributário a vazão é bem modesta (0,24 m³/s), mas já existem bocas de minas nas suas cabeceiras.

No ponto gerador (EVA05), que faz parte do curso principal, tem-se uma vazão de 1,66 m³/s, ao passo que as cargas de todos os parâmetros selecionados são altas e condizentes com DAM, tais como: acidez (1.430 kg/h), SO_4 (1.893 kg/h), Fe^T (27,2 kg/h), Mn (10,1 kg/h), Al (143,6 kg/h), Zn (2,05 kg/h), Fe^{2+} (0,85 kg/h) e Ni (0,31 kg/h).

Já no ponto de jusante, apesar da vazão (2,81 m³/s) sofrer incremento de 69,8% em relação ao ponto anterior, as cargas de acidez (1.099,8 kg/h), SO_4 (1.469,8 kg/h), Fe^T (15,7 kg/h), diminuem -23%, -22,4% e -42,4%. Uma das possíveis causas deve-se ao fato desses pontos não terem sido coletados no mesmo dia: no ponto de montante havia chovido na noite que antecedeu à coleta (30/11/17), ainda chovia na coleta do ponto gerador (04/12/17), e havia parado de chover no ponto

de jusante (06/12/17), o que pode ter ocasionado um efeito de diluição das cargas.

Além disso, a área drenada é pequena, há poucos tributários aportando águas de boa qualidade e uma retificação com alargamento do canal antes do ponto de jusante, resultando em cargas levemente menores de Mn (8,69 kg/h), Al (91,4 kg/h), Zn (1,57 kg/h) e Ni (0,01 kg/h). As exceções foram Fe^{2+} (1,1 kg/h) e o Cu (0,05 kg/h), que aumentaram em relação ao ponto anterior.

O alargamento do canal propicia um aumento do tempo de residência da água no local (em tempo seco), que favorece a decantação de parte da carga em suspensão, o que também pode contribuir para a diminuição da carga dissolvida à jusante desse trecho.

Já o aumento das cargas de Cu e Fe^{2+} , no ponto de jusante, deve ser oriundo do Rio Varjedo, tributário da margem esquerda, que drena o Granito Imaruí-Capivari. E relativamente ao Fe^{2+} , também pode estar relacionado ao uso da área para rizicultura, já que o uso do solo, verificado em campo, é de plantação de arroz.

A plantação de arroz se dá sob manejo de solo irrigado, que é mantido em estado alagadiço e sob condições de baixa saturação de oxigênio, que propiciam condições redutoras, onde predominam as formas reduzidas de alguns metais, tal como o Fe^{2+} em solução. Sabe-se que o alagamento das plantações utilizando as águas dos rios é o procedimento usual e ocorre em momentos específicos, quando as plantações são "enchidas" com a água do rio; quando as plantações são esvaziadas, a vazão do rio aumenta com águas de composição mais redutora.

Vale questionar se o uso de águas muito deterioradas, tal como do Canal Urussanga, sendo utilizadas na irrigação do arroz, não acarretam em absorção dos metais na cultura em quantidades prejudiciais à saúde humana.

Na Bacia de Araranguá foram identificados dois pontos de geração de DAM, nos rios Fiorita e Sangão, ambos tributários do Rio Mãe Luzia (Figura 43).

O ponto a montante é no Rio Mãe Luzia ($Q = 1,26 \text{ m}^3/\text{s}$), antes da confluência com o Rio Fiorita. O Rio Mãe Luzia já recebe influência de áreas mineradas, porém, o seu maior volume reflete-se no efeito de diluição das cargas. Os pontos de montante e gerador foram coletados no mesmo dia (30/11/17), em tempo seco.

O ponto gerador no Rio Fiorita ($Q = 0,71 \text{ m}^3/\text{s}$) possui menor volume e recebe contribuição de águas residuárias da Lagoa Língua do Dragão, conhecida na região por sua coloração alaranjada, decorrente da presença de Fe^{3+} na forma de sólidos em suspensão.

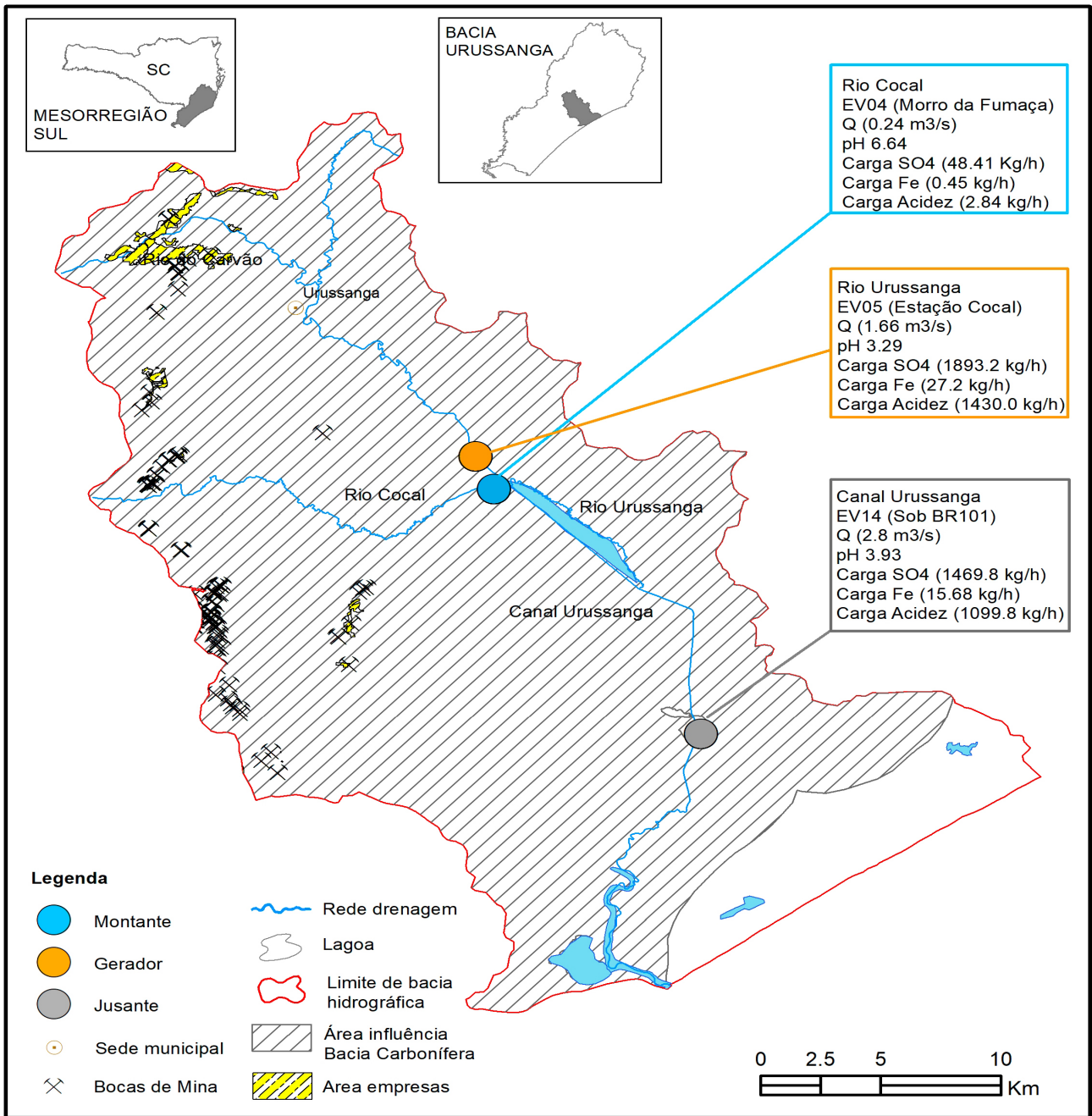


Figura 41 - Localização de pontos representativos de montante, geração de DAM e jusante na Bacia Urussanga. Fonte: elaborada pela autora.

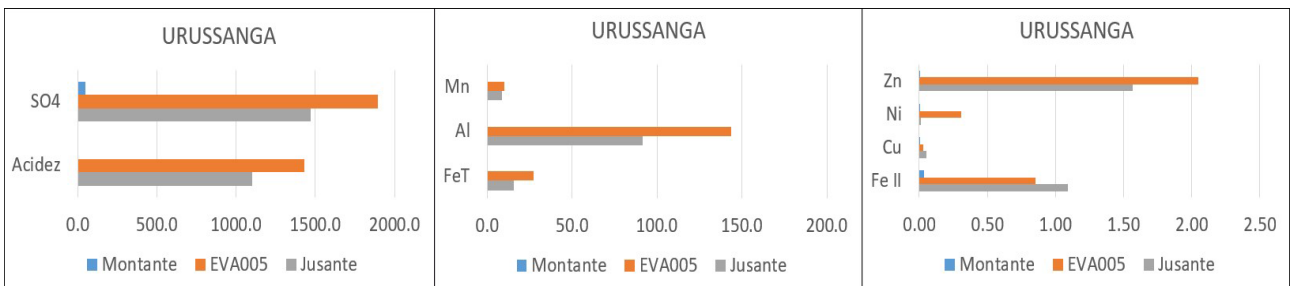


Figura 42 - Cargas dos parâmetros relacionados com a DAM em pontos representativos de montante, geração e jusante, na Bacia de Urussanga (em kg/h). Fonte: elaborada pela autora.

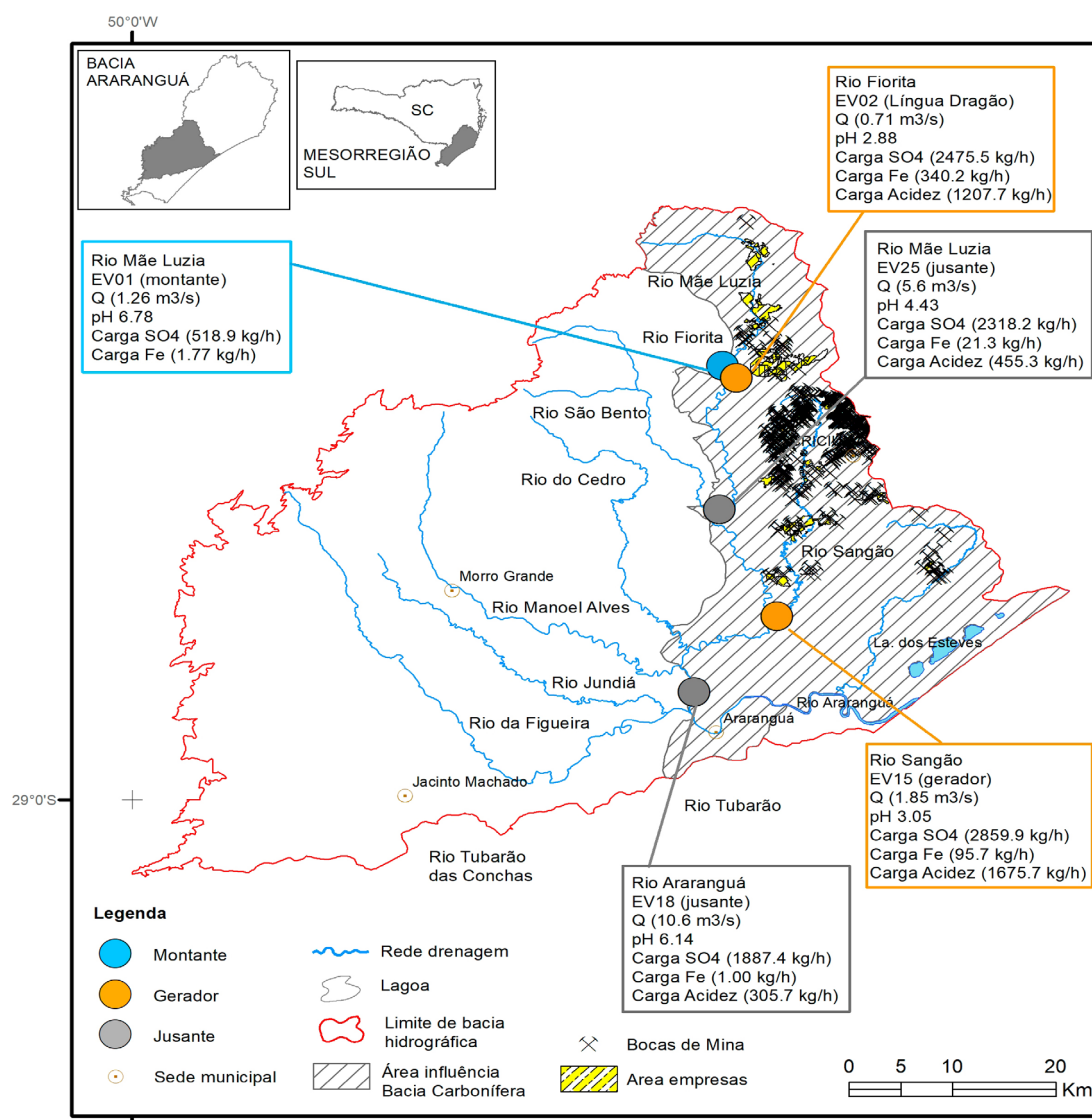


Figura 43 - Localização de pontos representativos de montante, geração de DAM e jusante na Bacia de Araranguá. Fonte: elaborada pela autora.

E o ponto a jusante volta a ser no Rio Mãe Luzia ($Q = 5,6 \text{ m}^3/\text{s}$), onde já é um rio de grande porte, na divisa dos municípios de Nova Veneza e Forquilha. Esse ponto foi coletado em 9/12/2017, em tempo seco, porém havia chovido bastante no dia 4/12/2017.

O Rio Sangão ($1,85 \text{ m}^3/\text{s}$) é outro tributário que deságua no Rio Mãe Luzia, sendo que o ponto amostrado se situa próximo da confluência, na divisa dos municípios de Forquilha e Maracajá. O ponto a jusante se localiza no rio Araranguá ($Q = 10,6 \text{ m}^3/\text{s}$), após união das águas dos rios Mãe Luzia, do Cedro e Manoel Alves. Ambos pontos foram coletados no dia 7/12/2017, sendo que o primeiro estava irrigando arroz no momento da coleta, enquanto que o segundo, além de áreas de arroz irrigado nas imediações, também sofre efeitos de maré.

Na Figura 44 estão representadas as cargas dos parâmetros relacionados com a DAM, em pontos designados como montante e jusante, de dois pontos considerados como geradores principais, na Bacia Araranguá.

O ponto a montante (EVA01), no Rio Mãe Luzia, apresenta cargas de SO_4 (518,9 kg/h), Mn (1,97 kg/h), Fe^{T} (1,77 kg/h) e Zn (0,07 kg/h) perceptíveis, apesar de se localizar ainda no trecho superior da bacia. Situado no município de Siderópolis, foi o primeiro ponto amostrado na direção montante desse rio, entretanto, percebeu-se posteriormente que já existiam áreas de empresas mineradoras a montante dele, no município de Treviso. A vazão ($Q = 1,26 \text{ m}^3/\text{s}$) no trecho superior do Rio Mãe Luzia é maior do que a vazão no Rio Fiorita (ponto gerador), que será descrito a seguir.

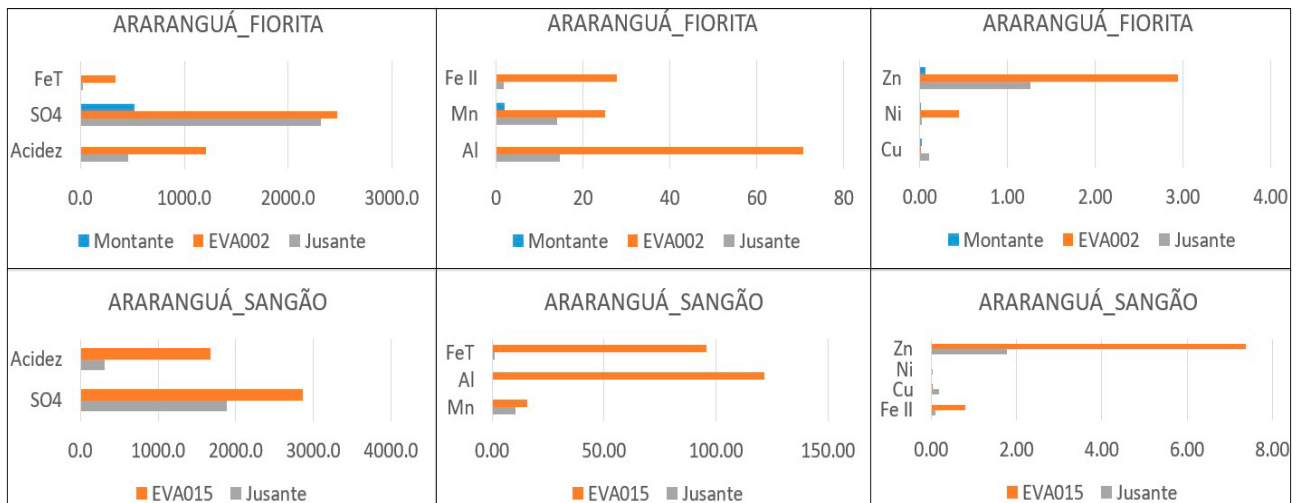


Figura 44 - Cargas dos parâmetros relacionados com a DAM em pontos representativos de montante, geração e jusante, na Bacia de Araranguá (em kg/h). Fonte: elaborada pela autora.

O ponto gerador (EVA02) no Rio Fiorita destacou-se pelas maiores concentrações de todos os parâmetros relacionados com a DAM. Entretanto, devido à sua pequena vazão ($Q = 0,71 \text{ m}^3/\text{s}$), as cargas de acidez (1.207,7 kg/h), SO_4 (2.475 kg/h), Fe^{T} (340 kg/h), Al (70,6 kg/h), Fe^{2+} (27,8 kg/h), Mn (25,15 kg/h), Zn (2,94 kg/h), Ni (0,44 kg/h) e Cu (0,01 kg/h) não foram ainda maiores.

No ponto a jusante (EVA25), somam-se outros tributários de boa qualidade ao Rio Mãe Luzia, a vazão aumenta ($Q = 5,6 \text{ m}^3/\text{h}$) e a maioria das cargas diminui em relação ao ponto gerador, tal como acidez (455,3 kg/h), Fe^{T} (21,27 kg/h), Fe^{2+} (1,85 kg/h), Al (14,65 kg/h), Mn (14,0 kg/h), Ni (0,02 kg/h) e Zn (1,26 kg/h), por efeito de diluição. O SO_4 (2.318 kg/h) manteve-se praticamente constante e o Cu (0,1 kg/h) é a exceção, porque aumentou em uma ordem de grandeza. É bom notar que, em relação ao ponto de montante no Rio Mãe Luzia, as cargas de SO_4 (346,8%), Mn (612,3%), Zn (1.753%) e Fe^{T} (1.104%) aumentaram consideravelmente no ponto a jusante.

As cargas do Rio Sangão (EVA15) não apresentam ponto de montante, pois tem-se apenas um ponto nele, que é um ponto gerador. Isto se constata pela dimensão das cargas de acidez (1.675,7 kg/h), SO_4 (2.860 kg/h) e Fe^{T} (95,75 kg/h) ali geradas, apesar de possuir pequena vazão ($Q = 1,85 \text{ m}^3/\text{s}$). Somam-se a estas as cargas de Al (121,7 kg/h), Mn (15,5 kg/h), Zn (7,4 kg/h), Fe^{2+} (0,79 kg/h), Cu (0,03 kg/h) e Ni (0,01 kg/h).

Considerando que o ponto a jusante (EVA18) já é no Rio Araranguá, que recebe contribuições de rios de grande porte e de boa qualidade (rios do Cedro e Manoel Alves), é natural que as cargas de acidez (305,7 kg/h), SO_4 (1887,4 kg/h), Mn (10,6 kg/h), Zn (1,77 kg/h), Fe^{T} (1,00 kg/h),

Al (0,38 kg/h) e Fe^{2+} (0,10 kg/h) diminuam, apesar da vazão aumentar ($Q = 10,6 \text{ m}^3/\text{h}$). As exceções neste caso foram Cu (0,19 kg/h) e Ni (0,04 kg/h), que aumentaram em relação ao ponto gerador. É possível que reflitam um maior teor de fundo nessa bacia e que tenham sido incorporados sólidos, por ação natural do intemperismo, posteriormente dissolvidos em função da diluição em águas com despejos de DAM. Outra possibilidade é que já tenham sido lixiviados da área geradora e, por isso, não se destacam nos fluxos do Rio Mãe Luzia.

A geração de DAM na Bacia de Tubarão foi identificada no trecho em parte canalizado, denominado Tubarão das Conchas, que é um dos principais tributários do Rio Tubarão, antes deste se encontrar com o Rio Braço do Norte (Figura 45).

O ponto a montante localiza-se no Rio Oratório, que é uma das nascentes, com pH (6,65) próximo da neutralidade e cargas de SO_4 , Fe e acidez ainda relativamente baixas, apesar da presença de pátios de empresas mineradoras a montante do ponto.

O trecho do rio Tubarão das Conchas recebe como tributários, além do rio Oratório, os rios Rocinha e Bonito. Após a entrada destes tributários, sua vazão praticamente duplica (1,53 m^3/s) e o pH (3,62) sofre um rebaixamento significativo.

Já o ponto mais à jusante no rio Tubarão das Conchas recebe, além dos tributários supramencionados, os rios Palmeiras e Armazém, mas manteve os níveis de vazão (1,48 m^3/s) e pH (3,83) equivalentes ao ponto anterior. Os primeiros (pontos de montante e gerador) foram coletados no mesmo dia (28/11/17), em tempo seco, e

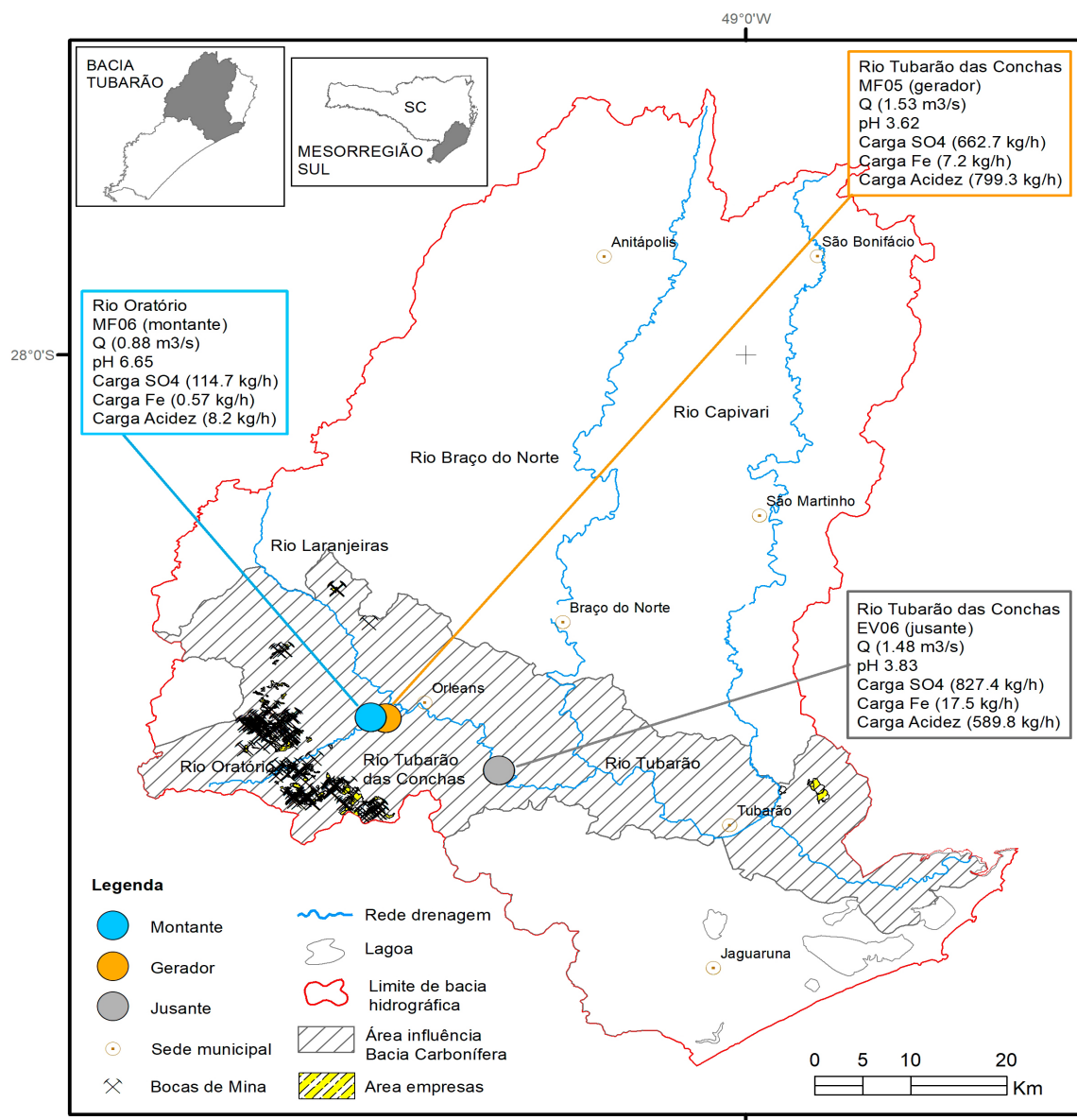


Figura 45 - Localização de pontos representativos de montante, geração de DAM e jusante na Bacia de Tubarão. Fonte: elaborada pela autora.

o último ponto foi coletado no dia 04/12/17, sendo que houve chuvas entre os dias 30/11 e 04/12/17.

A Figura 46 representa as cargas dos parâmetros relacionados com a DAM, em pontos designados como montante, gerador e jusante, na Bacia de Tubarão.

A presença das empresas de mineração a montante do ponto (MFA06), no Rio Oratório, reflete-se na presença de carga de SO₄ (114,7 kg/h) já nesse ponto, juntamente com Fe^T (0,57 kg/h) e, principalmente, Fe²⁺ (0,54 kg/h).

A partir do ponto gerador (MFA05), tem-se a vazão aumentada (1,53 m³/s) e cargas de acidez (799,4 kg/h),

SO₄ (662,7 kg/h) e Fe^T (7,2 kg/h), que representam incrementos de 9.642%, 477,5%, 1.169%, respectivamente, em relação ao ponto de montante, sendo que o incremento de vazão, neste caso, foi de apenas 73,5%. Somam-se as cargas de Mn (3,36 kg/h), Al (19,07 kg/h), Zn (0,62 kg/h), Ni (0,07 kg/h), Cu (0,03 kg/h) e Fe²⁺ (0,45 kg/h). Essas águas atravessam a cidade de Orleans, situada cerca de 3,8 km a jusante.

No ponto à jusante (EVA06), as cargas de acidez (589,8 kg/h) e Fe²⁺ (0,36 kg/h) diminuem, o Cu (0,03 kg/h) se mantém constante, e a maioria das cargas aumentam em função do aumento da área drenada, caso do SO₄ (827,5 kg/h), Fe^T (17,5 kg/h), Mn (7,98 kg/h), Al (31,2 kg/h),

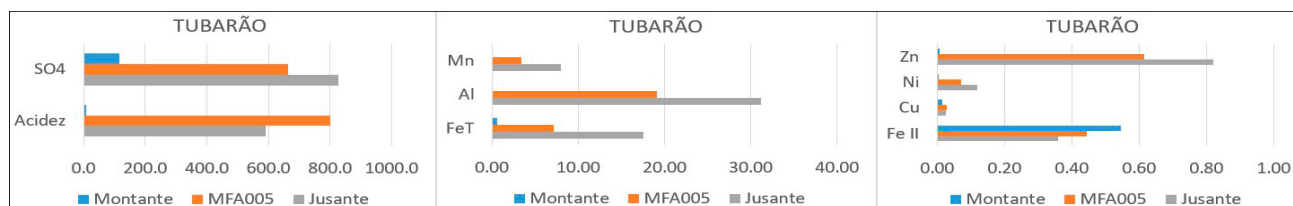


Figura 46 - Cargas dos parâmetros relacionados com a DAM em pontos representativos de montante, geração e jusante, na Bacia de Tubarão (em kg/h). Fonte: elaborada pela autora.

Zn (0,82 kg/h) e Ni (0,12 kg/h), muito embora a vazão (1,48 m³/s) seja menor, mas semelhante ao ponto anterior. Essas águas atravessam a localidade de Pedras Grandes, situada a cerca de 5 km a jusante.

Ocorre que os três pontos possuem áreas de empresas de mineração de carvão à montante, por onde passam os seus tributários. Somente na Bacia de Tubarão, encontram-se 256 bocas de minas, localizadas nas nascentes. Com a deterioração da qualidade da água, marcadamente pela queda do pH e aumento da acidez, aumenta o poder corrosivo sobre os minerais, resultando no aumento de cargas de uma forma geral. A situação melhora, do ponto de vista da acidez, quando o Rio Braço do Norte encontra-se com o Rio Tubarão das Conchas, somando águas de melhor qualidade e em quantidade suficiente ($Q = 14,97 \text{ m}^3/\text{s}$, em São Ludgero) para alterar de forma substancial a qualidade daquele que, a partir desse ponto, passa a ser denominado de Rio Tubarão.

Comparação com rios não impactados pela DAM

A seguir, comparam-se cargas do tributário impactado por DAM com outros da mesma bacia hidrográfica. A localização dos pontos utilizados para esta comparação, na bacia de Araranguá, é apresentada na Figura 47. A seguir, apresentam-se as vazões e cargas em pontos representativos de três tributários da Bacia de Araranguá, os rios Mãe Luzia (ML), da Figueira (FI) e Manoel Alves (MA) (Figura 48).

Na Bacia de Araranguá, apesar do Rio Figueira apresentar maior vazão, as cargas do Rio Mãe Luzia superam as cargas dos outros rios, conforme esperado, com exceção do Cu, que possui maior carga no Rio Figueira, não impactado por DAM. O resultado pode indicar a entrada de Cu no curso desse tributário, mas não se pode precisar sua origem. Isto porque o *background* de Cu, em sedimentos desta bacia, é alto, podendo tratar-se de dissolução do material originado na própria bacia, ou contribuição antrópica de fontes indeterminadas (que não foi objeto deste estudo).

A seguir, são apresentados pontos representativos do tributário impactado por DAM no Rio Tubarão das Conchas, com outros da mesma bacia hidrográfica

(rios Braço do Norte e Capivari), para a comparação das cargas na Bacia de Tubarão (Figura 49).

Neste caso, foi possível escolher três pontos em cada tributário, nos rios Braço do Norte, Capivari e Tubarão. Os pontos escolhidos no rio principal da Bacia de Tubarão localizam-se no Rio Oratório (montante); após o deságue deste no rio principal, no trecho chamado de Tubarão das Conchas (este ponto representa o trecho médio e localiza-se após o aporte do Rio Braço do Norte); e, no trecho inferior, o ponto localiza-se após o aporte do Rio Capivari, próximo à foz do Rio Tubarão. Por esta razão, tem-se maiores vazões nos trechos médio e final do Rio Tubarão (Figura 50).

No trecho médio do Rio Tubarão, após o aporte do Rio Braço do Norte, os destaques são a queda do Mn e o aumento da carga de Cu. A carga de Mn é discretamente superior no trecho médio do Rio Braço do Norte, onde deve receber influência de algumas das minas de fluorita. Apesar do aumento, as maiores fontes desse elemento ainda são as áreas de carvão, provavelmente em função da geração de DAM, enquanto que o Cu está sendo retirado da matriz mineral e entrando em solução a partir das áreas de fluorita.

A maior parte das ocorrências e minas de fluorita situam-se ao longo do curso do Rio Braço do Norte e, apesar de algumas delas terem sido desativadas nos últimos 10 anos (em Rio Fortuna e Santa Rosa de Lima), uma das usinas de beneficiamento continuou em operação em Morro da Fumaça (N. Sra. do Carmo) por mais algum tempo, com material explotado em minas da região.

No trecho final do Rio Tubarão, onde somam-se as águas do Rio Capivari, tornam a subir as cargas de Mn, SO₄, Acidez e Zn, oriundos do carvão, baixando apenas a carga de Cu, por efeito de diluição.

O trecho final do Rio Capivari passa pelo Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda (Tractebel Energia), considerado o maior complexo termoelétrico a carvão da América Latina, situado em Capivari de Baixo (Figura 51). Nas imediações, há depósitos de rejeitos de carvão, então, essa influência também se reflete nas cargas de SO₄, acidez e Zn do Rio Capivari.

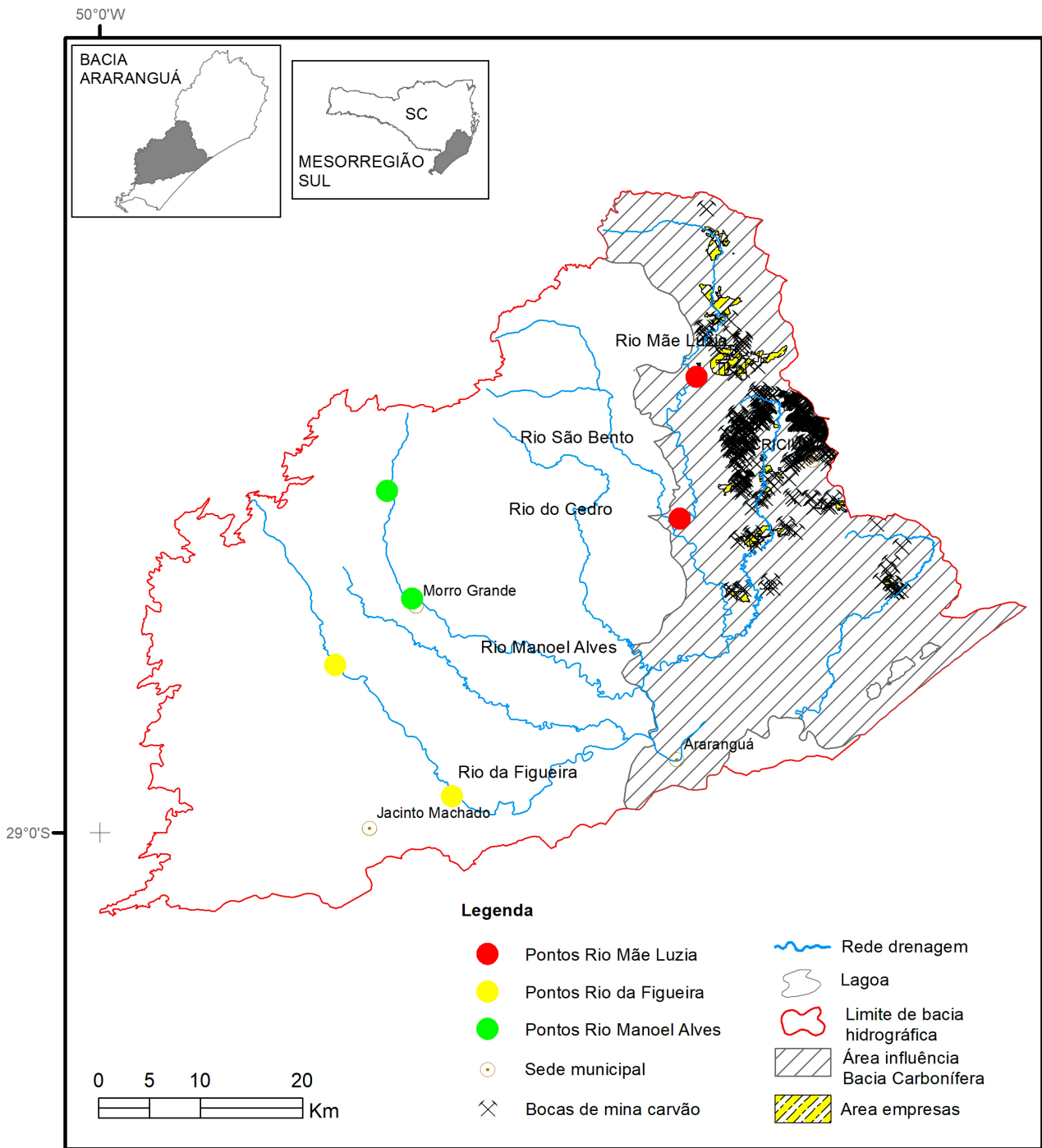


Figura 47 - Localização de pontos de cargas selecionados nos rios Mãe Luzia, da Figueira e Manoel Alves, na Bacia Araranguá (em kg/h). Fonte: elaborada pela autora.



Figura 48 - Cargas selecionadas em rios da Bacia de Araranguá (em kg/h), onde: ML - Mãe Luzia, FI - da Figueira e MA - Manoel Alves. Fonte: elaborada pela autora.

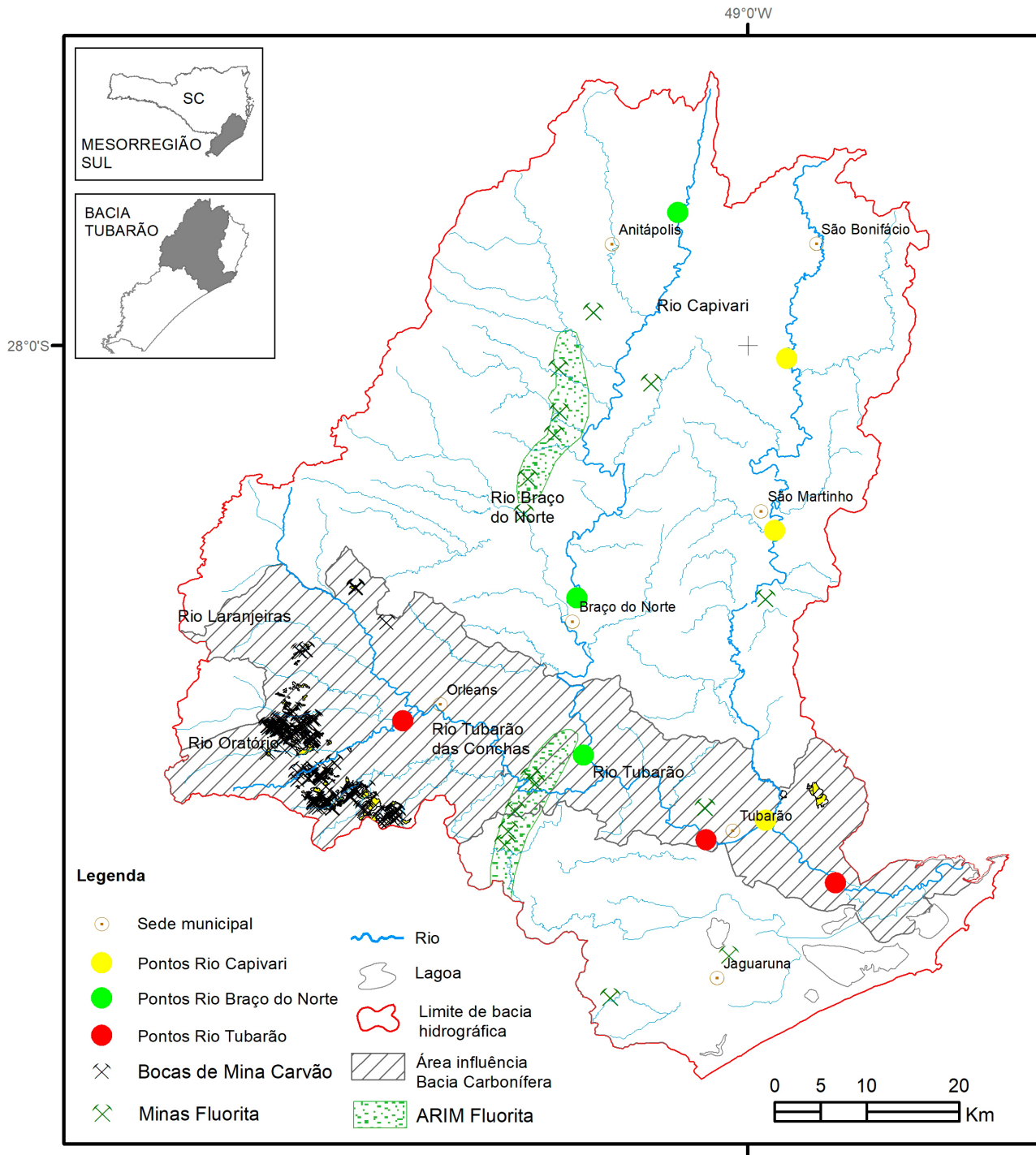


Figura 49 - Localização de pontos de cargas selecionados nos rios Braço do Norte, Capivari e Tubarão das Conchas, na Bacia de Tubarão (em kg/h).
 Fonte: elaborada pela autora.

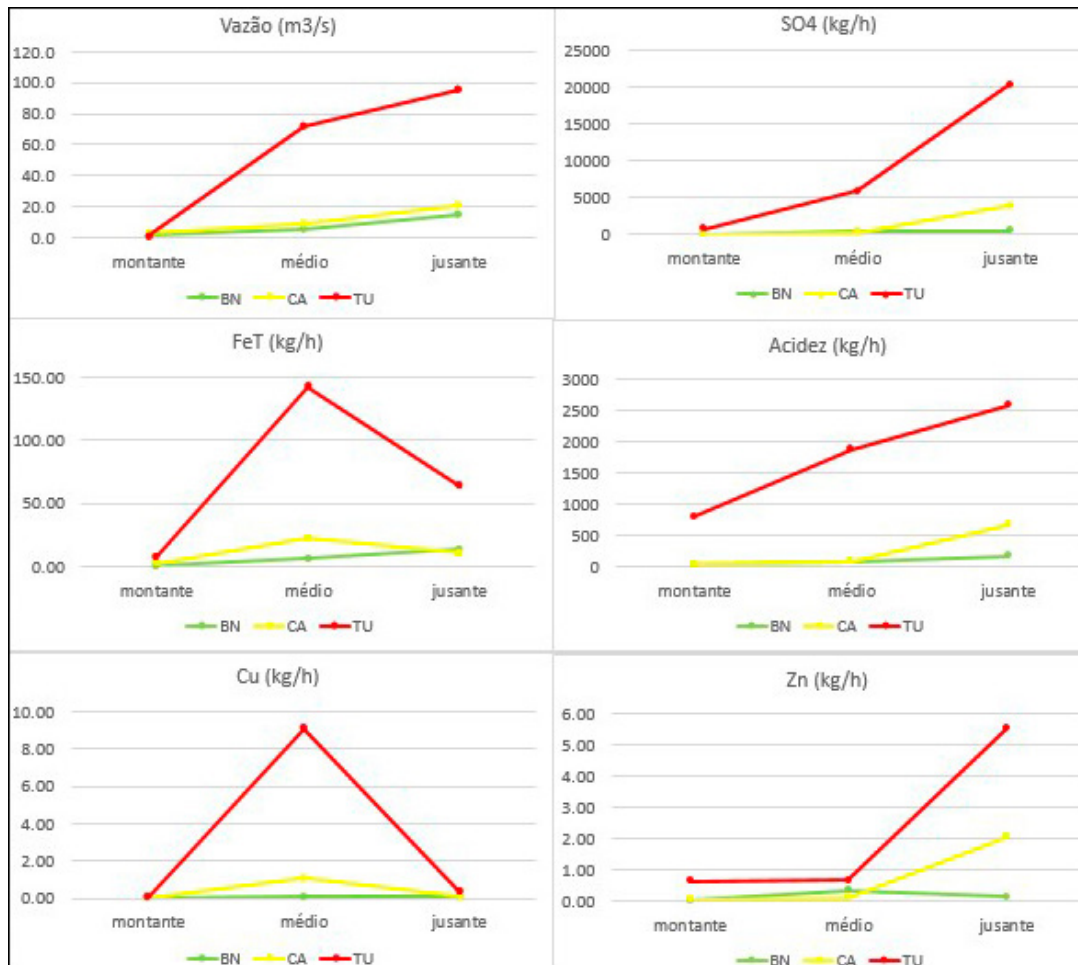


Figura 50 - Cargas selecionadas em rios da Bacia de Tubarão (em kg/h), onde: BN - Braço do Norte, CA - Capivari e TU - Tubarão. Fonte: elaborada pela autora.

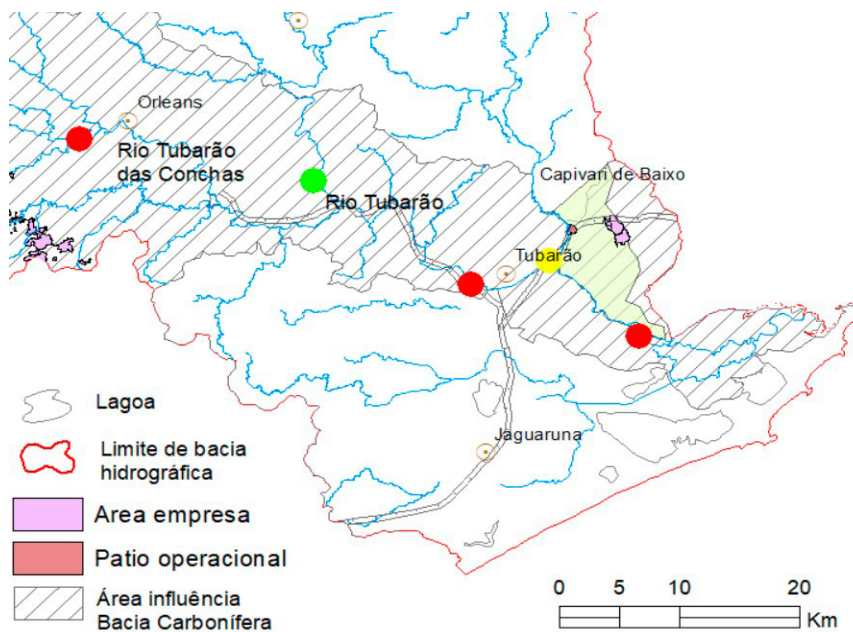


Figura 51 - Detalhe da disposição dos pontos na foz dos rios Braço do Norte, Capivari e Tubarão, desde o trecho alto. Fonte: elaborada pela autora.

Comparação dos exutórios afetados pela DAM

Para se ter uma ideia das cargas no trecho final dos rios principais das bacias afetadas pela DAM, a Tabela 30 apresenta os valores obtidos em parâmetros selecionados.

A Tabela 30 mostra que a bacia de Araranguá, que tem maior vazão, largura e profundidade na foz do rio, apresenta as maiores cargas de acidez, SO_4 , Cu, Mn, Ni e Zn. As cargas de FeT foram equivalentes entre as bacias de Araranguá e Tubarão. O Rio Mãe Luzia recebe influência de DAM nas nascentes e ao longo de seu curso principal, não havendo contribuição significativa e de qualidade para melhorar sua condição até praticamente a sua foz, no Rio Araranguá, que recebe outros quatro afluentes importantes, que se encontram e juntam suas águas já no trecho final, numa planície ocupada por plantações de arroz e próximo à sua foz, de forma que o Rio Araranguá não tem tempo de residência suficiente para depurar as cargas do Rio Mãe Luzia. Essas cargas podem, seletivamente e pelo menos em parte, ser consumidas pela cultura do arroz, fato que deveria ser investigado.

A Bacia de Tubarão teve a maior carga de Fe^{2+} (bom sinal porque o excesso de Fe^{3+} indica a influência de DAM) e ficou em segundo lugar entre as cargas dos demais

elementos, embora tenha maior área de drenagem do que a Bacia Araranguá. O Rio Tubarão, próximo à foz, é bastante largo e pouco profundo, mas possui melhores condições físico-químicas (OD, condutividade elétrica e pH) do que os rios Araranguá e Urussanga, o que se deve aos seguintes fatores: menor impacto sobre suas nascentes (relativamente à Araranguá), e entrada de afluentes de melhor qualidade em quantidade significativa, intercalados ao longo do curso principal do rio, o que propicia a mistura com águas distintas, o que auxilia a depuração de compostos orgânicos e favorece a qualidade da água de forma geral.

A Bacia de Urussanga, diferentemente das demais, possui menor bacia de captação (620 km²) e poucos afluentes de boa qualidade contribuindo para a melhora do rio principal. Disto resulta que suas cargas só não são maiores porque sua vazão é bem menor, e muitos elementos já foram lixiviados, restando aparentemente pouca carga dissolvida, com exceção do Al que apresentou as maiores cargas (possivelmente em função do aporte de argilas para encapsulamento ou erosão), além de resultar nas piores características físico-químicas da água, tais como baixo OD (baixa capacidade de depuração da matéria orgânica), mais alta condutividade elétrica e o pH mais ácido entre os três rios.

TABELA 30

Características e cargas de parâmetros relacionados com a DAM em pontos próximos à foz dos rios principais das bacias de Araranguá, Tubarão e Urussanga (em kg/h).

BACIA	ARARANGUÁ	TUBARÃO	URUSSANGA
Amostra	EVA016	MEA007	EVA011
Largura rio (m)	120	113	26
Prof. rio (m)	10	5	2,24
Vazão (m ³ /s)	194,90	95,95	5,88
Acidez	5957	2577	2105
SO_4	52848	20330	3937
FeT	67,36	63,21	7,96
Fe II	1,75	89,81	0,31
Al	7,02	65,28	153,44
Cu	3,51	0,35	0,11
Mn	115,07	1,83	15,87
Ni	0,70	0,35	0,02
Zn	11,93	5,53	2,71
Medidas de campo			
OD (mg/L)	4,4	6,68	3,33
Cond. (μ S/cm)	1363	1200	1738
pH	5,63	6,71	4,33

QUALIDADE DOS SEDIMENTOS

Em prospecção geoquímica, o teor médio de um elemento em materiais geológicos não mineralizados, pode ser denominado de teor de fundo ou *background*. Como a abundância natural de qualquer elemento é bastante diferente a depender do material analisado, e que a distribuição de um elemento em qualquer material geológico raramente é uniforme, é mais realista considerar o teor de fundo como uma faixa de variação, em vez de um valor absoluto (LICHT, 1998; MATCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000; REIMANN; FILZMOSE; GARRETT, 2005).

Tendo em vista as características do substrato geoquímico da Mesorregião Sul Catarinense, à qual abrange duas regiões hidrográficas, sul e extremo sul, com arca-bouços geológicos distintos, havendo predomínio de vulcânicas básicas no sul e de granitoides no norte, e com uma extensa área afetada pela mineração de carvão ao centro, optou-se por apresentar os valores medianos em diferentes escalas de observação, de forma a simplificar a representação dos valores representativos de *background*. Desta forma, pretende-se oferecer, ao usuário, opções mais próximas à situação de outras áreas que, por ventura, estes valores venham a ser comparados.

A Região Carbonífera de Santa Catarina (RCSC) estende-se em parte das bacias de Tubarão (sul), Araranguá e Urussanga (extremo sul), sendo que a Bacia de Urussanga (ao centro) possui geologia mista, e encontra-se totalmente inserida na área afetada pela RCSC. Isto permite considerá-la como uma área balizadora para o comportamento geoquímico regional.

Em escala regional, são apresentadas as medianas das duas regiões hidrográficas: sul (bacias Tubarão e Duna) e extremo sul (Araranguá e Mampituba), sendo que a Bacia Urussanga foi considerada separadamente, pelos motivos expostos anteriormente (Tabela 31).

Em escala local, são enfocadas cada uma das bacias hidrográficas. Vale mencionar que as bacias de Mampituba (RH Extremo-Sul) e Duna (RH Sul) encontram-se totalmente isentas da influência da mineração do carvão (Tabela 32).

Por fim, considerando que as bacias hidrográficas de Araranguá e Tubarão possuem áreas tanto dentro quanto fora da RCSC, portanto, áreas afetadas e ainda sem impacto causado pela geração de drenagem ácida de mina (DAM), são apresentadas medianas para essas bacias dentro e fora da RCSC (Tabela 33).

TABELA 31

Medianas elementares de sedimentos do conjunto completo, das regiões hidrográficas extremo sul e sul de Santa Catarina e da Bacia de Urussanga.

	COMPLETO	EXTREMO SUL (ES)	SUL (S)	URUSSANGA	ENRIQUECIDO (ES)	ENRIQUECIDO (S)	ENRIQUECIDO URUSSANGA	DEPLETADO URUSSANGA
Ag	0,005	0,07	0,01	0,05	Ag		Ag	
Al (%)	1,525	2,29	1,61	1,12	Al			Al
As	1,5	1,25	1,50	3			As	
Ba	99,5	172,75	70,00	97	Ba			Ba
Be	1	0,85	1,25	0,7		Be		Be
Bi	0,175	0,14	0,27	0,09		Bi		Bi
Ca (%)	0,18	0,26	0,24	0,08				Ca
Cd	0,085	0,12	0,13	0,04				Cd
Ce	41,675	35,74	46,18	22,62		Ce		Ce
Co	9,1	18,95	7,20	3,1	Co			Co
Cr	14	17,00	14,00	12	Cr			Cr
Cs	1,62	1,82	2,10	1,29		Cs		Cs
Cu	16,65	52,23	14,45	10,2	Cu			Cu
Fe (%)	2,97	5,39	2,32	2,69	Fe			Fe
Ga	5,15	8,68	4,80	3,7	Ga			Ga
Ge	0,05	0,05	0,05	0,05				

TABELA 31 (continuação)

Medianas elementares de sedimentos do conjunto completo, das regiões hidrográficas extremo sul e sul de Santa Catarina e da Bacia de Urussanga.

	COMPLETO	EXTREMO SUL (ES)	SUL (S)	URUSSANGA	ENRIQUECIDO (ES)	ENRIQUECIDO (S)	ENRIQUECIDO URUSSANGA	DEPLETADO URUSSANGA
Hf	0,15	0,31	0,11	0,13	Hf			Hf
Hg	0,03	0,03	0,03	0,02				Hg
In	0,03	0,05	0,03	0,03	In			
K (%)	0,14	0,11	0,15	0,12		K		K
La	18,15	16,35	19,65	11,4		La		La
Li	12	12,75	11,50	7	Li			Li
Lu	0,14	0,19	0,15	0,09	Lu			Lu
Mg (%)	0,2	0,24	0,20	0,04	Mg			Mg
Mn	465	769,00	341,5	188	Mn			Mn
Mo	0,745	0,95	1,05	0,98		Mo	Mo	
Na (%)	0,02	0,04	0,04	0,02				Na
Nb	1,645	1,49	1,57	1,59		Nb		Nb
Ni	7,65	12,68	6,75	3,6	Ni			Ni
P	462,5	532,00	443,50	329	P			P
Pb	12,6	11,95	17,65	14,3		Pb	Pb	
Rb	17,85	12,55	25,40	19,5		Rb	Rb	
S (%)	0,02	0,02	0,23	0,08		S	S	
Sb	0,13	0,12	0,15	0,17			Sb	
Sc	4,25	10,75	3,70	2,3	Sc			Sc
Se	0,5	0,50	0,50	0,5				
Sn	1,55	1,68	2,20	1,2		Sn		Sn
Sr	21,8	41,13	19,85	8,3	Sr			Sr
Ta	0,025	0,03	0,03	0,025				
Tb	0,455	0,47	0,47	0,25				Tb
Te	0,025	0,03	0,03	0,025				
Th	8,1	3,73	16,15	7,2		Th		Th
Ti	0,11	0,21	0,08	0,02	Ti			Ti
Tl	0,215	0,17	0,28	0,23			Tl	
U	1,82	1,25	3,25	0,94		U		U
V	56,5	151,00	37,50	24	V			V
W	0,2	0,08	0,20	0,3			W	
Y	12,3	14,49	12,53	11,6	Y			Y
Yb	1,05	1,33	1,15	0,7				Yb
Zn	64	95,25	54,50	37,0	Zn			Zn
Zr	9,4	18,05	7,25	6,0	Zr			Zr

Onde: Valores das medianas em ppm, exceto quando expresso em %; Completo - inclui as cinco bacias (n=74); ES – extremo sul (bacias Araranguá e Mampituba, n=23); S – sul (bacias Tubarão e Duna, n=44); Urussanga (n=7); enriquecido ES e S (entre si); enriquecido e depletado Urussanga (em relação ao conjunto completo).

TABELA 32

Medianas elementares de sedimentos do conjunto completo e das bacias hidrográficas de Urussanga, Araranguá, Mampituba, Tubarão e Duna.

	COMPLETO	URUSSANGA	ARARANGUÁ	MAMPITUBA	TUBARÃO	DUNA
N (amostras)	74	7	20	3	39	5
Grossos (>63 µm) (%)	91,5	91,28	87,42	89,45	95,35	91,33
Finos (<63 µm) (%)	8,5	8,73	12,59	10,56	4,65	8,67
Ag	0,005	0,05	0,085	0,05	0,005	0,005
Al (%)	1,53	1,12	1,80	2,78	1,44	1,77
As	1,5	3	1,5	1,00	1	2
Ba	99,5	97	131,5	214,00	100	40
Be	1	0,7	0,6	1,10	1,1	1,4
Bi	0,175	0,09	0,11	0,16	0,25	0,28
Ca (%)	0,18	0,08	0,27	0,25	0,15	0,32
Cd	0,085	0,04	0,1	0,14	0,08	0,18
Ce	41,675	22,62	29,3	42,18	52,31	40,04
Co	9,1	3,1	16,7	21,20	8,2	6,2
Cr	14	12	16	18,00	13	15
Cs	1,62	1,29	1,19	2,45	1,89	2,3
Cu	16,65	10,2	49,95	54,50	15,2	13,7
Fe (%)	2,97	2,69	5,36	5,43	2,62	2,01
Ga	5,15	3,7	6,75	10,60	4,9	4,7
Ge	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hf	0,15	0,13	0,265	0,35	0,15	0,07
Hg	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04
In	0,03	0,03	0,035	0,06	0,03	0,02
K (%)	0,14	0,12	0,115	0,10	0,15	0,14
La	18,15	11,4	13,5	19,20	22,3	17
Li	12	7	11,5	14,00	12	11
Lu	0,14	0,09	0,135	0,25	0,14	0,16
Mg (%)	0,2	0,04	0,22	0,25	0,2	0,19
Mn	465	188	553	985,00	467	216
Mo	0,745	0,98	0,91	0,98	0,57	1,53
Na (%)	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,05
Nb	1,645	1,59	1,655	1,32	1,72	1,42
Ni	7,65	3,6	12,75	12,60	7,4	6,1
P	462,5	329	582	482,00	432	455
Pb	12,6	14,3	10,3	13,60	13,4	21,9
Rb	17,85	19,5	12,2	12,90	24,2	26,6
S (%)	0,02	0,08	0,025	0,02	0,01	0,45
Sb	0,13	0,17	0,15	0,08	0,13	0,16
Sc	4,25	2,3	7,4	14,10	3,9	3,5
Se	0,5	0,5	0,5	0,50	0,5	0,5
Sn	1,55	1,2	1,35	2,00	1,9	2,5

TABELA 32 (continuação)

Medianas elementares de sedimentos do conjunto completo e das bacias hidrográficas de Urussanga, Araranguá, Mampituba, Tubarão e Duna.

	COMPLETO	URUSSANGA	ARARANGUÁ	MAMPITUBA	TUBARÃO	DUNA
Sr	21,8	8,3	36,15	46,10	16,2	23,5
Ta	0,025	0,025	0,025	0,03	0,025	0,025
Tb	0,455	0,25	0,375	0,57	0,47	0,47
Te	0,025	0,025	0,025	0,03	0,025	0,025
Th	8,1	7,2	2,85	4,60	18,1	14,2
Ti	0,11	0,02	0,2	0,22	0,12	0,03
Tl	0,215	0,23	0,12	0,22	0,25	0,31
U	1,82	0,94	0,885	1,61	2,9	3,6
V	56,5	24	133	169,00	50	25
W	0,2	0,3	0,1	0,05	0,2	0,2
Y	12,345	11,6	10,995	17,98	12,42	12,64
Yb	1,05	0,7	0,95	1,70	1,1	1,2
Zn	64	37	89,5	101,0	57	52
Zr	9,4	6	14,7	21,40	9,6	4,9

Onde: Valores das medianas em ppm, exceto quando expresso em %; Completo refere-se à mediana de todos os dados.

TABELA 33

Medianas elementares de sedimentos dos conjuntos completo, dentro e fora da área de influência da região carbonífera (RC), bem como dentro e fora da RC nas bacias Araranguá e Tubarão.

	COMPLETO (1)	FORA RC (2)	DENTRORC (3)	ARARANGUÁ FORARC (4)	ARARANGUÁ DENTRORC (5)	TUBARÃO FORARC (6)	TUBARÃO DENTRORC (7)
N (amostras)	74	46	28	11	9	27	12
Grossos (>63 µm) (%)	91,50	93,68	87,70	90,35	86,48	97,01	88,60
Finos (<63 µm) (%)	8,50	6,32	12,30	9,66	13,52	2,99	11,41
Ag	0,01	0,01	0,05	0,09	0,08	0,01	0,01
Al (%)	1,53	1,58	1,32	1,62	1,86	1,50	1,32
As	1,50	1,00	2,00	1,00	4,00	1,00	2,00
Ba	99,50	104,00	91,50	150,00	91,00	100,00	97,00
Be	1,00	1,10	0,80	0,60	1,10	1,20	0,80
Bi	0,18	0,22	0,13	0,09	0,13	0,36	0,14
Ca (%)	0,18	0,16	0,18	0,31	0,18	0,12	0,21
Cd	0,09	0,08	0,10	0,09	0,12	0,07	0,09
Ce	41,68	42,24	35,81	28,30	43,41	65,78	35,81
Co	9,10	8,35	9,35	18,80	14,50	7,80	9,60
Cr	14,00	15,00	12,50	16,00	14,00	14,00	13,00
Cs	1,62	1,88	1,26	0,98	1,24	2,31	1,21
Cu	16,65	14,75	26,60	46,80	52,60	9,40	26,75
Fe (%)	2,97	2,59	3,33	4,57	6,40	2,48	3,13
Ga	5,15	5,20	5,00	6,80	6,70	4,90	5,00
Ge	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hf	0,15	0,15	0,18	0,50	0,12	0,14	0,26

TABELA 33 (continuação)

Medianas elementares de sedimentos dos conjuntos completo, dentro e fora da área de influência da região carbonífera (RC), bem como dentro e fora da RC nas bacias Araranguá e Tubarão.

	COMPLETO (1)	FORA RC (2)	DENTRO RC (3)	ARARANGUÁ FORARC (4)	ARARANGUÁ DENTRO RC (5)	TUBARÃO FORARC (6)	TUBARÃO DENTRO RC (7)
Hg	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,02	0,03
In	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02
K (%)	0,14	0,14	0,13	0,11	0,12	0,15	0,15
La	18,15	19,00	16,50	12,90	17,10	29,00	16,50
Li	12,00	12,00	12,00	9,00	12,00	13,00	11,50
Lu	0,14	0,16	0,11	0,12	0,19	0,16	0,10
Mg (%)	0,20	0,20	0,20	0,22	0,22	0,19	0,21
Mn	465,00	539,00	375,50	829,00	412,00	512,00	456,50
Mo	0,75	0,64	0,89	0,79	1,14	0,56	0,71
Na (%)	0,02	0,02	0,03	0,05	0,03	0,02	0,03
Nb	1,65	1,68	1,50	1,35	1,88	1,84	1,36
Ni	7,65	7,45	8,15	13,00	10,90	5,70	10,20
P	462,50	462,50	469,00	613,00	551,00	403,00	469,00
Pb	12,60	13,15	12,30	10,20	12,70	14,00	10,50
Rb	17,85	21,80	13,90	12,20	12,20	27,90	15,10
S (%)	0,02	0,02	0,05	0,01	0,43	0,01	0,02
Sb	0,13	0,11	0,18	0,10	0,25	0,11	0,16
Sc	4,25	4,75	3,75	7,40	8,90	4,20	3,75
Se	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Sn	1,55	1,90	1,20	1,30	1,40	2,40	1,20
Sr	21,80	20,75	21,95	48,70	20,10	10,80	23,85
Ta	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Tb	0,46	0,47	0,37	0,33	0,60	0,53	0,37
Te	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Th	8,10	13,15	4,35	2,70	3,60	23,00	8,55
Ti	0,11	0,11	0,11	0,27	0,09	0,11	0,19
Tl	0,22	0,24	0,16	0,10	0,15	0,30	0,15
U	1,82	2,62	1,20	0,82	1,39	3,54	1,36
V	56,50	47,00	70,00	175,00	108,00	40,00	84,00
W	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20
Y	12,35	12,97	10,01	9,74	16,34	13,07	9,14
Yb	1,05	1,10	0,75	0,80	1,30	1,10	0,70
Zn	64,00	60,00	66,50	80,00	121,00	51,00	60,50
Zr	9,40	8,95	10,35	21,00	8,70	8,60	13,85

Onde: Valores das medianas em ppm, exceto quando expresso em %, relativo ao conjunto completo (1), ForaRC (2) e DentroRC (3) da região carbonífera no conjunto completo, bem como nas bacias Araranguá ForaRC (4) e DentroRC (5), e Tubarão ForaRC (6) e DentroRC (7).

Medianas por região hidrográfica

Considerando o conjunto de 74 amostras de sedimentos de corrente, a Tabela 31 expõe as medianas do conjunto de dados: completo, do extremo sul (bacias Araranguá e Mampituba), do sul (bacias Tubarão e Duna) e de Urussanga.

As medianas do extremo sul (ES) e sul (S) foram comparadas entre si, e identificados quais parâmetros apresentam mediana mais alta, ou seja, encontram-se enriquecidos em cada uma delas (ES e S). Para analisar o comportamento da RCSC em relação à Mesorregião Sul, comparou-se a mediana da Bacia de Urussanga (totalmente inserida na RCSC) com o conjunto completo, verificando-se quais elementos encontram-se enriquecidos ou depletados em Urussanga.

A análise dos resultados obtidos separando as medianas do extremo sul (Araranguá e Mampituba) e do sul (Tubarão e Duna), daqueles obtidos em Urussanga, permitiu tecer considerações importantes sobre a área.

Extremo-sul (bacias de Araranguá e Mampituba)

Destacaram-se as medianas de Ag, Al, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hf, In, Li, Lu, Mg, Mn, Ni, P, Sc, Sr, Ti, V, Y, Zn e Zr. São sedimentos mais finos, de composição mais básica, de afinidade siderófila (com Fe) e coerente com Sr (Ca, Mg, Ba). No contexto geoquímico, espera-se uma mineralogia em que predominem os tipos de plagioclásio, apatita e, eventualmente, carbonato de cálcio.

Sul (bacias de Tubarão e Duna)

Destacaram-se as medianas de Be, Bi, Ce, Cs, K, La, Pb, Rb, S, Sn, Th e U. São sedimentos mais grossos, de composição intermediária a ácida, apresentando alguns elementos de afinidade calcófila (com S) e coerente com Rb (K, Cs). No contexto geoquímico, espera-se uma mineralogia em que predominem os tipos de mica e os termos potássicos de feldspato.

Bacia de Urussanga

Comparados os teores medianos do conjunto completo e da Bacia de Urussanga, foram obtidos 36 elementos empobrecidos (Al, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hf, Hg, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Nb, Ni, P, Sc, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, U, V, Y, Yb, Zn, Zr), e apenas oito enriquecidos (As, Mo, Pb, Rb, S, Sb, Tl, W), todos potencialmente tóxicos (exceto Rb).

A Bacia de Urussanga, por sua localização e substrato geológico, se não fosse a atividade carbonífera, apresentaria características geoquímicas intermediárias às bacias do sul e extremo sul, pois há influência de vulcânicas básicas da Formação Serra Geral, nas nascentes, rochas sedimentares da Bacia do Paraná, nos cursos superior e médio, e granitoides e sedimentos recentes, nos cursos médio e inferior. Entretanto, o que se verificou foi uma depleção em grande parte dos elementos, principalmente dos metais, refletindo o processo de lixiviação em consequência da drenagem ácida de mina (DAM).

Isto ocorre porque Urussanga é uma pequena bacia hidrográfica (620 km²), impactada pela mineração de carvão desde as suas nascentes. Os estratos carbonosos e rejeitos, suscetíveis à oxidação dos sulfetos, são expostos às condições superficiais de aeração desde as nascentes dos principais cursos de água (os rios Carvão e Cocal). Diferentemente de Urussanga, as bacias limítrofes, Araranguá (3.007 Km²) e Tubarão (4.685 Km²), são maiores e possuem outras drenagens não impactadas que contribuem para o substrato sedimentar do leito do rio, diluindo os efeitos da mineração. Em Urussanga, a melhora da qualidade da água pela entrada de drenagens com boa qualidade não ocorre em volume significativo.

Como consequência, os metais são carreados em solução até encontrarem condições propícias para serem precipitados em barreiras geoquímicas situadas a jusante, podendo alcançar e precipitar nos lagos e lagoas próximas ao litoral, onde possivelmente há elevação do pH e alimentação com águas salobras. Essa hipótese deve ser averiguada, uma vez que as lagoas não foram amostradas neste estudo.

Medianas por bacia hidrográfica

Como forma de apresentar um valor representativo do *background* para cada uma das cinco bacias hidrográficas, a Tabela 32 expõe os resultados das medianas por bacia, além da mediana do conjunto completo.

As medianas por bacia podem ser usadas para efeito de comparação em estudos posteriores ou como suporte em estudos ambientais. Para ilustrar a distribuição dos dados elementares, são apresentados *boxplots* do conjunto completo e em cada uma das bacias hidrográficas, no Anexo 1.

Medianas em áreas afetadas pela mineração de carvão

Dada a evidente influência das atividades envolvendo a indústria carbonífera, que vão desde a extração, beneficiamento e transporte do carvão, bem como a recuperação em andamento de algumas das áreas degradadas, considera-se produtora a apresentação dos níveis medianos por bacia, dentro e fora das áreas afetadas. A Tabela 33 apresenta as medianas para o conjunto completo (1), em áreas não afetadas ou fora da região carbonífera (RC), ForaRC (2) e afetadas pela mineração ou dentro da RC, DentroRC (3), além das bacias de Araranguá, ForaRC (4) e DentroRC (5), e Tubarão ForaRC (6) e DentroRC (7).

Os valores medianos se prestam ao suporte de metodologias que utilizem um valor de fundo ou *background*, tais como o índice de geoacumulação (MÜLLER, 1969) e o fator de contaminação (HÅKANSON, 1980).

Nas bacias de Araranguá e Tubarão, que possuem áreas afetadas e não afetadas pela mineração de carvão, os valores medianos podem ser escolhidos conforme as características da área a ser comparada, se afetadas ou não pela mineração de carvão.

Portanto, a escolha por determinado valor representativo de *background*, quando houver opções, deve levar em consideração a área de trabalho, ou

seja, pelo menos a menor unidade representativa da bacia de captação. Por esta razão que, neste estudo, são apresentadas opções de medianas em diferentes escalas de observação: local (bacia hidrográfica) e regional (região hidrográfica e mesorregião).

Elementos com altos teores de fundo

Considerando somente as medianas, pode-se dizer que possuem teores de fundo - ou *background* - naturalmente elevados na Mesorregião Sul Catarinense: S (0,02%), Fe (2,97%) e Mn (465 ppm), pois possuem acréscimos acima das referências ambientais em suas medianas: S (53,8%), Fe (48,5%) e Mn (1,1%), conforme exposto na Tabela 34.

A mediana de Cu (16,65 ppm), no conjunto completo, não ultrapassou o N1 do CONAMA 454/2012 (35,7 ppm), porém, se considerada apenas a RH extremo sul (mediana de 52,2 ppm), tem-se um incremento de 46,3% acima do CONAMA.

Além do Cu, os incrementos dos teores medianos de Fe (169,6%) e Mn (67,2%) também são maiores na RH extremo sul, referente aos limites ambientais, enquanto que a mediana do S tem os maiores acréscimos na RH sul (1.669%) e na Bacia de Urussanga (515%). Ao observar a distribuição dos elementos por bacia, podem-se inferir as diferentes razões por trás destes altos teores de fundo.

TABELA 34

Incremento acima da mediana referente ao limite ambiental em sedimentos.

MEDIANAS*	V.R				INCREMENTO > V.R. (%)				
	COMPLETO	MED EXSUL	MED SUL	URUSSANGA	CONAMA E NOAA	COMPLETO	MED EXSUL	MED SUL	URUSSANGA
Cu	16,65	52,23	14,45	10,2	35,7 ^a	-	46,3	-	-
Fe (%)	2,97	5,39	2,32	2,69	2 ^b	48,5	169,6	15,8	34,5
Mn	465	769,0	341,5	188	460 ^b	1,1	67,2	-	-
S (%)	0,020	0,023	0,23	0,08	0,013 ^c	53,8	73,1	1669,2	515,4

Valores em ppm, exceto quando expresso em %; valor de referência (V.R.): aN1 CONAMA 454/2012; bNOAA (BUCHMAN, 2008); S (enxofre total) relativo ao c UET para SO₂ (sulfetos) da NOAA.

RH Extremo Sul

Como os teores naturais estão intimamente ligados à geologia, convém discriminar a distribuição de amostras por bacia, percebendo quais litologias possuem maior influência (aumentam os valores da mediana). No caso do Fe, Mn e Cu, os teores medianos mais elevados estão nas bacias hidrográficas Araranguá e Mampituba (Figuras 52 a 54), onde ocorrem as rochas vulcânicas básicas da Bacia do Paraná.

Diante do exposto, percebe-se que os teores de fundo (representados pelas medianas) de Fe, Mn e Cu, são naturalmente elevados na Mesorregião Sul Catarinense, devido aos litotipos vulcânicos básicos presentes nas bacias de Mampituba e Araranguá. Observa-se, ainda, que as medianas dessas bacias são equivalentes e, com exceção do Fe, os teores afetados pela mineração não excedem os teores naturais. Portanto, o impacto da mineração de carvão sobre os elementos (Cu e Mn) no sedimento é de decréscimo pela lixiviação dos metais.

RH Sul

Já os maiores acréscimos das medianas de S na RH Sul (1.669%), por sua vez, são devido à Bacia de Duna (Figura 55), caracterizada por uma possível origem salobra, uma vez que quatro, dentre cinco amostras coletadas nesta bacia, localizam-se próximas ao litoral.

A outra bacia que se destacou pelo incremento dos teores medianos de S acima do valor de referência (VR) ambiental foi Urussanga (515%). Neste caso, se comparados os teores medianos de Urussanga com as bacias de Araranguá e Tubarão (devido às características litológicas), percebe-se que esta possui teores destacados que se devem à componente antrópica, pela exposição dos sulfetos ao oxigênio, pela falta de renovação das águas e devido à ausência de afluentes de boa qualidade em quantidade significativa.

Um outro elemento que não possui altos teores de fundo, mas que acompanha a tendência de enriquecimento no litoral das bacias de Tubarão e Duna, é o Pb, fortemente calcófilo (afinidade com S) e mais enriquecido nas rochas ácidas do que nas básicas. A Figura 56 apresenta a distribuição amostral do Pb nas cinco bacias.

Parte do Pb é formado pelo decaimento radioativo do urânio e tório, que também encontram-se enriquecidos no litoral norte, mas não apresentam um limite ambiental em sedimentos. Tal como S e Pb, a principal fonte de U para o litoral é a drenagem fluvial, pois em condições oxidantes é solúvel e, em condições redutoras, tende a precipitar em formas insolúveis (OLIVEIRA, 2016). Mais ao norte, no trecho médio das bacias de Tubarão e Duna, há janelas e exposições maiores do embasamento granítico-gnáissico, que possivelmente são as áreas-fontes desses elementos.

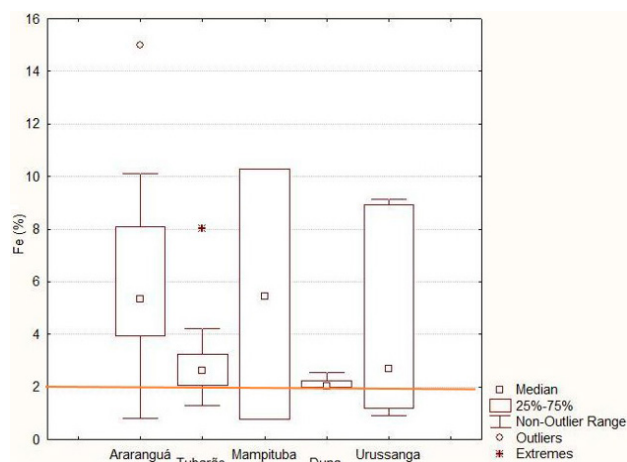


Figura 52 - Distribuição amostral do Fe em boxplots nas cinco bacias. Linha vermelha aponta o VR ambiental NOAA (2%), para sedimentos. Fonte: elaborado pela autora.

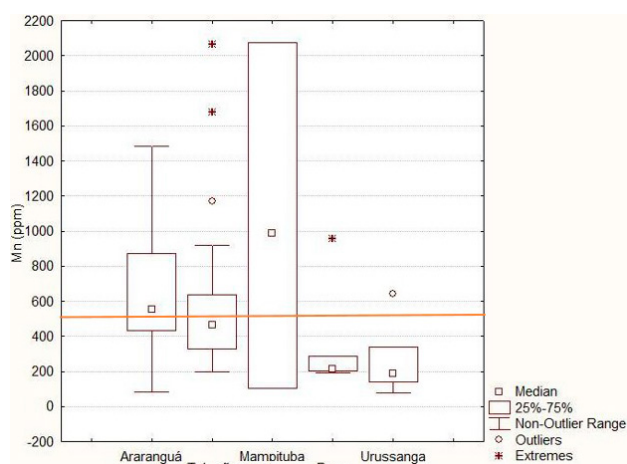


Figura 53 - Distribuição amostral do Mn em boxplots das cinco bacias. Linha vermelha aponta o VR ambiental NOAA (460 ppm), para sedimentos. Fonte: elaborado pela autora.

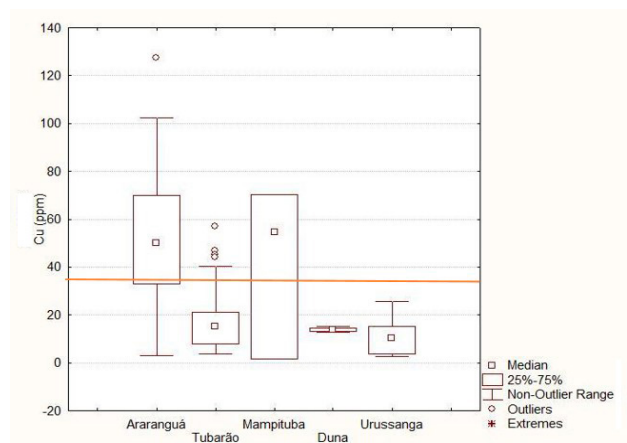


Figura 54 - Distribuição amostral do Cu em boxplots das cinco bacias. Linha vermelha aponta o VR ambiental CONAMA (35,7 ppm), para sedimentos. Fonte: elaborado pela autora.

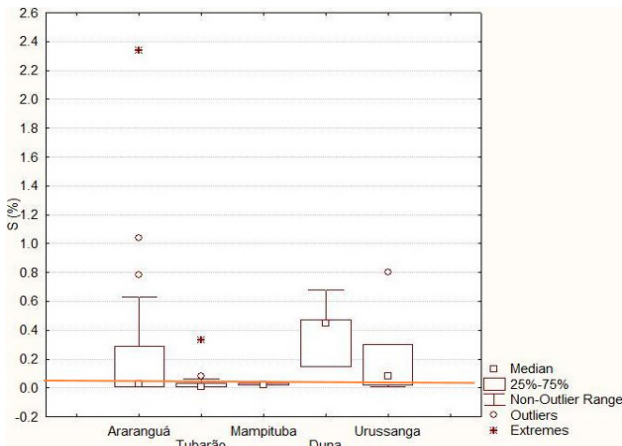


Figura 55 - Distribuição amostral do S em boxplots das cinco baías. Linha vermelha aponta o VR ambiental NOAA (130 ppm ou 0,013%), para sedimentos. Fonte: elaborado pela autora.

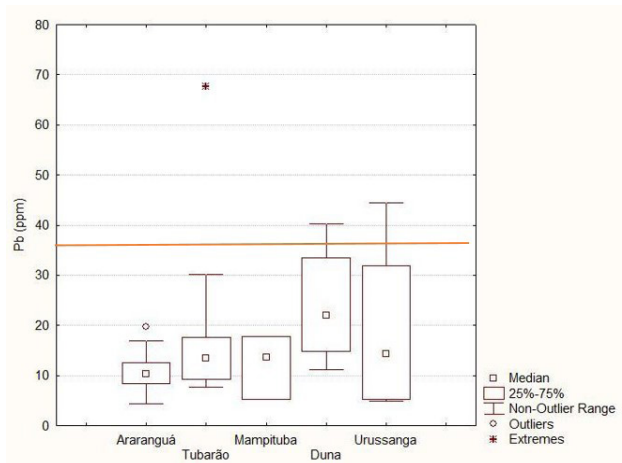


Figura 56 - Distribuição amostral do Pb em boxplots das cinco baías. Linha vermelha aponta o VR ambiental CONAMA (35 ppm), para sedimentos. Fonte: elaborado pela autora.

Análise de componentes principais (ACP)

Para representar espacialmente o comportamento geoquímico dos sedimentos de corrente, desde as nascentes dos recursos hídricos superficiais até a foz dos grandes rios da região, passando pelas litologias com camadas de carvão, foi empregado um tratamento estatístico multivariado, de ordenação das variáveis em componentes principais, com a finalidade de diminuir o número de variáveis e descrever os principais processos, naturais e antrópicos, atuantes e formadores do substrato geoquímico na RCSC.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada a partir da matriz de 74 unidades amostrais e 47 variáveis (elementos químicos). A preparação dos dados para ACP requer a normalização dos mesmos, sendo que neste caso mantiveram-se os valores extremos em função da baixa

densidade amostral. A seleção de variáveis foi realizada por meio da análise de correlação, onde dados pouco correlacionados foram retirados por não aportarem informação. Destarte, foram excluídos Au, B, Ge, Re, Se, Ta e Te, seja por terem poucos resultados detectados ou por não apresentarem correlações significativas.

Com a aplicação da ACP, foram obtidas as componentes mais relevantes nas primeiras dimensões, ou eixos denominados principais. As relações do conjunto de dados foram alcançadas considerando uma significância mínima (1,0) em cada componente, indicada pelo seu *eigenvalue* ou autovalor (Tabela 35; Figura 57). Destaca-se que as três primeiras componentes explicam 72,7% da variância total.

TABELA 35
Autovalores da análise de componentes principais.

PC	AUTOVALOR	% ACUMULADA
1	20,097	42,8
2	9,363	62,7
3	4,704	72,7
4	2,04	77
5	1,947	81,2
6	1,26	83,9
7	1,058	86,1
8	1,018	88,3

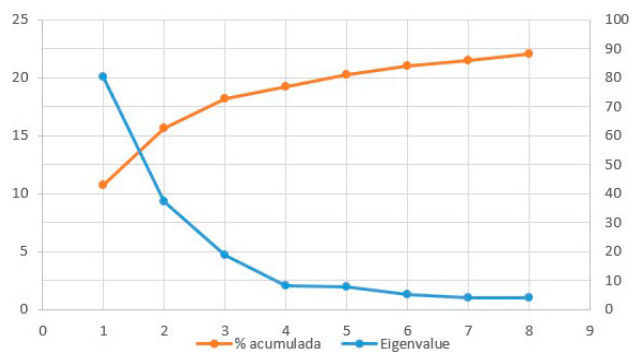


Figura 57 - Autovalores da análise de componentes principais. Fonte: elaborado pela autora.

As demais componentes (autovalores < 1.0) foram rejeitadas e as componentes principais recalculadas usando a rotação Varimax, proposta por Kaiser (1958). O resultado da ACP pode ser representado pelos escores das primeiras três componentes principais (PC1 – PC3), visualizadas em 2D (Figura 58), ou ainda no espaço tridimensional em 3D (Figura 59).

A Tabela 36 resume as cargas (*loadings*) e as pontuações (*scores*), ou coeficiente do *score*, em cada uma das principais componentes.

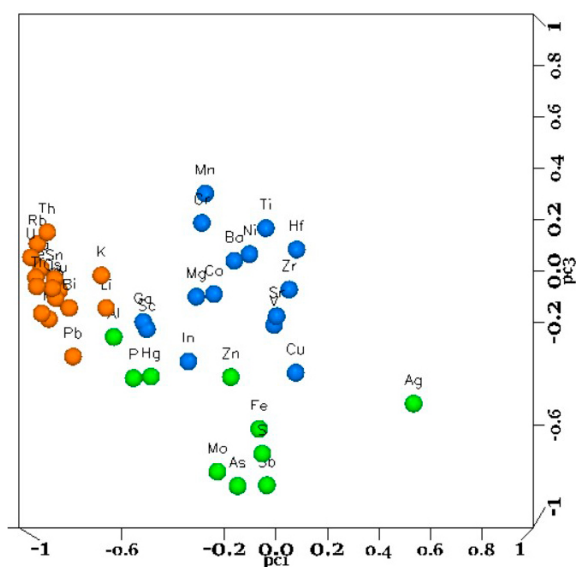


Figura 58 - Variáveis representadas pelos escores das três componentes principais em 2D. Fonte: elaborado pela autora.

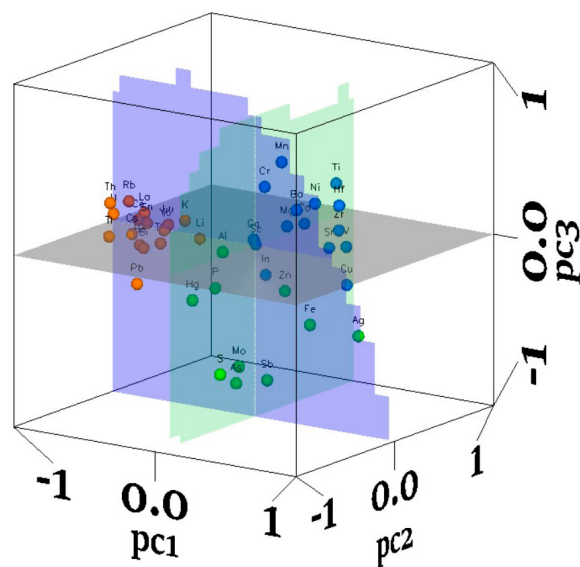


Figura 59 - Variáveis representadas pelos escores das três componentes principais em 3D. Fonte: elaborado pela autora.

TABELA 36

Proporção das variáveis explicadas pelas componentes e pontuações das componentes principais PC1, PC2 e PC3.

PC1	LOADINGS	SCORES	PC2	LOADINGS	SCORES	PC3	LOADINGS	SCORES
U	0,912	-0,955	V	0,899	0,948	Fe	0,823	-0,615
Ce	0,876	-0,936	Cu	0,858	0,834	Al	0,814	-0,257
Tl	0,869	-0,932	Ga	0,854	0,739	Sb	0,732	-0,834
Rb	0,866	-0,93	Sc	0,853	0,741	As	0,724	-0,837
Yb	0,853	-0,86	Ti	0,824	0,892	Mo	0,693	-0,781
La	0,84	-0,917	Co	0,797	0,859	P	0,647	-0,417
Y	0,839	-0,858	Mg	0,707	0,782	Ag	0,639	-0,516
Be	0,834	-0,913	Zr	0,625	0,789	S	0,577	-0,711
Lu	0,833	-0,845	Ni	0,602	0,769	Zn	0,525	-0,413
Th	0,796	-0,892	Sr	0,58	0,761	Hg	0,412	-0,411
Tb	0,784	-0,885	Hf	0,571	0,751			
Cs	0,758	-0,871	Mn	0,536	0,678			
Sn	0,744	-0,863	In	0,49	0,611			
Bi	0,649	-0,806	Ba	0,471	0,667			
Pb	0,626	-0,791	Cr	0,359	0,524			
K	0,463	-0,681						
Li	0,438	-0,662						

De acordo com os dados expostos, o eixo 1 representa a PC1, com 20,1% da variância e maior representação dos autovetores de U, Ce, Tl, Rb, Yb, La, Y, Be, Lu, Th, Tb, Cs, Sn, Bi, Pb, K e Li, altos e negativos.

O eixo 2 representa a PC2, com 9,3% da variância e autovetores altos e positivos com V, Cu, Ga, Sc, Ti, Co, Mg, Zr, Ni, Sr, Hf, Mn, In, Ba e Cr.

O eixo 3 representa a PC3, com 4,7% da variância e coeficientes de correlação altos e negativos com Fe, Al, Sb, As, Mo, P, Ag, S, Zn e Hg. As demais componentes foram omitidas em virtude da sua baixa significância.

A seguir, apresenta-se a distribuição espacial das principais componentes (PC1 a PC3) na área e um resumo do que elas representam (Figura 60).

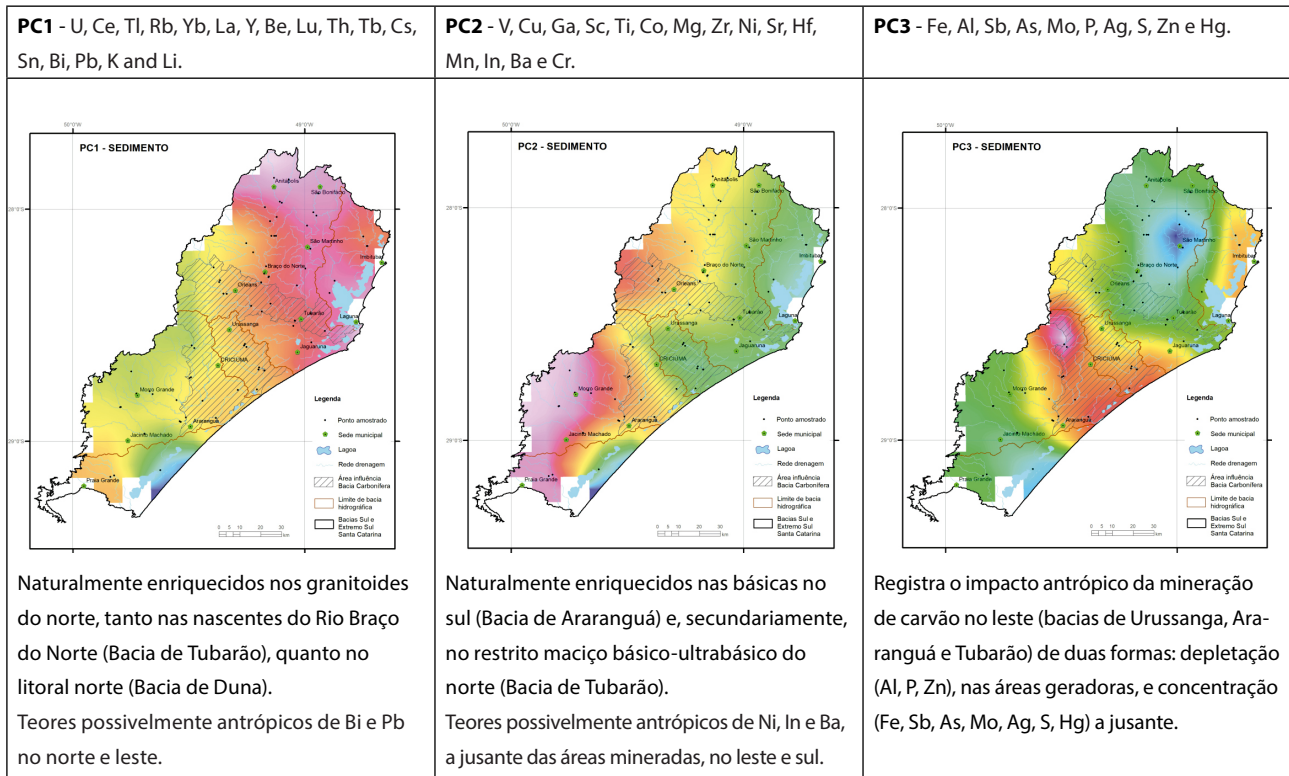


Figura 60 - Espacialização das componentes principais PC1, PC2 e PC3. Fonte: modificado de Franzen; Ando; Viglio (2021).

As diferenças marcantes nos substratos geoquímicos das regiões hidrográficas Sul e Extremo Sul de Santa Catarina encontram-se refletidas nas duas componentes principais (PC1 e PC2), essencialmente litófilas, representando os teores naturalmente elevados das rochas plutônicas ácidas, nas bacias do sul (bacias de Tubarão e Duna), e vulcânicas básicas no extremo sul (bacias de Mampituba e Araranguá).

A porção central-leste, onde se situa a Bacia de Urussanga, possui ambas as influências citadas no que se refere à geologia, porém, predominam as unidades da Bacia do Paraná e o impacto da atividade extrativa do carvão, que se manifesta lixiviando a maioria dos elementos químicos naturais, provenientes das rochas, e concentrando elementos químicos por ação antrópica, em função da mineração (representado pela PC3).

Não é por acaso que os elementos, naturalmente presentes nas fases minerais menos resistentes, são lixiviados da área impactada pela DAM. A pirita é o principal mineral responsável pelo processo de acidificação das águas e possui uma resistência ao intemperismo semelhante ao quartzo na Escala de Mohs, que quantifica a dureza dos minerais, ou sua resistência à abrasão. Diversos minerais que possuem menor resistência à abrasão, tais como gipso, calcita,

fluorita, apatita e feldspatos, entre outros, podem ser mais facilmente atacados devido à agressividade de águas ácidas (pH ~ 3,0), oriundas de DAM. Os diversos minerais que podem ser atacados, lixiviando diversos metais, provavelmente, explicam porque a área central-leste ficou depletada em diversos elementos químicos, que permanecem amplamente distribuídos nas áreas isentas da mineração.

Este fato não pode ser considerado benéfico, pois, em contrapartida, há o enriquecimento de elementos potencialmente tóxicos, que naturalmente ocorrem em quantidades muito pequenas, mas que uma vez liberados pela DAM podem ficar concentrados nas cercanias por serem pouco móveis, tais como o As e o Pb, elevando sua concentração e podendo torná-los muito nocivos.

Incremento acima da referência ambiental

A Tabela 37 expõe os elementos que tiveram incrementos acima das referências ambientais em sedimentos de corrente neste estudo. Nela constam os incrementos anteriormente apresentados de águas de drenagem, apenas para se observar a correspondência entre os elementos nas duas matrizes, supondo que os que saem da matriz sedimentar vão necessariamente para a água, sejam de forma dissolvida ou particulada.

TABELA 37

Incrementos acima da referência ambiental nos valores máximos do conjunto completo de sedimentos de corrente e de águas de drenagem.

SEDIMENTOS				ÁGUAS	
ELEMENTO	MÁXIMO	N1 CONAMA	INCREMENTO > REF. AMB. NOS MÁXIMOS EM SEDIMENTOS (%)	INCREMENTO > REF. AMB. NOS MÁXIMOS EM ÁGUAS (%)	
S (%)	2,3	0,013*	17900	FeT	44233
Fe (%)	15,0	2*	650	Al	27500
Cu (ppm)	127,6	35,7	357	Mn	9730
Mn (ppm)	2077,0	460*	352	Cu	789
Ag (ppm)	1,8	0,5*	252	Ni	580
Zn (ppm)	281,0	123	129	Zn	539
As (ppm)	12,0	5,9	103	SO₄	287
Pb (ppm)	67,6	35	93	Cloretos	188
Cr (ppm)	69,0	37,3	85	Co	120
P (ppm)	3104,0	2000	55	Na	34
Ni (ppm)	22,3	18	24	B	27

Onde: Referência ambiental em sedimentos - N1 (CONAMA 454/2012); *Elementos ausentes na legislação brasileira - NOAA (BUCHMAN, 2008); S (enxofre total) - relativo ao UET (Upper Effect Threshold) para SO₂ (sulfetos); valores de referência em águas - Classe II (CONAMA 357/2005); em negrito - máximo acima do limite ambiental nas duas matrizes.

Primeiramente, verifica-se uma coincidência entre os elementos mais impactados (Fe, S, Mn, Cu, Ni, Zn), que predominam nos sedimentos (S, Fe), na água (Fe, Al, Mn), ou mantêm-se altos em ambas as matrizes (Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, S). A exceção foi o Al, porque não tem limite ambiental em sedimentos. O que estes elementos têm em comum é que estão relacionados com a DAM, conforme foi visto nos resultados de águas.

Vale destacar que o uso de uma referência relativa aos sulfetos - SO₂ (130 ppm), em comparação ao S (total) analisado, leva a uma superestimativa da quantidade de pontos que violam o limite, bem como do acréscimo em relação a este, o que não compromete as diretrizes das conclusões.

Observações mais gerais a respeito das violações aos limites ambientais dizem respeito aos elementos que possuem altos teores de fundo na área de estudo: Fe, S, Mn e Cu, que apresentaram violações em maior número, correspondendo a 77%, 59%, 52,7% e 28,4% do total de 74 amostras de sedimentos, respectivamente, mostrando que esses elementos possuem teores altos e amplamente distribuídos na área. A seguir, são expostos os resultados de qualidade dos sedimentos de corrente, que violam os limites ou referências ambientais, por bacia hidrográfica, na Tabela 38.

Entre as possíveis fontes para a presença de teores elevados estão:

DAM

Conforme exposto na Tabela 38, os teores mais altos de S entre as bacias situam-se na Bacia de Araranguá, dentro da área de influência da RCSC (*in*). Tal como o S, o Fe tem os maiores teores dentro da área afetada pela DAM, embora em menor número de amostras, visto que fora da área de influência da RCSC (*out*) os teores já são naturalmente elevados em relação à referência ambiental.

Outros elementos que se mostraram acima dos valores de referência ambiental e associados à mineração de carvão foram Ag e As, com enriquecimentos nas áreas mineradas; além do Pb e Zn que apresentaram-se mais enriquecidos a jusante das áreas mineradas.

Por outro lado, o Cu, Mn e o Ni, apresentam-se mais elevados fora da área impactada por DAM e, portanto, estão sendo lixiviados, tal como Pb e Zn, em virtude do processo. Essa tendência se confirma com os maiores teores de Cu, Ni, Pb e Zn nos trechos médio e inferior da Bacia de Araranguá, a jusante das áreas mineradas, enquanto o Mn aparentemente desaparece nas áreas afetadas e à jusante (ou não foram amostrados os locais onde pode haver concentrações atípicas do elemento, tal como nas lagoas da planície costeira). É bom notar que o impacto maior do Mn sobressai-se em águas, onde foi o 3º elemento mais abundante, atrás apenas do Fe e Al.

TABELA 38

Resumo das violações aos limites ambientais em sedimentos.

ELEMENTO (PPM)	LIMITE AMB.	N. DE AMOSTRAS	BACIA - RIO
Ag	0,5*	02	Araranguá – Rio Fiorita (1,76 ppm), Mãe Luzia (1,16 ppm)
As	5,9	07	Tubarão – Rio Braço do Norte (12 ppm) Araranguá – Rio Mãe Luzia (8,0; 7,0 ppm); dos Porcos (8 ppm) Urussanga – Rio e Canal Urussanga (6,0; 6,0; 6,0 ppm)
Cr	37,3	01	Tubarão – Rio Braço Esquerdo (69 ppm)
Cu	35,7	21	Araranguá (fora RC) 36,7 – 127,6 ppm (8 amostras); (dentro RC) 47,3 – 64,9 ppm (6 amostras) Mampituba – 54,5 – 70,3 ppm (2 amostras) Tubarão (dentro RC) – 40,4 – 57,1 ppm (5 amostras)
Fe (%)	2,0*	57	Tubarão (fora RC) – 2,07 – 8,01 % (20 amostras); (dentro RC) 2,44 – 4,21 % (10 amostras) Araranguá (fora RC) 2,49 – 7,63 % (10 amostras); (dentro RC) 3,24 – >15,0 % (8 amostras) Urussanga – 2,69 – 9,12 % (4 amostras) Duna – 2,11 – 2,69 % (3 amostras) Mampituba – 5,43 – 10,29 % (2 amostras)
Mn	460*	39	Tubarão (fora RC) 512 – 2066 ppm (15 amostras); (dentro RC) 464 – 917 ppm (6 amostras) Araranguá (fora RC) 465 – 1485 ppm (11 amostras); (dentro RC) 465 – 673 ppm (3 amostras) Urussanga – 640 ppm (1 amostra) Duna – 955 ppm (1 amostra) Mampituba – 985 – 2077 ppm (2 amostras)
Ni	18	09	Araranguá (fora RC) – Rio Figueira (22,3 ppm), Amola Faca (22,1 ppm), Três Barras (21,2 ppm), Manoel Alves (19,3 ppm) Araranguá (dentro RC) – Rio Sangão (21,7 ppm) Mampituba – Rio Malacara (19,5 ppm) Tubarão (fora RC) – Rio do Meio (19,3 ppm) Tubarão (dentro RC) – Rio Oratório (18,5 ppm)
P	2000	02	Araranguá - Rio Mãe Luzia (3.104 ppm), Urussanga - Rio Ronco D'Água (2.283 ppm)
Pb	35	03	Tubarão – Rio Tubarão (67,6 ppm) Urussanga – Rio Urussanga (44,6 ppm) Duna – Rio Capanema (40,3 ppm)
S (%)	0,013*	44	Tubarão – (fora RC) 0,02 – 0,33 ppm (11 amostras) (dentro RC) 0,02 – 0,08 (6 amostras) Araranguá – (fora RC) 0,02 – 0,05 ppm (5 amostras) (dentro RC) 0,03 – 2,34 ppm (8 amostras) Urussanga – 0,02 – 0,8 ppm (6 amostras) Duna – 0,15 – 0,68 ppm (5 amostras) Mampituba – 0,02 – 0,03 ppm (3 amostras)
Zn	123	07	Araranguá – Rio dos Porcos (281 ppm), Araranguá (147 ppm), Mãe Luzia (144 ppm), Amola Faca (133 ppm), Sangão (131 ppm) Urussanga – Rio Urussanga (136 ppm) Mampituba – Rio Malacara (135 ppm)

Onde: Referência ambiental em sedimentos (CONAMA 454/2012); *Elementos ausentes na legislação brasileira, para os quais foram utilizados valores de referência apontados pela NOAA (BUCHMAN, 2008); S (enxofre total) relativo ao limite UET (Upper Effect Threshold) para sulfetos da NOAA (130 ppm); (dentro RC) e (fora RC) se referem à localização das amostras: dentro e fora da área afetada pela região carbonífera, respectivamente.

Ultrabásicas

Altos teores de Cr e P são naturais em rochas ultrabásicas de filiação alcalina, tais como a ocorrência do maciço alcalino de Anitápolis, no extremo norte da área, porém o ponto que excede o limite ambiental

não coincide com a ocorrência mencionada, pois localiza-se na Bacia de Tubarão, em Grão-Pará, enquanto que os teores verificados em Anitápolis caem pela metade e, por pouco, não excedem os limites ambientais.

Drenagem urbana

O P encontra-se acima da referência ambiental em pontos situados a jusante da geração de DAM, tais como no trecho médio dos rios Mãe Luzia e Ronco D'Água, podendo ser oriundo tanto de dissolução de fosfatos, quanto haver contribuição de drenagem urbana das cidades a montante, ou ambos associados, o que se acredita ser mais provável, visto que a abertura de amostra utilizada (água-régia) não diferencia os fosfatos orgânicos dos inorgânicos.

Influência salobra

Os teores de S elevados na Bacia de Duna refletem uma influência de águas salobras, conforme visto anteriormente, pois os pontos localizam-se em áreas de marés, ou de transição do meio lótico para o meio lêntico, onde o rio desemboca em um lago ou lagoa, com modificações das condições hidrodinâmicas e físico-químicas, que favorecem a precipitação dos sulfatos dissolvidos em forma de sulfetos particulados.

Fluorita

O fato de haver mais amostras com S acima do limite ambiental fora do que dentro da área afetada pelo carvão na RCSC, na Bacia de Tubarão (Tabela 12), indica que a ocorrência de sulfetos deve acompanhar também as mineralizações de fluorita, influência que pode estender-se até a Bacia de Urussanga. Vários minerais, tais como calcita, barita, quartzo, celestita, sulfetos e fosfatos, são impurezas comuns em ocorrências de fluorita. No beneficiamento, quando há sulfetos de Pb no minério, procede-se à sua remoção por flotação (SAMPAIO; ANDRADE; BALTAR, 2005).

No extremo norte, verifica-se um ponto máximo e isolado de As, que também pode estar relacionado ao hidrotermalismo. Uma possível origem antrópica de Pb e Bi foi apontada na PC1, embasada pelo fato de ambos formarem sulfetos possivelmente presentes nos filões de fluorita. A presença de Bi e As em nascentes da Bacia de Tubarão pode ser resultante e indicativa das mineralizações de fluorita, já que ambos são elementos farejadores de mineralizações hidrotermais com sulfetos de baixa temperatura (LICHT, 1998).

QUALIDADE DOS SOLOS

Do ponto de vista ambiental, o solo residual é resultado do produto de alteração da rocha, submetida ao clima, ao tempo e afetado pela biota (vegetação, microrganismos e o homem). Vamos considerar aqui dois dos fatores intervenientes: a geologia e o homem.

Para tal, são expostos os elementos que apresentaram valores máximos e medianos, acima dos limites de referência ambiental (Tabela 39).

Da Tabela 39, são obtidas as seguintes observações:

Solos Superficiais (Top)

Os acréscimos acima da referência ambiental brasileira (CONAMA 420/2009) foram: Ni (120,7%) > Cu (100%) > Co (94,8%) > Ba (57,3%) > Cr (6,7%).

Considerando referências ambientais internacionais (NOAA/2008), os acréscimos foram: Li (1.350%) > V (842,9%) > Mn (578,2%) > Fe (503,3%) > Zn (102%) > Be (90,9%) > Al (46%).

Apresentaram medianas com acréscimos relativos à NOAA (2008): Li (400%) > Fe (58,3%) > Mn (45%) > V (19%) e Zn = NOAA (50 ppm).

Solos Subsuperficiais (Sub)

Os acréscimos acima da referência ambiental brasileira (CONAMA 420/2009) foram: Cu (196,8%) > Ni (133%) > Cr (109,3%) > Co (60%) = Ba (60%).

Considerando referências ambientais internacionais (NOAA/2008), os acréscimos foram: Li (1.750%) > V (878,6%) > Fe (562,8%) > Mn (457,7%) > Be (154,5%) > Zn (90%) > Al (62,4%).

Apresentaram medianas com acréscimos relativos à NOAA (2008): Li (550%) > Fe (96,1%) > V (47,6%).

A análise dos resultados começa pelos teores das medianas acima da referência ambiental, por serem mais amplamente distribuídos na área. Quando o conjunto de dados apresenta mediana acima da referência ambiental, significa dizer que mais de 50% do conjunto amostral situa-se acima do limite, ou seja, há muitas amostras violando o limite. Este foi o caso do Li, Fe, Mn, V e Zn em solos superficiais e do Li, Fe e V em solos subsuperficiais. Vale ressaltar que os limites não se referem à legislação brasileira. Passa-se a partir de agora a analisar os elementos, caso a caso:

Fe - 29 amostras Top / 31 amostras Sub / medianas Top (2,85%) e Sub (3,53%) > *Background* NOAA/2008 (1,8 %). O limite empregado para o Fe refere-se a um valor médio de *background* (média geométrica de dados nacionais dos EUA), portanto não indica perigo à saúde das plantas ou animais. O valor utilizado como referência serve para mostrar o quanto são altos os teores das medianas de Fe na área de estudo como um todo. Apenas a ingestão continuada de Fe poderia ser prejudicial à saúde humana.

TABELA 39

Elementos com teores máximos e medianos com acréscimos acima das referências ambientais em solos superficiais (Top) e subsuperficiais (Sub).

		Al (%)	Ba	Be	Co	Cr	Cu	Fe (%)	Li	Mn	Ni	V	Zn
Ref. Amb.	CONAMA 420/2009		150		25	75	60				30		300
	NOAA/2008	5 (a)		1,10 (b)				1,8 (c)	2 (a)	220 (a)		42 (b)	50 (a)
Solo Top	Máximo	7,30	236,0	2,10	48,70	80,0	120,0	10,86	29,0	1492,0	66,20	396,0	101,0
	Mediana	2,44	68,00	0,70	4,90	14,0	14,70	2,85	10,0	319,0	4,60	50,0	50,0
	% > CONAMA		57,3		94,8	6,7	100,0				120,7		
	% > NOAA	46,0		90,9				503,3	1350,0	578,2		842,9	102
	% Med > NOAA							58,3	400,0	45,0		19,0	0
Solo Sub	Máximo	8,12	240,0	2,80	40,0	157,0	178,10	11,93	37,0	1227,0	69,90	411,0	95,0
	Mediana	3,32	57,00	0,70	4,60	16,0	9,70	3,53	13,0	189,0	4,70	62,0	40,0
	% > CONAMA		60		60	109,3	196,8				133		
	% > NOAA	62,4		154,5				562,8	1750	457,7		878,6	90
	% Med > NOAA							96,1	550			47,6	

Onde: Valores em ppm, salvo quando apontado em %; Solo Top – superficial (0 – 20 cm); Solo Sub – subsuperficial (20 – 40 cm); Referências Ambientais NOAA (BUCHMAN, 2008): (a) Eco-SSL “Plants”; (b) Dutch Standards “Target”; (c) Background “Mean”.

Li - 35 amostras Top / 35 amostras Sub / medianas Top (10 ppm) e Sub (13 ppm) > Eco-SSL “Plants” NOAA/2008 (2,0 ppm). Os valores orientadores de Li, por outro lado, dizem respeito à toxicidade em plantas. Apesar disto, na área de estudo, os teores máximos (37 ppm) e medianos (10 – 13 ppm) são perfeitamente compatíveis com os teores médios em granitos (30 ppm) e em basaltos (10 ppm), litologias que imprimem maior impressão ao conjunto de dados. São também compatíveis com os teores médios em folhelhos (60 ppm), presentes em algumas litologias da Bacia do Paraná, aflorando na parte central da área. Devido aos maiores teores médios em folhelhos e ao Li ter ocorrência associada também a veios de pegmatitos, as áreas central e norte são mais propícias aos maiores teores, porém todas as amostras apresentaram valores acima do referido limite.

Zn - 18 amostras Top / 13 amostras Sub / medianas Top (50 ppm) e Sub (40 ppm) ≤ Eco-SSL “Plants” NOAA/2008 (50 ppm). Todos os valores são < CONAMA (300 ppm). Os valores orientadores de Zn também dizem respeito à toxicidade em plantas. Na área de estudo, os teores máximos (101 ppm) e medianos Sub (40 ppm) são perfeitamente compatíveis com os teores médios em basaltos (100 ppm), folhelhos (100 ppm) e granitos (40 ppm), litologias que imprimem maior impressão ao conjunto de dados. Destacam-se os teores medianos Top (50 ppm)

levemente enriquecidos em relação à mediana Sub, ao contrário do comportamento comumente observado, como possivelmente alterados pelo homem.

Mn - 24 amostras Top / 15 amostras Sub / medianas Top (319 ppm) > Eco-SSL “Plants” NOAA/2008 (220 ppm). Quanto ao Mn, ele é naturalmente enriquecido em basaltos (2200 ppm) e, portanto, os teores são mais proeminentes na região extremo sul, embora as escarpas da Serra Geral estendem-se de sudoeste a noroeste da área de estudo, onde são verificados os maiores teores.

V - 5 amostras TOP / 6 amostras SUB > *Intervention* NOAA/2008 (250 ppm). Teores de V são naturalmente enriquecidos em basaltos (250 ppm), porém já corresponde ao valor *Intervention* (250 ppm) dos padrões holandeses, que se referem a solos já severamente contaminados. Os teores destacados ocorrem na região extremo sul e ao longo das escarpas da Serra Geral, que se estendem de sudoeste a noroeste da área de estudo. Já os teores medianos Top (50 ppm) e Sub (62 ppm) assemelham-se ao *Target* (42 ppm), que seria equivalente à uma concentração nacional de fundo para os Países Baixos.

Al - 4 amostras Top / 7 amostras Sub > Eco-SSL “Plants” NOAA/2008 (5%). Quanto ao Al, a distribuição espacial dos valores, em maior número no solo subsuperficial e cabeceiras de todas as bacias hidrográficas, levam a crer que sejam teores naturalmente elevados.

Be – 9 amostras Top / 9 amostras Sub > *Target* NOAA/2008 (1,1 ppm). Top - cinco amostras em nascentes do Rio Tubarão, duas amostras na Bacia de Duna, duas amostras na Bacia Mampituba; Sub – seis amostras na Bacia de Tubarão e três amostras na Bacia de Araranguá. Para o Be, o valor utilizado como referência ambiental foi o *Target* (NOAA/2008), que se refere aos valores-alvo dos padrões holandeses. Junto ao *Intervention*, que seria o valor já severamente contaminado, são valores de referência de poluentes ambientais utilizados na remediação, investigação e limpeza ambiental. Os valores *Target* estão relacionados a uma concentração nacional de fundo que foi determinada para os Países Baixos. Ou seja, é um limite que se refere à qualidade, e não a solos efetivamente contaminados, caso do *Intervention* (30 ppm), e em relação a este, todos os valores situaram-se muito baixos. O Be é mais comumente encontrado em pegmatitos graníticos, mas também há pegmatitos berilíferos em rochas máficas/ultramáficas e, em menor proporção, o berilo também ocorre em depósitos de greisens, veios de quartzo, placers aluviais, elúvios e colúvios.

Passando aos elementos que apresentaram teores máximos e variável número de amostras acima do limite estipulado pela legislação brasileira (CONAMA 420/2009), tem-se: Ni (120,7%) > Cu (100%) > Co (94,8%) > Ba (57,3%) > Cr (6,7%).

Ni - Considerando os teores médios em basaltos (150 ppm) e folhelhos (70 ppm), os teores máximos identificados não chegam a ser tão altos. Ocorreram em duas amostras Top e 1 amostra Sub acima do limite CONAMA (30 ppm), em Curral Falso (Bacia de Tubarão), Nova Roma e Meleiro (Bacia de Araranguá). Curral Falso (66,2 ppm) e Nova Roma (69,9 ppm) são localidades situadas próximo das escarpas da Serra Geral, enquanto Meleiro (30,9 ppm) situa-se no trecho médio da mesma bacia.

Cu - Tem teores médios mundiais em basaltos (100 ppm), folhelhos (50 ppm) e granitos (10 ppm). No presente estudo, foram quatro amostras Top e cinco amostras Sub. Das amostras Sub, quatro se situam na Bacia de Araranguá, onde teores naturalmente elevados são esperados. Apenas em uma amostra Sub (96,9 ppm), na Bacia de Tubarão, próximo à sede de Rio Fortuna, é considerada com suspeita de contaminação ambiental, já que em águas o Cu também apresenta diversos pontos acima da legislação ambiental, em área coincidente com o Distrito Fluorítico de Santa Catarina.

Co - Tem teores médios mundiais em basaltos (50 ppm), folhelhos (20 ppm), granitos (1 ppm) e solos (1 – 40 ppm). Considerando que as três amostras Top acima do CONAMA situam-se na área central, que é afetada pela mineração de carvão, e não próximas aos basaltos, possivelmente são pontos de enriquecimento antropogênico. Já os pontos Sub são dois e coincidem com pontos já citados na Bacia de Tubarão, próximo à sede de Rio Fortuna (fluorita); e na Bacia de Araranguá, em Meleiro, onde são esperados teores mais altos em função da geologia.

Ba - Tem teores médios mundiais em basaltos (250 ppm), folhelhos (700 ppm), granitos (600 ppm) e solos (100-3.000 ppm). Considerando que o limite do CONAMA (150 ppm) é menor do que os teores médios esperados nos principais tipos de rochas encontrados na região, os teores máximos identificados Top (236 ppm) e Sub (240 ppm) podem ser considerados baixos se comparados aos esperados nas litologias presentes. Entretanto, as medianas Top (68 ppm) e Sub (57 ppm) demonstram que os teores médios na região se situam abaixo do CONAMA, e os pontos destacados, três amostras Top na Bacia de Tubarão e cinco amostras Sub são aleatórios (montante e jusante), em ambas as bacias, e fora das áreas afetadas por mineração, portanto acredita-se que o elemento esteja sendo removido em função da das áreas de carvão e de fluorita.

Cr - Tem teores médios mundiais em basaltos (200 ppm), folhelhos (100 ppm), granitos (4 ppm) e solos (5 - 1.000 ppm). Foi identificada apenas uma amostra Top em Curral Falso (80 ppm) e uma amostra Sub em Nova Roma (157 ppm), ambas situadas em encostas da Serra Geral, porém, esta última teria maior probabilidade de ser considerada natural devido a sua proximidade com basaltos e ao fato de ser subsuperficial, enquanto que a primeira tem maior distância e, portanto, menos influência dos basaltos, é superficial e ocupada por plantações de fumo e eucalipto, sendo assim, possivelmente antrópico.

Os locais onde os elementos sobressaíram-se acima dos limites de referência ambiental (CONAMA 420/2009 e NOAA, 2008), são apresentados na Tabela 40.

Entre os locais amostrados, os que chamaram mais atenção pelo número de violações ambientais foram Curral Falso (Bacia de Tubarão) e Nova Roma (Bacia de Araranguá). Além das características geológicas naturais, cabe analisar as atividades econômicas exercidas em cada uma das regiões.

TABELA 40

Locais e elementos identificados acima das referências ambientais em solos.

BACIA	SUPERFICIAL	SUB-SUPERFICIAL
ARARANGUÁ	Nova Roma (Ba, Cu, Mn, V, Zn) Timbé do Sul (Cu) Treviso (Mo) Meleiro (Ni, Mn) São João do Sul (Mn) Sombrio (Mn) Espigão da Toca (Mn)	Nova Roma (Al, Ba, Be, Cu, Cr, Mn, Ni, V, Zn) Vila Maria (Al, Cu, Mn, V) Espigão da Toca (Ba) Meleiro (Be, Co, Cu, Mn, V, Zn) Timbé do Sul (Cu, V, Mn, Zn) Braço do Norte (Mn)
TUBARÃO	Curral Falso (Al, Ba, Be, Cu, Cr, Mn, Ni, V, Zn) São Martinho (Al, Be, Mn, Zn) Capivara Alta (Ba, Be, Mn) Rio Fortuna (Ba, Be, Cu, Mn) Lauro Muller (Co, Cu, Mn) Rio Atafona (Be, Co, Mn, Zn) Jaguaruna (Mn) São Ludgero (Mn)	Morro Heinzen (Al, Ba, Be, Zn) Anitápolis (Al, Be, Sn, Zn) Rio Atafona (Al, Be, Zn) Rio Fortuna (Al, Be, Co, Cu, Mn, V, Zn) Jaguaruna (Ba, Be, Mn, Zn) Lauro Muller (Ba, Be) São Martinho (Ti, U) São Ludgero (Mn)
URUSSANGA	Cocal do Sul (Al, Be, Co, Mn, V, Zn) Sangão (Ba, Mn)	Sangão (Mn)
DUNA	Araçatuba (Al, Be, Mn, Zn) Laguna (Sn)	
MAMPITUBA	Arroio do Silva (Cu, V, Mn, Zn)	Praia Grande (Al, V, Mn, Zn) Arroio do Silva (Mn)

RH Sul

Teores naturalmente elevados de Li e Be são perfeitamente compatíveis com as litologias da região, rica em granitoides, pegmatitos e mineralizações hidrotermais de fluorita. O Pb ocorre acima do limite ambiental em solos e águas superficiais das bacias de Tubarão e Duna, assim como também indicava a componente antrópica da PC1 em sedimentos.

Em Curral Falso, destacaram-se em solo superficial Al, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Ge, Ni, V, Zn. Curral Falso é um distrito à NW de Orleans, próximo à nascente do Rio Laranjeiras, e o ponto amostrado tinha o entorno ocupado por plantações de fumo e eucalipto. Esse ponto fica próximo de Lauro Muller, que teve uma ferrovia construída entre os anos de 1880 e 1884, para transportar carvão de Lauro Muller ao Porto de Imbituba.

Na porção norte da Região Sul (Bacia de Tubarão), as atividades econômicas residem basicamente na agricultura familiar (fumo, milho, feijão, mandioca, fruticultura, piscicultura, apicultura, atafonas e engenhos de açúcar), na pecuária (gado de corte e suínos, abatedouros, produção de leite), florestamento com pinus e eucalipto, extração mineral de fluorita e carvão.

Em Rio Fortuna, há extração de fluorita, mineral do qual o município possui uma das maiores reservas, de grande valor econômico. No beneficiamento da fluorita, sais carboxílicos de bário, formados na superfície do mineral, são solubilizados por aquecimento a temperaturas de até 90°C. Quando há sulfetos no minério, procede-se à remoção dos sulfetos de zinco com cianeto ou dicromato de potássio (SAMPAIO; ANDRADE; BALTAR, 2005). Somente em Rio Fortuna, foram identificados diversos elementos acima dos limites ambientais em solo Top (Ba, Be, Cu, Mn) e Sub (Al, Be, Co, Cu, Mn, V, Zn).

RH Extremo Sul

Em Nova Roma, destacaram-se muitos elementos, tanto em solo superficial (Cu, Fe, V, Zn), quanto subsuperficial (Al, Ba, Cu, Cr, Fe, Ni, V, Zn). Nova Roma é uma cidade de imigração italiana, com duas grandes empresas dos ramos de metais e plásticos. O ponto amostrado fica dentro da propriedade de uma pousada, localizada em meio à mata nativa, a W de Morro Grande, próximo ao Rio Manoel Alves. Uma hipótese para os metais identificados seria devido ao escapamento dos carros, uma vez que o ponto se localiza num corte de elevação do terreno, onde

poderiam ser estacionados os carros da pousada, ausentes no momento da coleta.

Um traço em comum dos municípios na Bacia de Araranguá é uma economia fortemente embasada no cultivo do arroz e do fumo, tal como em Maracajá (Espigão da Toca), Timbé do Sul e Meleiro.

Segundo o INCA (2018), o plantio de fumo leva cerca de 10 meses, durante todo o período, são usados diversos tipos de agrotóxicos, como inseticidas, herbicidas e fungicidas. Muitos são classificados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) como extremamente tóxicos e altamente tóxicos (Classes I e II), com consequências à saúde dos fumicultores e contaminação dos compartimentos ambientais (águas, solo e ar). Foram 54 produtos citados como de uso frequente, entre os principais o Glifosato, herbicida largamente usado no Brasil para “capina química”, e vários inseticidas organofosforados.

O Glifosato é rápida e fortemente adsorvido aos coloides do solo, onde se torna mais persistente do que na água. Independentemente do tipo de produto usado, a larga utilização de agrotóxicos traz modificações para o ambiente, seja através da contaminação de seres vivos, seja através da sua acumulação nos compartimentos ambientais - biota, água, ar, solo, sedimentos etc. No que se refere à qualidade do solo, observa-se um aumento das concentrações de metais pesados, além do aumento significativo de manganês, que pode estar associado ao uso dos fungicidas diticarbamatos, que contêm esse tipo de metal em sua composição (INCA, 2018).

Este estudo apontou incrementos de Mn nos solos da Região Sul Catarinense da ordem de 578% (Top) e 458% (Sub) nos teores máximos sobre o limite ambiental, e teores medianos cerca de 45% acima do limite ambiental no solo Top, referente ao CONAMA. Em sedimentos, também houve incrementos de até 352% no máximo, com medianas 1,1% maiores que o limite ambiental da NOAA. Além de ser o 3º elemento mais abundante em águas, atrás apenas do Fe e Al.

Apesar dos teores de Mn serem naturalmente elevados, não se pode descartar que aportes antrópicos estejam amplificando os teores verificados.

Área Central-Leste

Foram detectados Al, As, Pb, Ba, Co e Zn de origem antrópica, sendo que As e Sb ficam concentrados em cinzas e rejeitos no leste.

O cobalto tem três pontos acima do CONAMA em solos superficiais, situados nas áreas central e noroeste, afetadas pela mineração de carvão, que possivelmente são pontos de enriquecimento antropogênico.

Elementos de origem básica, naturalmente enriquecidos na RH Extremo Sul, estão empobrecidos em solos subsuperficiais, e enriquecidos em um mesmo ponto superficial (Fe, V), em Cocal do Sul.

Nos solos subsuperficiais, há altos de Al, Ba, Co, Cu e Zn, tanto no norte quanto no sul, sendo que no norte podem ser resultantes da atividade mineral (carvão e fluorita), enquanto que no sul há também os impactos devidos ao uso agrícola.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análise dos resultados obtidos neste estudo, um resumo dos principais tópicos de qualidade ambiental, nos meios pesquisados, é apresentado na Tabela 41.

Na Mesorregião Sul Catarinense como um todo, dentre os parâmetros analisados em águas superficiais, Fe e Al apresentaram os maiores incrementos em relação aos valores de referência ambiental e encontram-se mais amplamente distribuídos em área. A Região Carbonífera de Santa Catarina (RCSC) fica bem demarcada pelo excesso de Mn em águas na área central-leste. Nos sedimentos, a mesorregião possui teores medianos naturalmente elevados de Fe, Mn e S, que se devem às rochas básicas na RH Extremo Sul (Fe e Mn) e, no caso do S, devido às duas fontes distintas: origem salobra no litoral nordeste da RH Sul (Bacia de Duna), e drenagem ácida de mina (DAM) na RH Extremo Sul (bacias de Araranguá e Urussanga). O Cu apresenta mediana em sedimentos acima do limite ambiental apenas na RH Extremo Sul, onde também se deve às rochas básicas.

De um modo geral, há coincidência entre os elementos mais impactados, que predominam nos sedimentos (S, Fe), na água (Fe, Al, Mn), ou se mantêm altos em ambas as matrizes (Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, S).

Na RH Sul (Bacia de Tubarão), as atividades econômicas residem basicamente na agricultura familiar, na pecuária, florestamento com pinus e eucalipto e na extração mineral de carvão e fluorita. O Distrito Fluorítico de Santa Catarina estende-se desde NW da região sul em Rio Fortuna, até a área central-leste em Morro da Fumaça (Bacia de Urussanga), bordejando o embasamento da Bacia do Paraná, no contato com os granitoides. No SW da Bacia de Tubarão, tem-se ainda o carvão nas proximidades de Orleans e Lauro Muller.

TABELA 41

Síntese das conclusões nos diferentes meios para o conjunto completo.

PCA SEDIMENTOS	ÁGUAS	SEDIMENTOS	SOLOS																																																																								
<p>PC1 - U, Ce, Tl, Rb, Yb, La, Y, Be, Lu, Th, Tb, Cs, Sn, Bi, Pb, K and Li.</p> <p>PC2 - V, Cu, Ga, Sc, Ti, Co, Mg, Zr, Ni, Sr, Hf, Mn, In, Ba e Cr.</p> <p>PC3 - Fe, Al, Sb, As, Mo, P, Ag, S, Zn e Hg.</p> <p>Em negrito contribuição antrópica.</p>	<p>Incremento > limite no máximo (%)</p> <p>Fe^T 44233 Al 27500 Mn 9730 Cu 789 Ni 580 Zn 539 SO₄ 287 Cl⁻ 188 Co 120 Na 34 B 27</p>	<p>Incremento > limite no máximo (%)</p> <p>S^{SO2} 17900 Fe^T 650 Cu 357 Mn 352 Ag 252 Zn 129 As 103 Pb 93 Cr 85 P 55 Ni 24</p> <p>Incremento > limite na mediana Fe - 48,5 % Mn - 1,1 % S - 53,8 %</p>	<p>Incremento > limite no máximo e mediana, TOP e SUB (%)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">TOP</th> <th colspan="2">SUB</th> </tr> <tr> <th>MAX>[%]</th> <th>MED>[%]</th> <th>MAX>[%]</th> <th>MED>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Al</td> <td>46,0</td> <td></td> <td>62,4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ba</td> <td>57,3</td> <td></td> <td>60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Be</td> <td>90,9</td> <td></td> <td>154,5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Co</td> <td>94,8</td> <td></td> <td>60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cr</td> <td>6,7</td> <td></td> <td>109,3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>100,0</td> <td></td> <td>196,8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>503,3</td> <td>58,3</td> <td>562,8</td> <td>96,1</td> </tr> <tr> <td>Li</td> <td>1350,0</td> <td>400,0</td> <td>1750</td> <td>550</td> </tr> <tr> <td>Mn</td> <td>578,2</td> <td>45,0</td> <td>457,7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td>120,7</td> <td></td> <td>133</td> <td></td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>842,9</td> <td>19,0</td> <td>878,6</td> <td>47,6</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>102</td> <td>0</td> <td>90</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					TOP		SUB		MAX>[%]	MED>[%]	MAX>[%]	MED>[%]	Al	46,0		62,4		Ba	57,3		60		Be	90,9		154,5		Co	94,8		60		Cr	6,7		109,3		Cu	100,0		196,8		Fe	503,3	58,3	562,8	96,1	Li	1350,0	400,0	1750	550	Mn	578,2	45,0	457,7		Ni	120,7		133		V	842,9	19,0	878,6	47,6	Zn	102	0	90	
		TOP		SUB																																																																							
		MAX>[%]	MED>[%]	MAX>[%]	MED>[%]																																																																						
	Al	46,0		62,4																																																																							
	Ba	57,3		60																																																																							
	Be	90,9		154,5																																																																							
	Co	94,8		60																																																																							
	Cr	6,7		109,3																																																																							
	Cu	100,0		196,8																																																																							
	Fe	503,3	58,3	562,8	96,1																																																																						
	Li	1350,0	400,0	1750	550																																																																						
	Mn	578,2	45,0	457,7																																																																							
	Ni	120,7		133																																																																							
V	842,9	19,0	878,6	47,6																																																																							
Zn	102	0	90																																																																								

No norte, em proporções reduzidas, tem-se Cu acima dos limites ambientais em 10 amostras de águas superficiais distribuídas na Bacia de Tubarão. Juntamente com Al, estão associados em área ao Distrito Fluorítico, distribuído pelos municípios de Rio Fortuna, Santa Rosa de Lima, Pedras Grandes (Bacia de Tubarão) e Morro da Fumaça (Bacia de Urussanga). Suspeita-se que o Cu seja uma das impurezas presentes naquelas ocorrências, tal como a barita e outros sulfetos.

Os teores naturalmente elevados de Li e Be, em solos do norte, são perfeitamente compatíveis com as litologias em que predominam granitoides, com pegmatitos e mineralizações hidrotermais de fluorita. Nos solos Sub, há altos de Al, Ba, Co, Cu e Zn, tanto no norte quanto no sul. No norte, devem ser resultantes da atividade mineral (carvão e fluorita), enquanto que no sul há impactos devido ao carvão e ao uso agrícola.

A ocorrência de sulfetos não se restringe às áreas afetadas pela extração do carvão, mas acompanha as mineralizações de fluorita. A essa influência credita-se a presença de Pb e Zn acima dos limites ambientais em sedimentos, pois são impurezas removidas do minério. Focos de As podem ser indicativos das mineralizações, pois esse elemento é farejador de mineralizações hidrotermais com sulfetos de baixa temperatura.

No norte da Bacia de Tubarão, altos teores naturais de Cr e P, em sedimentos, ainda abaixo dos limites

ambientais, evidenciam a ocorrência das rochas ultrabásicas do maciço alcalino de Anitápolis.

No nordeste, a influência salobra em águas é presumida pela presença de cloretos, distribuído nos trechos inferiores das bacias de Tubarão e Duna. Juntamente com o Na, presente acima do limite ambiental apenas na foz dos rios principais: Araranguá, Urussanga, Duna e Tubarão, devem ser oriundos de resíduos urbanos, já que ambos, cloretos e Na, podem ser resultantes tanto de despejos domésticos, quanto influência de águas salobras. Na Bacia de Duna, coincide com elevados teores de S em sedimentos, confirmando a influência salobra, pois os pontos localizam-se em áreas de marés, ou de transição do meio lótico para lêntico. Outro elemento, cujos teores máximos acompanham a tendência de enriquecimento no litoral das bacias de Tubarão e Duna é o Pb, em parte formado pelo decaimento radioativo do urânio e tório, mas também possivelmente devido à presença de sulfetos associados à fluorita.

A RH Extremo Sul destaca-se pelo uso agrícola do solo. O ponto de solo situado próximo a uma das nascentes do Rio Manoel Alves, em Nova Roma, concentrou o maior número de elementos acima do limite ambiental, tanto Top (Cu, Fe, V, Zn) quanto Sub (Al, Ba, Cu, Cr, Fe, Ni, V, Zn), a W de Morro Grande. A origem desses elementos pode ser em parte natural, mas não se pode descartar uma possível origem antrópica. Um traço em comum dos municípios na Bacia de Araranguá é a economia

fortemente embasada no cultivo do arroz e do fumo. Na cultura do fumo é comum a utilização do Glifosato como herbicida, o qual é fortemente adsorvido aos coloides do solo, onde se torna mais persistente e pode levar ao aumento das concentrações de metais pesados.

Na área central-leste, os parâmetros que rastreiam o impacto gerado pela drenagem ácida de mina (DAM) são o SO_4 , pH e acidez, que se mantêm altos por maiores distâncias do foco de geração do que os metais. Os dados indicam focos de geração de DAM em águas, onde somam-se ao SO_4 e acidez, os metais acima dos seus respectivos limites ambientais, tais como nos rios Fiorita (Ni, B, Zn, Co), Mãe Luzia e Sangão (Zn), na Bacia de Araranguá, trecho Estação Cocal do Canal Urussanga (Zn, Ni), e nascentes do Rio Tubarão, este último em menor proporção.

Os pontos identificados como geradores de DAM são aqueles a partir dos quais se identificam, neste estudo, os parâmetros mais fortemente alterados, tais como Fe, Al, SO_4 , Zn e Co acima dos limites ambientais em águas. Cabe ressaltar que esses pontos não correspondem, necessariamente, ao ponto gerador, mas ao ponto a jusante mais próximo do foco gerador.

Os sedimentos possuem teores máximos de S e Fe, dentro da área de influência da RCSC, e mais altos na Bacia de Araranguá. Neste cenário, há elementos que se sobressaem com o aumento de teores (Ag e As), outros ficam depletados nas áreas mineradas (Cu, Mn, Ni, Pb e Zn) e encontram-se enriquecidos a jusante (Cu, Ni, Pb e Zn), sobressaindo-se nos trechos médio e inferior da Bacia de Araranguá, a jusante das áreas mineradas. No caso do Mn, que desaparece dos sedimentos a jusante, o impacto sobre esse elemento se sobressai em águas, onde foi o terceiro elemento mais abundante. Um aumento significativo de Mn

nas matrizes ambientais, fora das áreas mineradas, pode estar associado ao uso dos fungicidas ditiocarbamatos, utilizados na cultura do fumo.

Na Bacia de Urussanga, que se encontra totalmente inserida na RCSC, têm-se medianas muito altas de S em relação ao limite ambiental. Os elementos de origem básica (Fe, V, Ti, Zr) encontram-se depletados no solo Sub e altos nos solos Top em Cocal do Sul.

OP encontra-se acima da referência ambiental em pontos situados a jusante da geração de DAM, mas também de municípios como Forquilha (Bacia de Araranguá) e Morro da Fumaça (Bacia de Urussanga), podendo ser oriundo tanto da dissolução de fosfatos inorgânicos, quanto da contribuição de drenagem urbana com fosfatos orgânicos oriundos das cidades a montante.

A foz do Rio Araranguá tem o maior impacto devido às cargas dissolvidas dos metais pela DAM, porém o Rio Urussanga chega à sua foz apresentando a pior qualidade físico-química da água, em virtude não só da deterioração propiciada pela DAM, mas também de despejos urbanos e da falta de renovação de suas águas. E a foz do Rio Tubarão encontra-se em situação intermediária, porém devido à singularidade de desembocar na Lagoa de Santo Antônio dos Anjos (39 km²), no município de Laguna, possui as condições mais delicadas em termos de fragilidade do ecossistema lagunar.

Sugestão de Estudo

Devido ao possível carreamento dos metais em suspensão até precipitarem em barreiras geoquímicas, sugere-se que as áreas de rizicultura situadas nos trechos finais dos rios principais, bem como lagos e lagoas próximas ao litoral, sejam os próximos alvos de investigação. Para tal, já se planejou pontos de amostragem em rios e lagoas, a título de sugestão, expostos na Figura 61.

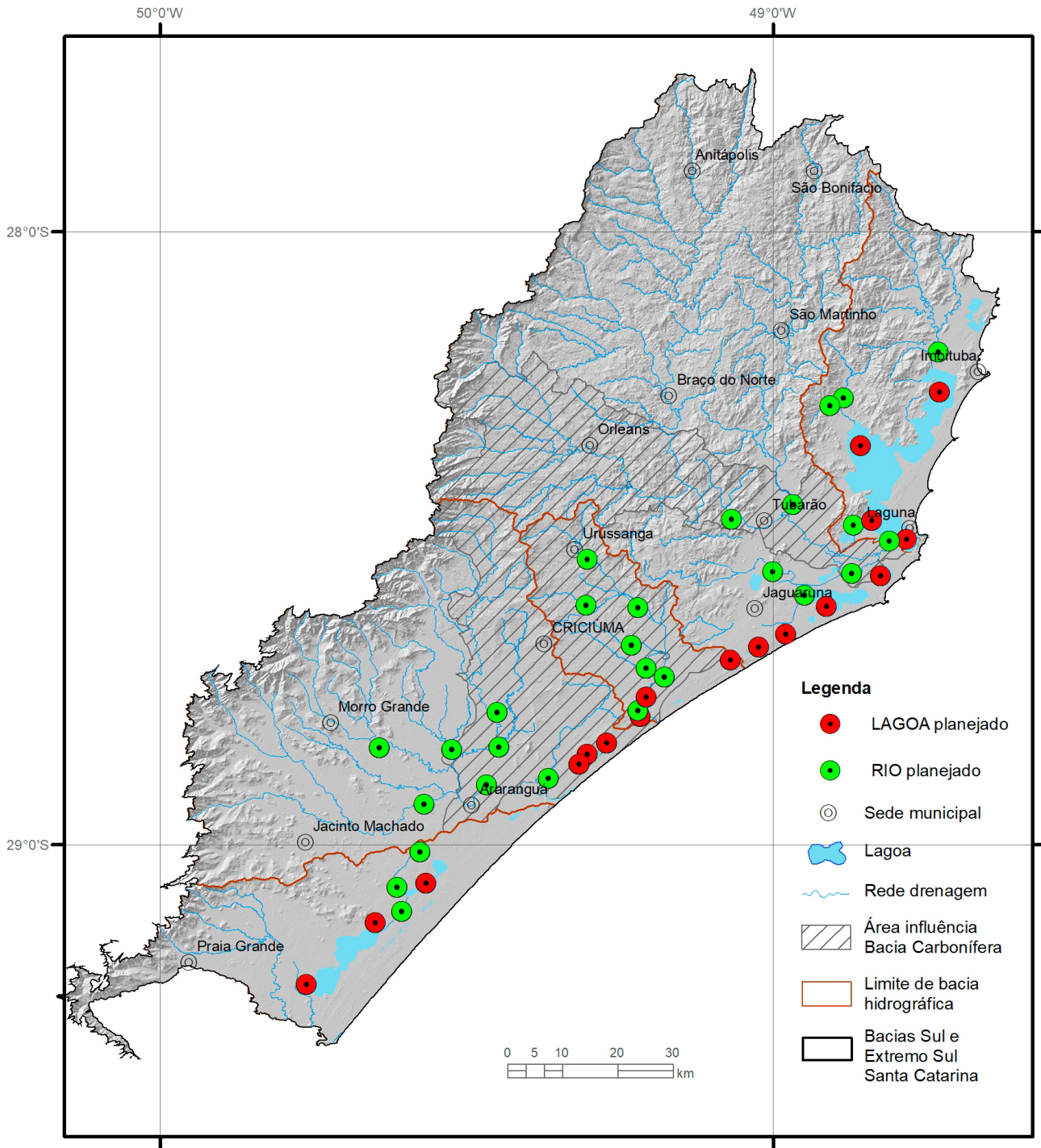


Figura 61 - Sugestão de pontos de amostragem de sedimentos em rios e lagoas próximas ao litoral. Fonte: elaborado pela autora.

■ ■ ■ REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF: ANA, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 21 out. 2021.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2004. **Toxicological profiles**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Disponível em: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/index.aspx>. Acesso em: 08 mar. 2022.

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J. H. Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 31, n. 2, p. 117-142, 1967. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(67\)80041-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(67)80041-3).

ANDRIOTTI, J. L.
S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo, RS: UNISINOS, 2009. 165 p.

ARAÚJO, L. P. de O. Carvão Mineral. **Sumário Mineral:** 2014, Brasília, DF, v. 34, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/carvao-mineral-sumario-mineral-2014/view>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BASEI, M. A. S. **O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina**. São Paulo, 1985. 196 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44131/tde-27102015-160910/pt-br.php>. Acesso em: 23 fev. 2022.

BELZILE, N.; YU-WEI, C. Thallium in the environment: A critical review focused on natural. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 84, p. 218-243, Sept. 2017. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2017.06.013

BIONDI, J. C. **Processos Metalogenéticos dos depósitos minerais do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2003. 528 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: CONAMA, 2005. Disponível: <https://agencia.baciaspcj.org.br/docs/resolucoes/resolucao-conama-357-05.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº396 de 3 de abril de 2008**. Brasília, DF: CONAMA, 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº420 de 28 de dezembro de 2009**. Brasília, DF: CONAMA, 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acr.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº454 de 01 de novembro de 2012**. Brasília, DF: CONAMA, 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materialerdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf. Acesso em: 23 fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 4 mar. 2022.

BRITISH GEOLOGICAL SERVICE. **Rare earth elements**. Nottingham: Minerals UK, 2011. Disponível em: https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/mineralProfiles/rare_earth_elements_profile.pdf. Acesso em: 23 fev. 2022.

BUCHMAN, M. F. **Screening Quick Reference Tables (SQUIRTs)**. Seattle, WA: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008. (NOAA OR&R Report 08-1). Disponível em: <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9327>. Acesso em: 23 fev. 2022.

CLARKE, F. W. **The relative abundance of the chemical elements**. Washington, D.C.: Philosophical Society of Washington, 1889. 12 p. (Bulletin Philosophical Society of Washington, v. 11)

COSTA, M. M. de; POSSAMAI, F.; VIANA, E. Levantamento dos lixões inativos dos municípios da região sul do estado de Santa Catarina. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58., 2006, Florianópolis, SC. **Anais [...]**. São Paulo: SBPC, 2006. Disponível em: http://www.sbpnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo_71.html. Acesso em: 18 out. 2021.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17996>. Acesso em: 07 dez. 2020.

DARDENNE, M. A.; SAVI, C. N. Geologia e geoquímica dos filões de fluorita Segunda Linha Torrens e Cocal, SC. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.14, n. 2, p. 120-127,

jun. 1984. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/12112>. Acesso em: 23 fev. 2022.

EDRAKI, M.; GOLDING, S. D.; BAUBLYS, K. A.; LAWRENCE, M. G. Hydrochemistry, mineralogy and sulfur isotope geochemistry of acid mine drainage at the Mt. Morgan mine environment, Queensland, Australia. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 20, n. 4, p. 789-805, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2004.11.004>.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed., rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM; Recife: LABHID, 2008. 812 p. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14818>. Acesso em: 23 fev. 2022.

FERNANDES, L. **Mineração de carvão e a qualidade da água: o caso de Criciúma**. 1999. 187 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-30092015-111912/pt-br.php>. Acesso em: 24 fev. 2022.

FERREIRA, F. A.; NASCIMENTO, M. **Terras raras: aplicações atuais e reciclagem** Rio de Janeiro: CETEM; MCTI, 2013. 72 p. (Série Tecnologia Mineral, 91). Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1827/1/stm-91.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2022.

FORTESCUE, J. A. C. Landscape geochemistry: retrospect and prospect – 1990. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 1-53, Jan. 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(92\)90012-R](https://doi.org/10.1016/0883-2927(92)90012-R).

FRAGOSO CESAR, A. R. S. O cráton do Rio de la Plata e o cinturão Dom Feliciano no escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Florianópolis: SBG, 1980. v. 5, p. 2879-2892. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002166822>. Acesso em: 24 fev. 2022.

FRANZEN, M.; ANDO, J. L.; VIGLIO, E. P. Geochemical Conditioning Factors Acting in the South Mesoregion of Santa Catarina State, Brazil: Influence of the Carboniferous Basin. *In*: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA, 1., 2021, [Online]. **Anais [...]**. Belo Horizonte: ABAS, 2021. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22491>. Acesso em: 10 dez. 2021.

FRANZEN, M.; CARDOSO, A. T.; HOELZEL, M. C.; SANTOS, L. Delimitação das áreas afetadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina. *In*: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA, 1., 2021, [Online]. **Anais [...]**. Belo Horizonte: ABAS, 2021. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22490>. Acesso em: 13 dez. 2021.

GEOSOFT. **Tutorial Geosoft Montaj Geochemistry: versão 7.1**. Toronto: GEOSOFT, 2010.

GOSEN, B. S. V.; VERPLANCK, P. L.; LONG, K. R.; GAMBOGI, Jo.; SEAL, R. R. The rare-earth elements: vital to modern

technologies and lifestyles. **Fact Sheet. U.S. Geological Survey**, Reston, 4 p.; 2014. DOI: <https://doi.org/10.3133/fs20143078>. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2014/3078/pdf/fs2014-3078.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2022.

GOULARTI FILHO, A. **Formação econômica de Santa Catarina**. 25 p. Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em: http://www.abphe.org.br/arquivos/2003_alcides_goularti_filho_formacao-economica-de-santa-catarina.pdf. Acesso em: 7 mar. 2022.

HAKANSON, K. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. **Water Research**, New York, v. 14, n. 8, p. 975-1001, 1980. DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8).

HORBACH, R.; MARIMON, R. G. Contribuição à geologia do distrito de fluorita de Santa Catarina. **Boletim Técnico. Projeto RADAMBRASIL: Série Geologia**, Salvador, n. 1, 104 p., 1982.

HORBACH, R.; MARIMON, R. G. Esboço da evolução tectônica e seu significado na gênese dos depósitos de fluorita no sudeste catarinense. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Florianópolis: SBG, 1980. v. 3, p. 1540-1551. Disponível em: http://acervo.cprm.gov.br/rpi_cprm/docreaderNET/DocReader.aspx?bib=Anais&PagFis=16559. Acesso em: 22 fev. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 1). Disponível em: <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-tecnico-da-vegetacao-brasileira.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 7). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 425 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 4). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil: 2016-2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020a. 26 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101703.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de cobertura e uso da terra do Brasil, 2018. *In*: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil: folder**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020b. p. 4. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101703_folder.pdf. Acesso em: 24 fev. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Pedologia 1:250.000: base de dados espacial 1:250.000, no recorte ao milionésimo. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2018/. Acesso em 01 abr. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html?utm_source=portal&utm_medium=popclock&utm_campaign=novo_popclock> Acesso em: 21 out.2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Vegetação 1:250.000: base de dados espacial 1:250.000, no recorte ao milionésimo. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_250_mil/versao_2019/. Acesso em 04 mar. 2021.

INCA – Instituto Nacional do Câncer. **Fumicultura e meio ambiente.** [S.l.], 23 ago 2021. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/observatorio-da-politica-nacional-de-controle-do-tabaco/fumicultura-e-meio-ambiente>. Acesso em: 24 fev. 2021.

JICA – Japan International Cooperation Agency. **The feasibility study on recuperation of mined-out áreas in the South region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil.** Japan: Mitsubish Materials Corporation; Chiyoda-Dames & Moore Co. Ltd, 1998. Technical Annex, Section I, II, III. Sector Studies. (Relatório).

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants.** 2nd ed. London: CRC Press, 1992. 365 p.

KAHN, H. **Caracterização mineralógica e tecnológica da jazida de fosfato do maciço alcalino de Anitápolis, SC.** 1988. 219 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-11092015-110420/publico/Kahn_mestrado.pdf. Acesso em: 24 fev. 2022.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in fator analysis. **Psychometrika**, New York, v. 23, n. 3, p. 187-200, Sept. 1958. DOI: 10.1007/BF02289233. Disponível em: http://cda.psych.uiuc.edu/psychometrika_highly_cited_articles/kaiser_1958.pdf. Acesso em: 24 fev. 2022.

KARAMENKO, L.Y. Biogenic factors in the formation of sedimentary ores. **International Geology Review**, Lawrence, v. 11, p. 271-81, 1969.

KIM, A. G. An experimental study of ferrous iron oxidation in acid mine water. In: SYMPOSIUM ON COAL MINE DRAINAGE RESEARCH, 2., 1968, Pittsburgh, Pennsylvania. 1968. **Proceeding** [...]. Monroeville, PA: Bituminous Coal Research Inc. 1968. p. 40-45.

KNÖLLER, K.; FAUVILLE, A.; MAYER, B.; STRAUCH, G.; FRIESE, K.; VEIZER, J. Sulfur cycling in an acid mining lake and its

vicinity in Lusatia, Germany. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 204, n. 3-4, p. 303-323, 15 Apr. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2003.11.009>.

KOLJONEN, T. **The geochemical atlas of Finland.** Espoo: Geological Survey of Finland, 1992. pt. 2, 218 p.

LANGMUIR, D. **Aqueous environmental geochemistry.** Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997. 600 p.

LAVINA, E. L.; LOPES, R. C. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no estado do Rio Grande do Sul. **Paula Coutiana**, Porto Alegre, n. 1, p. 51-103, 1986.

LEINZ, V. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras. Geologia**, São Paulo, v. 103, n. 5, p. 1-61, 1949. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2526-3862.bffcluspgeologia.1949.121703>. Disponível em: <https://pgegeo.igc.usp.br/index.php/bffcluspgeologia/article/view/10792>. Acesso em: 24 fev. 2022.

LEVINSON, A. A. **Introduction to Exploration Geochemistry.** 2nd ed. Wilmette: Applied publishing, 1980. 924 p.

LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica:** princípios, técnicas e métodos. Rio de Janeiro: CPRM, 1998. 216 p.

LIMA FILHO, M. F.; PEDROSA, F. J. A.; MEDEIROS, A. B.; BRITO, M. F. I.; ARAÚJO, R. D.; NÓBREGA, V. A.; MOTA, J. A. Geologia da Bacia do Cabo - PE. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 3., 1994, Rio Claro. **Boletim** [...]. Rio Claro: UNESP, 1994. p. 45-46.

LINS, H. N.; SANTOS, L. C. dos. O extremo sul catarinense em debate: ensaio sobre a socioeconomia regional. In: ESTEVAM, D. de O.; FABRIS, T. R. (org.) **Ensaio sobre a economia Sul Catarinense:** volume III. Criciúma, SC: UNESC, 2017. p. 49-86. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/5140>. Acesso em: 25 fev. 2022.

LOPES JÚNIOR, I.

Atlas geoquímico do vale do Ribeira: geoquímica dos sedimentos ativos de corrente. São Paulo: CPRM; FAPESP, 2007. 77p. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17642>. Acesso em: 25 fev. 2022.

MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. de. **Noções de probabilidade e estatística.** 5. ed. São Paulo: EDUSP, 2002. 392 p.

MAIA, C. J. **Intoxicação aguda por tálio.** 2004. 56 f. Monografia (Especialização em Medicina do Trabalho) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

MANAHAN, S. E. **Environmental chemistry.** 6th ed. Chelsea: Lewis Publishers, 1994.

MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. Geochemical background - can we calculate it? **Environmental Geology**, Berlin, v.39, n. 9, p. 990-1000, Jan. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002549900084>.

- MELLO, J. W. V. de; DIAS, L. E.; CORREA, M. L. T. Drenagem ácida: avaliação do potencial de ocorrência, mitigação e revegetação de substratos sulfetados. *In*: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. V. H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2003. v. 3, p. 401-430.
- MELLO, J. W. V. de; DUARTE, H. A.; LADEIRA, A. C. Q. Origem e controle do fenômeno drenagem ácida de mina. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 8, p. 24-29, maio 2014. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/06-CTN4.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. 1997. 2 v. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82, jan./mar. 1994.
- MINERAIS DO PARANÁ. **Geoquímica de solo - Horizonte B: Relatório final de projeto**. Curitiba: Mineropar, 2005. V.1.
- MÜLLER, G. Index of geo-accumulation in sediments of Rhine River. **Geochem. Journal**, v. 2, p. 108-118, 1969.
- NATIONAL MINERALS INFORMATION CENTER. Thallium. *In*: NATIONAL MINERALS INFORMATION CENTER. **Thallium Statistics and Information**. Reston: USGS, 2019 p. 168-169. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/thallium-statistics-and-information>. Acesso em: 21 out. 2021.
- NOLLET, L. M. L. (ed.). **Handbook of water analysis**. 2nd ed. [Flórida]: CRC Press, 2007. 784 p.
- NOVAES, C. E.; SANTOS, L. C. dos; PASCOALI, M. **Análise econômica da mesorregião sul de Santa Catarina**. Santa Catarina: UFSC, 2013. 57 p. (Texto para discussão 006/2013). Trabalho apresentado na disciplina de Economia Catarinense, do curso de graduação em Ciências Econômicas da UFSC, lecionado pelo prof. Lauro Mattei, no primeiro semestre de 2013. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1rx1OgO6d5No4qYleWZLj_t9Hp366Yyne/view. Acesso em: 25 fev. 2022.
- OLIVEIRA, P. E. da S. de. **Avaliação da qualidade dos sedimentos fluviais no entorno da mina de urânio de Caldas**. 2016. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6828>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P.; MASSIGNAN, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F. V. **Atlas climatológico do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.
- PEÇANHA, R. M. Fluorita. *In*: Agência Nacional de Mineração - ANM. **Série Estatísticas e Economia Mineral**: outras Publicações. Brasília, DF: ANM, 2009. p. 484-502. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/6-3-fluorita>. Acesso em: 29 jan. 2021.
- PEÇANHA, R. M. Fluorita. **Sumário Mineral**: 2011, Brasília, DF, v. 31, p. 65-66, 2011. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6375. Acesso em: 20 jul. 2021.
- PEIXOTO, E. M. A. Cloro. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 17, maio 2003. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/a13.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- PEIXOTO, E. M. A. Escândio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 21, maio 2005. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc21/v21a11.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- PEIXOTO, E.M.A. Potássio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 19, p. 47, maio 2004. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a14.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2017.
- PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES, L. S.; NARDY, A. J. R.; PACCA, I. G.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. Continental flood volcanism from Paraná Basin (Brazil). *In*: MACDOUGALL, J. D. (ed.). **Continental flood basalts**. Dordrecht: Kluwer, 1988. p. 195-235.
- POSSAMAI, F. P.; VIANA, E.; SCHULZ, H. E.; COSTA, M. M. da; CASAGRANDE, E. Lixões inativos na região carbonífera de Santa Catarina: análise dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, Mar. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/dRkvDpYGZ9SSNCSyw5zk64Q/?lang=pt>. Acesso em: 18 out. 2021.
- POSTGATE, J. R. Recent advances in the study of the sulfate-reducing bacteria. **Bacteriological Reviews**. Baltimore, v. 29, n. 4, p. 425-441, Dec. 1965. DOI: <https://doi.org/10.1128/br.29.4.425-441.1965>. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/epdf/10.1128/br.29.4.425-441.1965>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- POSTGATE, J. R. **The sulphate reducing bacteria**. 2nd. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 224 p.
- PRIOR, G. T. A New Thallium Mineral. **Nature**, London, v. 71, p. 534, Apr. 1905. DOI: <https://doi.org/10.1038/071534b0>.
- RANKAMA, K. & SAHAMA, Th. G. 1954. **Geoquímica**. Aguilar, S.A. de Ediciones. Madrid. 862p.
- RAURET, G. Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment. **Talanta**, London, v. 46, n. 3, p. 449-455, July 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(97\)00406-2](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(97)00406-2).
- REIMANN, C. & CARITAT, P. de. 1998. **Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and**

Environmental Scientist. 398 pp. Berlin: Springer-Verlag. ISBN 354063670.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R. G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 346, n. 1-3, p. 1-16, June 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.023>. Acesso em: 08 mar. 2022.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R. G.; DUTTER, R. **Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R**. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. 362 p. DOI:10.1002/9780470987605.

RIM, K. T.; KOO, K. H.; PARK, J. S. Toxicological evaluations of rare earths and their health impacts to workers: a literature review. **Safety and Health at Work**, Geneva, v. 4, n.1, p. 12-26, Mar. 2013. DOI: 10.5491/SHAW.2013.4.1.12. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3601293/>. Acesso em: 25 fev. 2022.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY - RSC. **Terbium**. London, 2022a. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/65/terbium>. Acesso em: 22 maio 2020.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY - RSC. **Ytterbium**. London, 2022b. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/70/ytterbium>. Acesso em: 22 maio 2020.

SALOMÃO, G. N.; FIGUEIREDO, M. A.; DALL'AGNOL, R.; SAHOO, P. K.; MEDEIROS FILHO, C. A. de; COSTA, M. F. da; ANGÉLICA, R. S. Mapeamento geoquímico e concentrações de fundo de ferro e elementos potencialmente tóxicos em sedimentos de corrente ativa de Carajás, Brasil - implicações para avaliação de risco. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 92, p. 151-166, June 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.03.014>.

SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C. de; BALTAR, C. A. M. Fluorita. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. F. **Rochas e minerais industriais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 431-447. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1056/1/20.FLUORITA%20ok.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2021.

SÁNCHEZ-ANDREA, I.; SANZ, J. L.; BIJMANS, M. F. M.; STAMS, A. J. M. Sulfate reduction at low pH to remediate acid mine drainage. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 269, n. 3, p. 98-109, 30 Mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.032>.

SANTA CATARINA (Estado). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Recursos hídricos de Santa Catarina**: rede hidrográfica catarinense. Santa Catarina, 2018. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/base-documental/bacias-hidrograficas-do-estado>. Acesso em: 10 jun. 2020.

SANTA CATARINA (Estado). Secretaria de Estado da Fazenda. **Estatísticas e indicadores sócio-ecômicos e tributários referentes a municípios catarinenses**. Santa Catarina, 2011.

Disponível em: https://www.sef.sc.gov.br/transparencia/relatorio/31/Estat%C3%ADsticas_e_Indicadores_-_Munic%C3%ADpios. Acesso em: 13 abr. 2021.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais** [...]. São Paulo: SBG, 1974. v. 1, p. 41-65. Disponível em: http://acervo.cprm.gov.br/rpi_cprm/docreaderNET/docreader.aspx?bib=Anais&PagFis=1501. Acesso em: 3 mar. 2022.

SILVA, L. C.; McNAUGHTON, N. J.; HARTMANN, L. A.; FLETCHER, I. R.; GRESSE, P.; SCHEEPERS, R. U/Pb (SHRIMP) Isotopic Constrains for the Evolution of Southern Brazilian Granite Province, and some correlate South Africa, Pan African Plutons. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF GRANITE AND ASSOCIATED MINERALIZATION, 2., 1997, Salvador. **Extended abstracts and program** [...]. Salvador: SGH, 1997. p. 276-277.

SILVA, M. A. S. da; LEITES, S. R. (org.) **Criçúma: folha SH.22-X-B**: estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. Escala 1:250.000. Projeto de Mapeamento Geológico, Metalogenético Sistemático. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/8654>. Acesso em: 3 mar. 2022.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA EXTRAÇÃO DE CARVÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA - SieceSC. **Carvão mineral**: dados estatísticos: ano: 2.020. Criciúma: ABCM, 2020. Disponível em: http://www.siecesc.com.br/pdf/dados_estatisticos_ano_2020.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

SINGER, P. C.; STUMM, W. Acidic mine drainage: the rate-determining step. **Science**, Washington, v. 167, n. 3921, p. 1121-1123, 20 Feb.1970. DOI: 10.1126/science.167.3921.1121.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE AGENTES TERATOGENÉTICOS - SIAT. **Agentes teratogênicos**. Bahia: UFBA, 2020. Disponível em: <https://siat.ufba.br/agentes-teratog%C3%AAnicos>. Acesso em: 25 maio 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnósticos SNIS 2019**. Brasília: SNIS, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos>. Acesso em: 9 out. 2021.

STANDARD methods for examination of water and wastewater. 19th ed. Washington: American Public Health Association Washington, 2001. 1289 p.

SÜFFERT, T. **Carvão nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 1997. 39 p. (Informe de Recursos Minerais. Série Oportunidades Minerais. Exame Atualizado de Projeto, 21). Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/1546/1/Carv%C3%A3o%20no%20RS%20e%20SC.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2021.

SUMÁRIO MINERAL: 2009. Brasília, DF: DNPM, v. 29, jun. 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2009/view>. Acesso em: 05 jan. 2022.

SUMÁRIO MINERAL: 2010. Brasília, DF: DNPM, v. 30, 2012a. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2010>. Acesso em: 05/01/2022.

SUMÁRIO MINERAL: 2012. Brasília, DF: DNPM, v. 32, 2012b. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2012/view>. Acesso em: 05 jan. 2022.

SUMÁRIO MINERAL: 2017. Brasília, DF: ANM, v. 37, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral_2017. Acesso em: 19 out. 2021.

TEIXEIRA, C. A. S. **Relatório de datações geocronológicas do projeto básico da Região Leste de Santa Catarina e do projeto específico da fluorita**. Porto Alegre: DNPN, 1969. 39 p. (Relatório Interno).

TRAMONTE, V. L. C. G.; CALLOU, K. R. de A.; COZZOLINO, S. M. F. Sódio, cloro e potássio. In: COZZOLINO, S. M. F. (org.). **Biodisponibilidade de Nutrientes**. 4. ed. Barueri: Manole, 2015. Disponível em: <http://www.ava-edu.net/biblioteca/wp-content/uploads/2020/08/Biodisponibilidade-de-Nutriente-Silvia-M.-Franciscato-Cozzolino.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2022.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Reprocessing by the GLCF. 2004. (1, 3, 30) **Arc Second SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Elevation, Reprocessed to GeoTIFF**. College Park, Maryland: The Global Land Cover Facility. Version 1.0.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2011**: U.S. Geological Survey, 2011. 198 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Calculation and evaluation of sediment effect concentrations for the Amphipod *Hyalella Azteca* Midge *Chironomus Riparius***. Chicago: USEPA, Sept. 1996. EPA

905 / R96 / 008. Disponível em: <http://www.cerc.usgs.gov/clearinghouse/data/brdcerc0004.html>. Acesso em: 20 jan. 2021.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Method 3051A – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. Washington: USEPA, 2007. 30p. DOI: <https://doi.org/10.3133/fs20143078>. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf>. Acesso em 10 set. 2015.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/classificacaovegetal.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2021.

VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. da. (org.) **Geodiversidade do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2016. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17126>. Acesso em: 21 jul. 2021.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul: nota explicativa para o mapa geológico em escala 1:1.000.000. **Notas Técnicas**. CECO - UFRGS, Porto Alegre, n. 8, 1995.

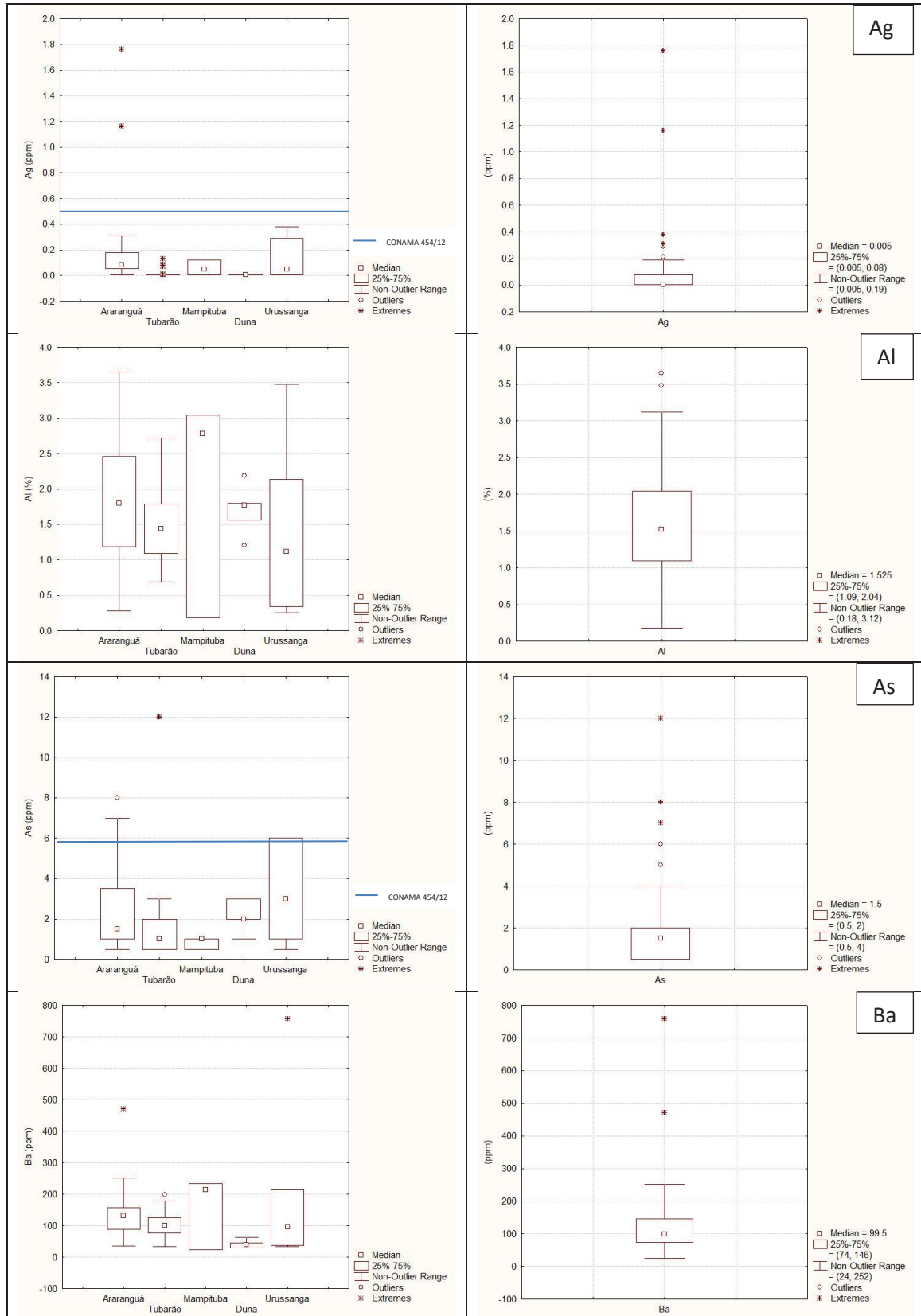
VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2004. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

WILLIAMSON, M. A.; RIMSTID, J. D. The kinetics and electrochemical rate-determining step of aqueous pyrite oxidation. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 58, n. 24, p. 5443-5454, Dec. 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90241-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90241-0).

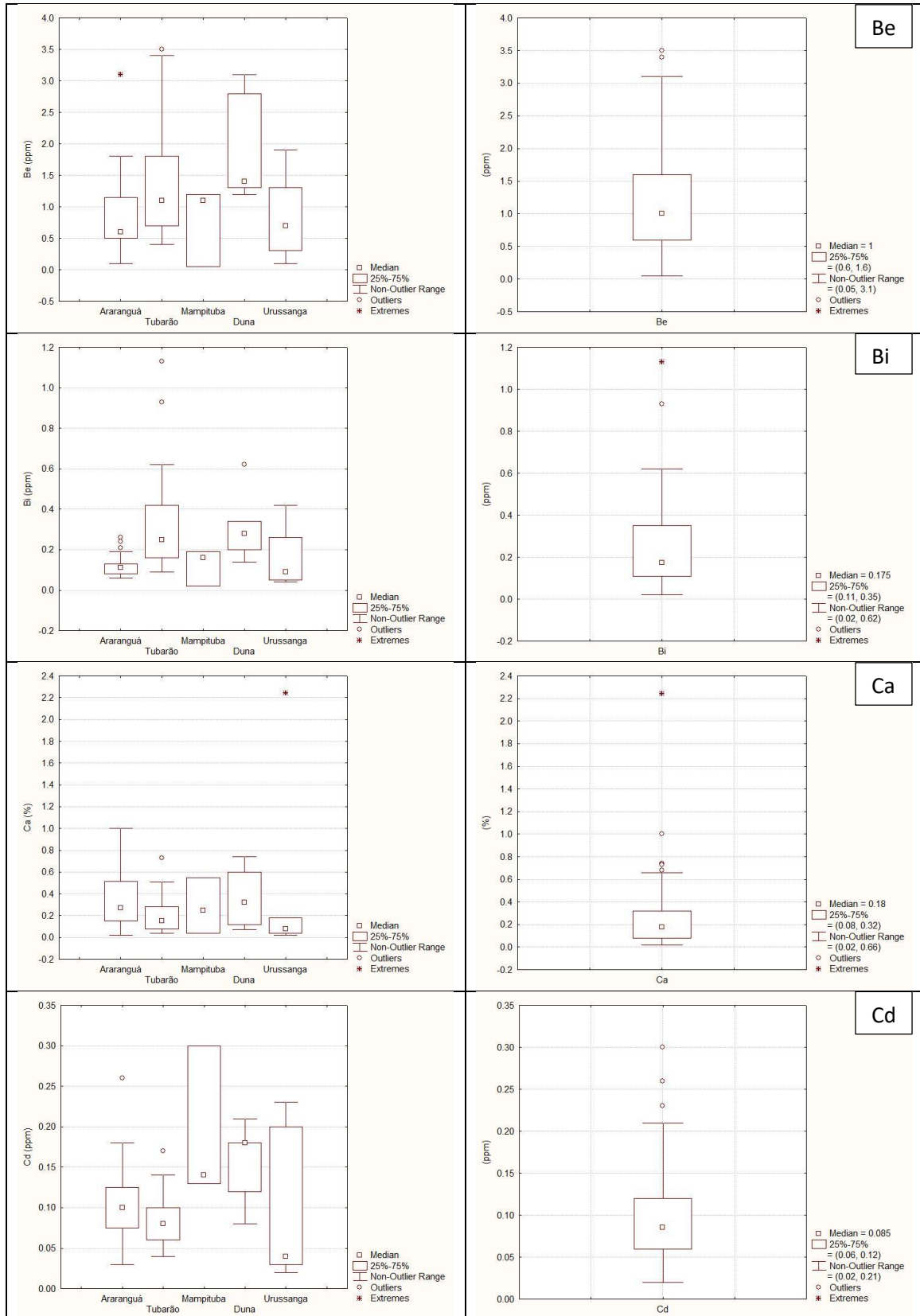
WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for drinking-water quality**. 4th ed. Geneva: WHO, 2011. 564 p.

■ ■ ■ ANEXO I

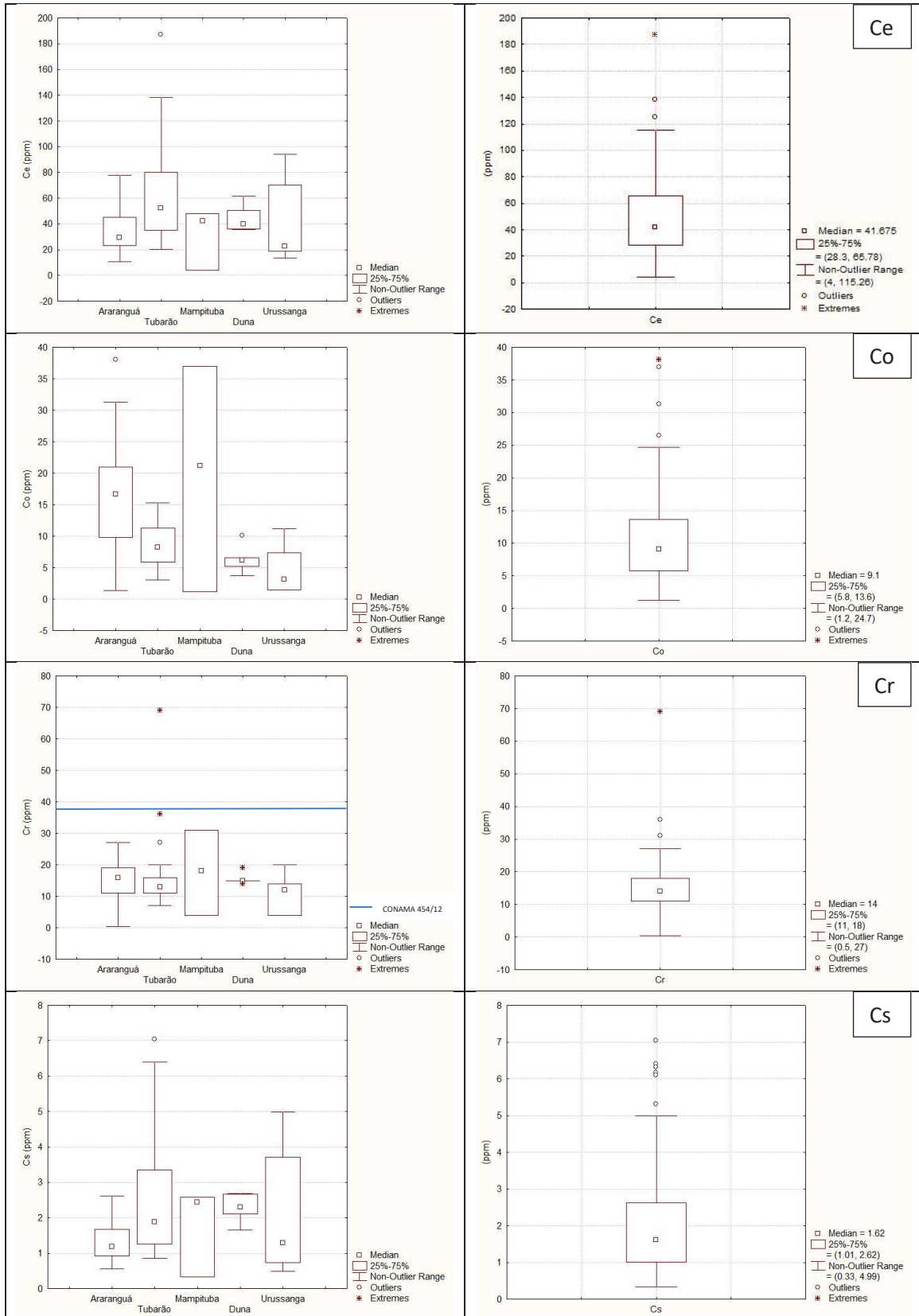
GALERIA BOXPLOTS SEDIMENTO: COMPARATIVO BACIAS X COMPLETO



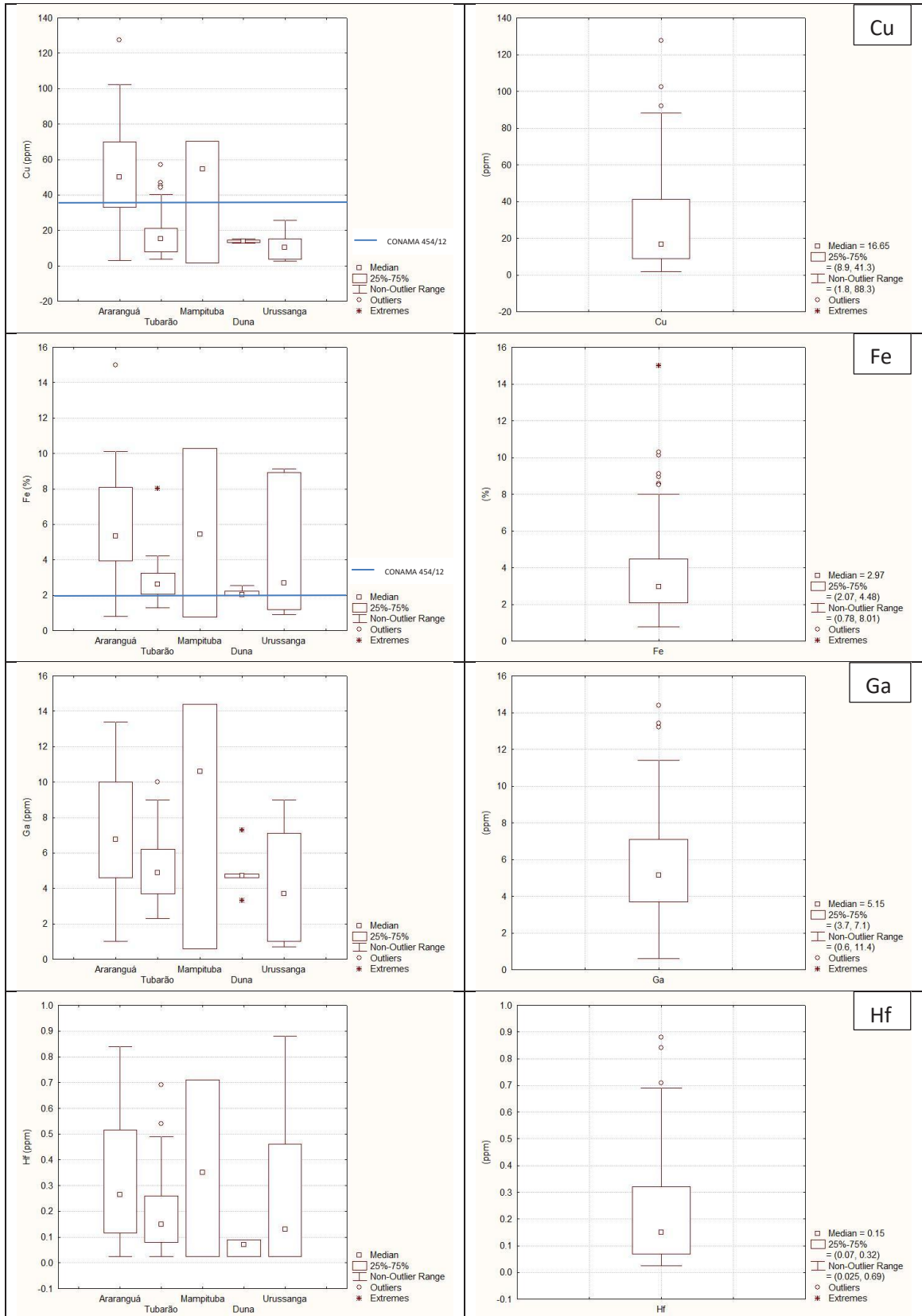
Anexo I



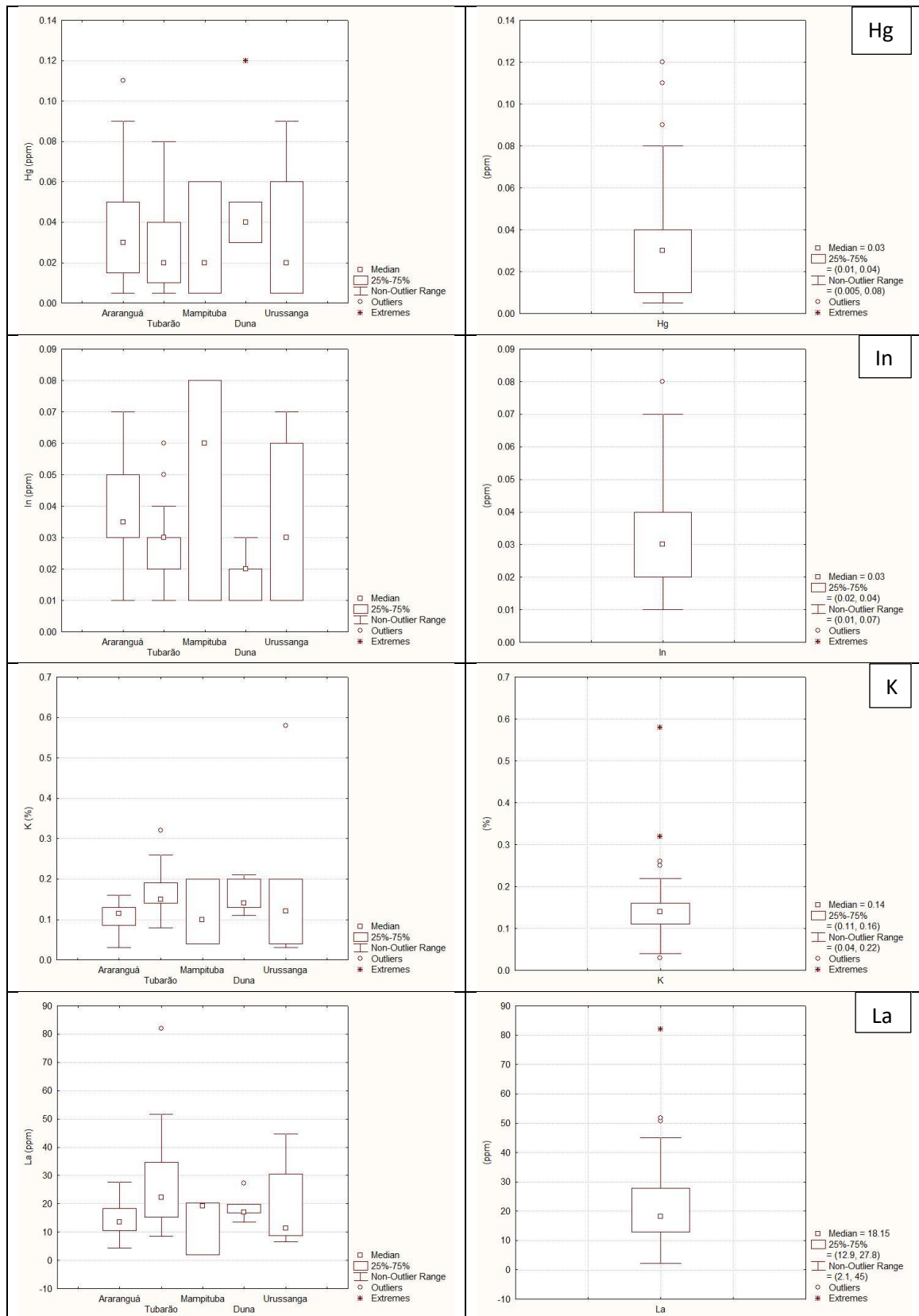
Anexo I



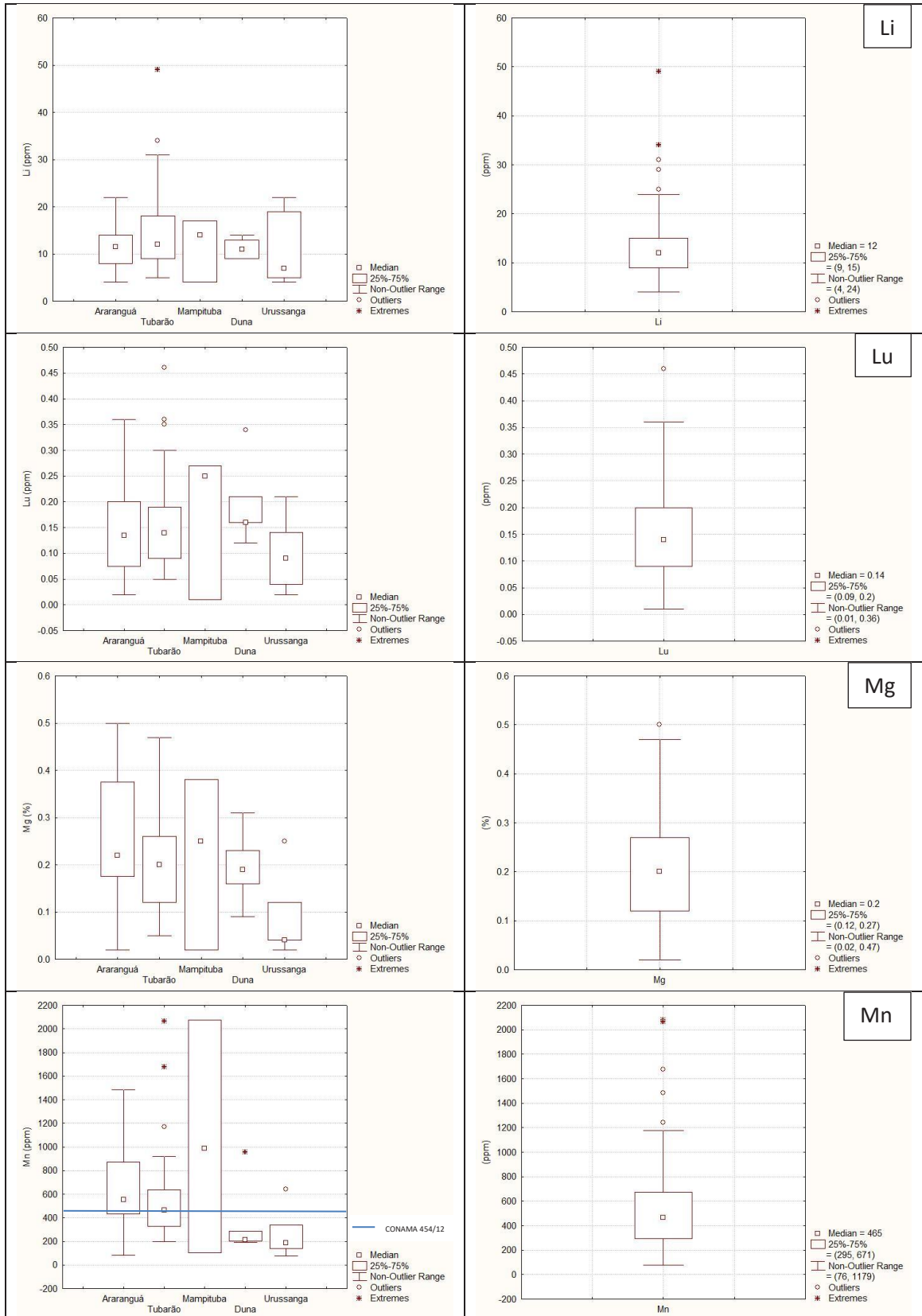
Anexo I



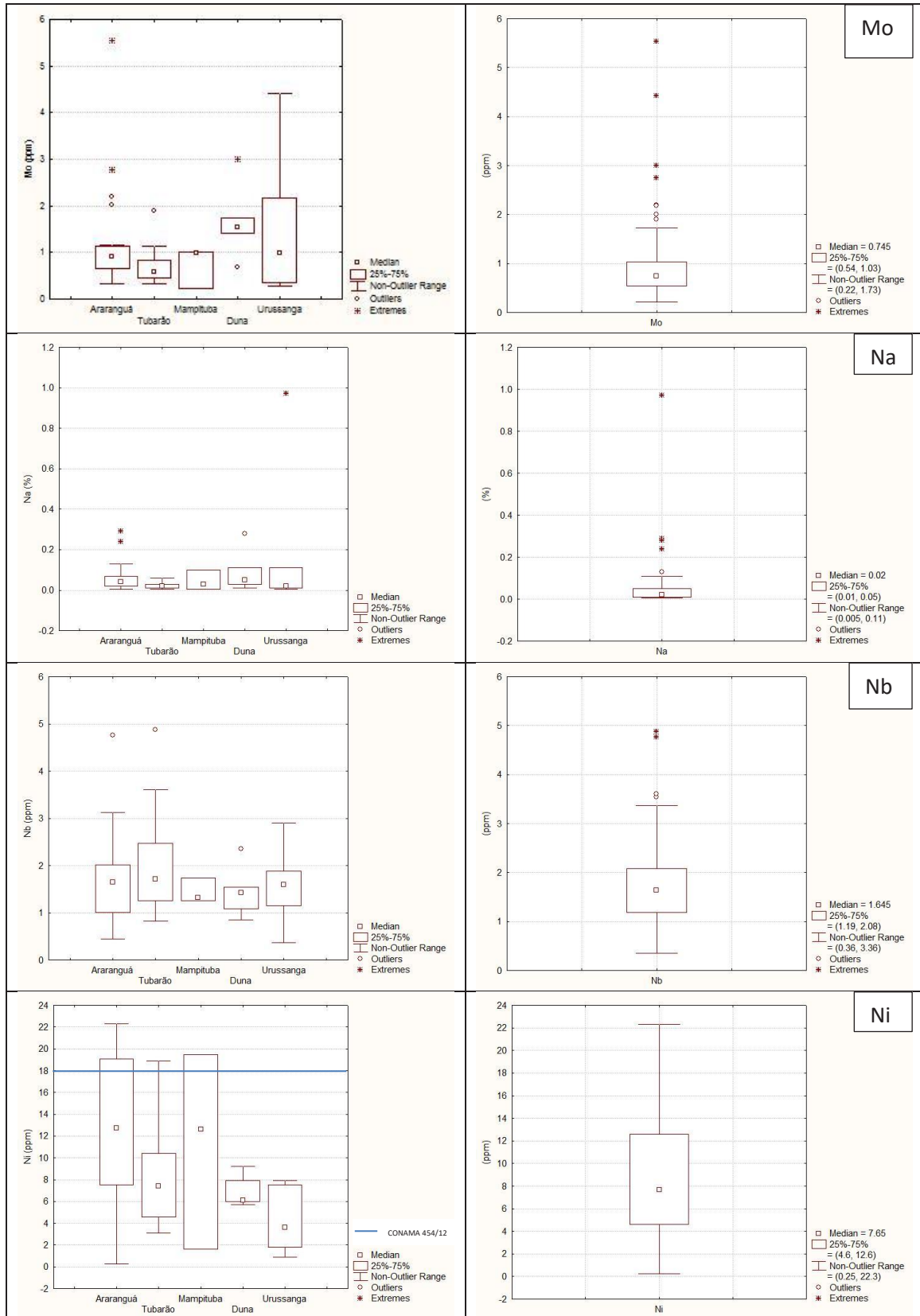
Anexo I



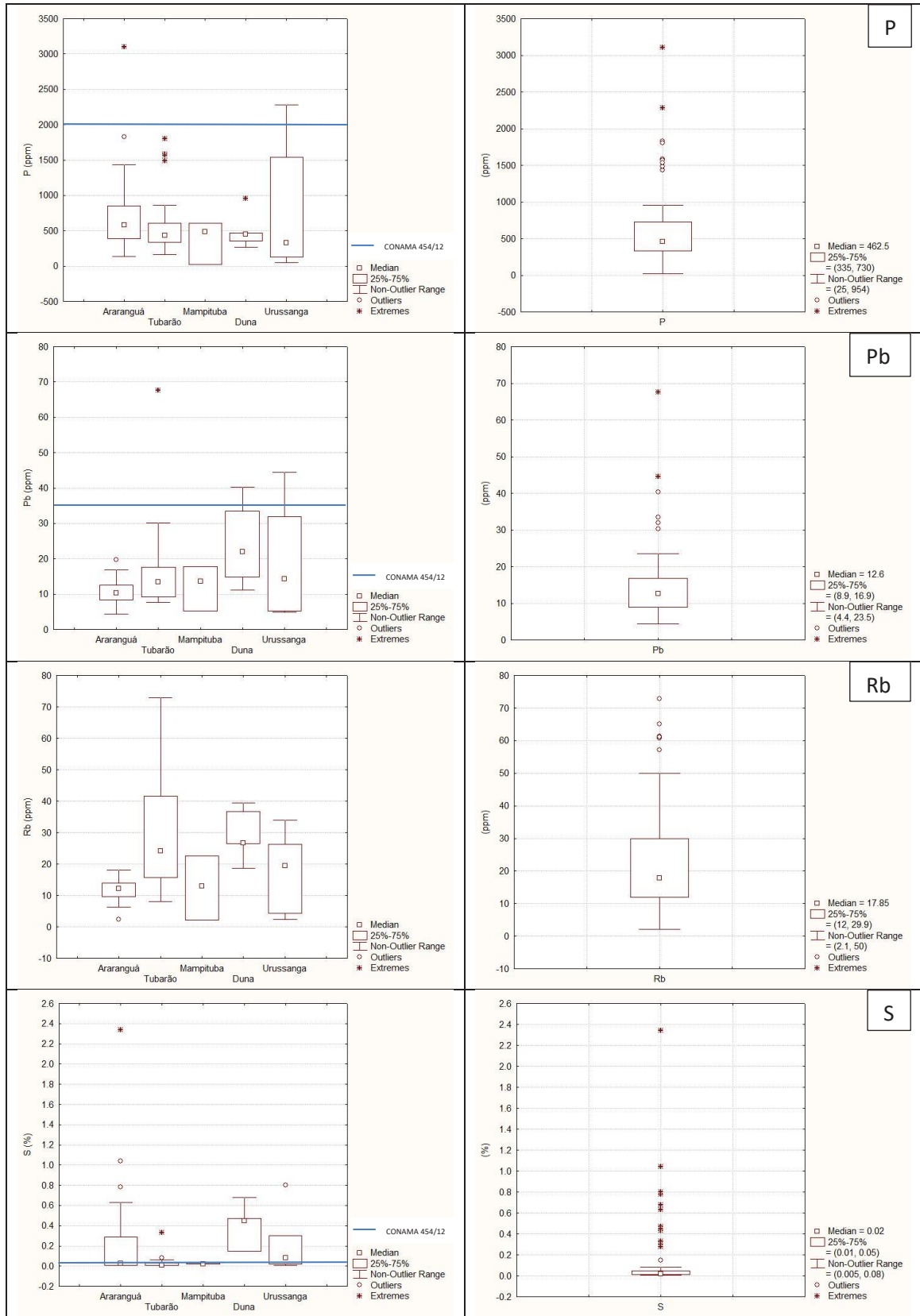
Anexo I



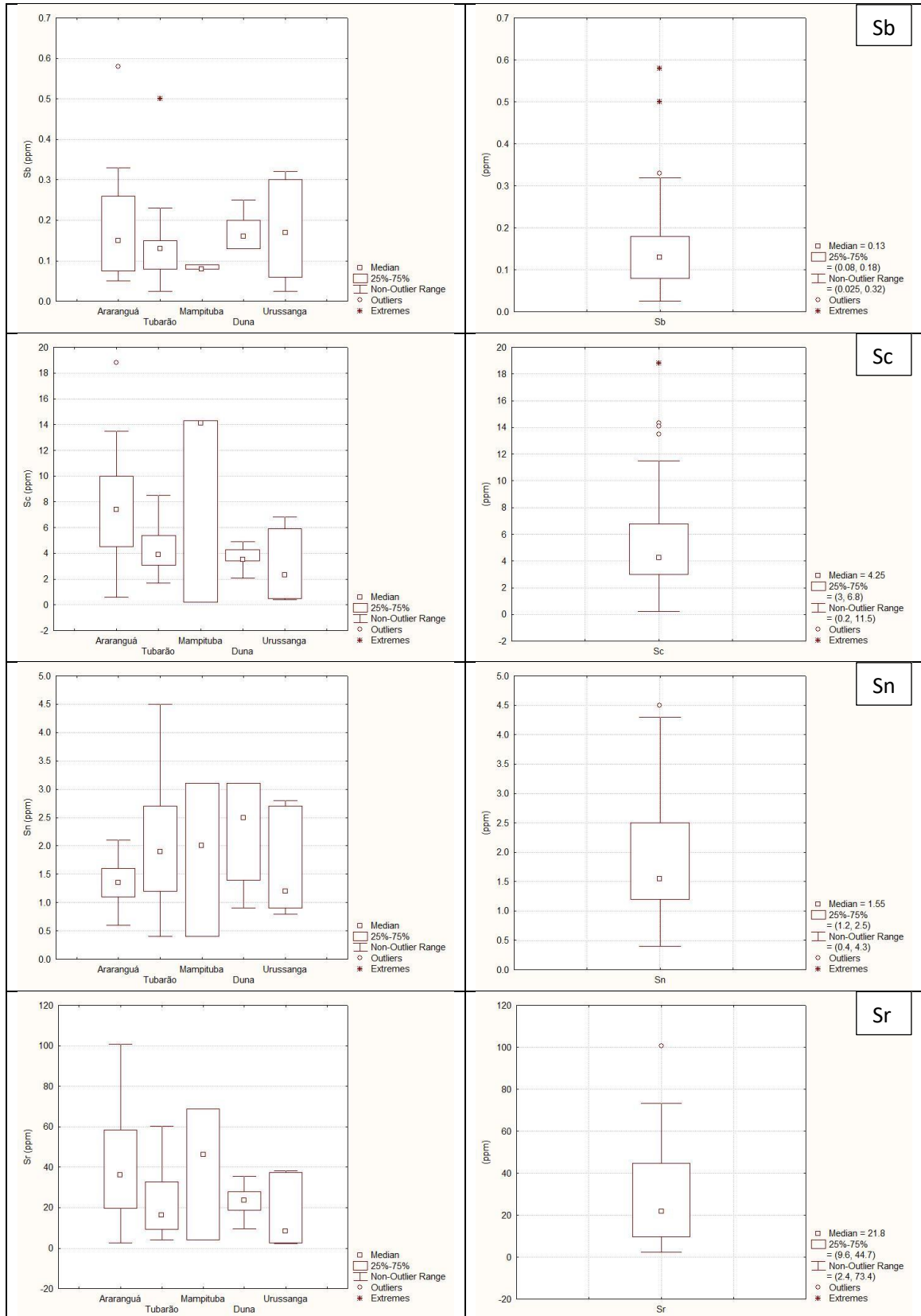
Anexo I



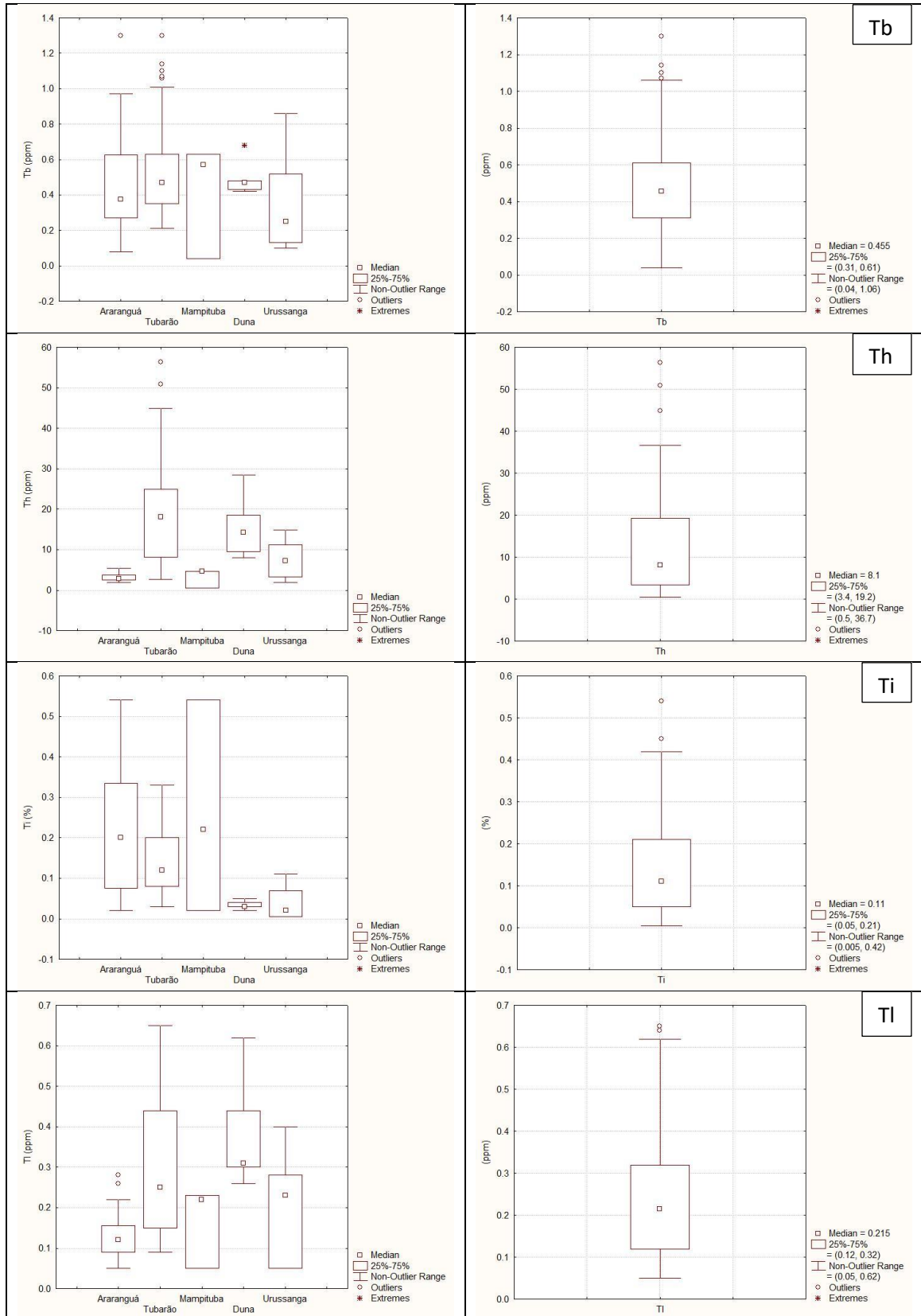
Anexo I



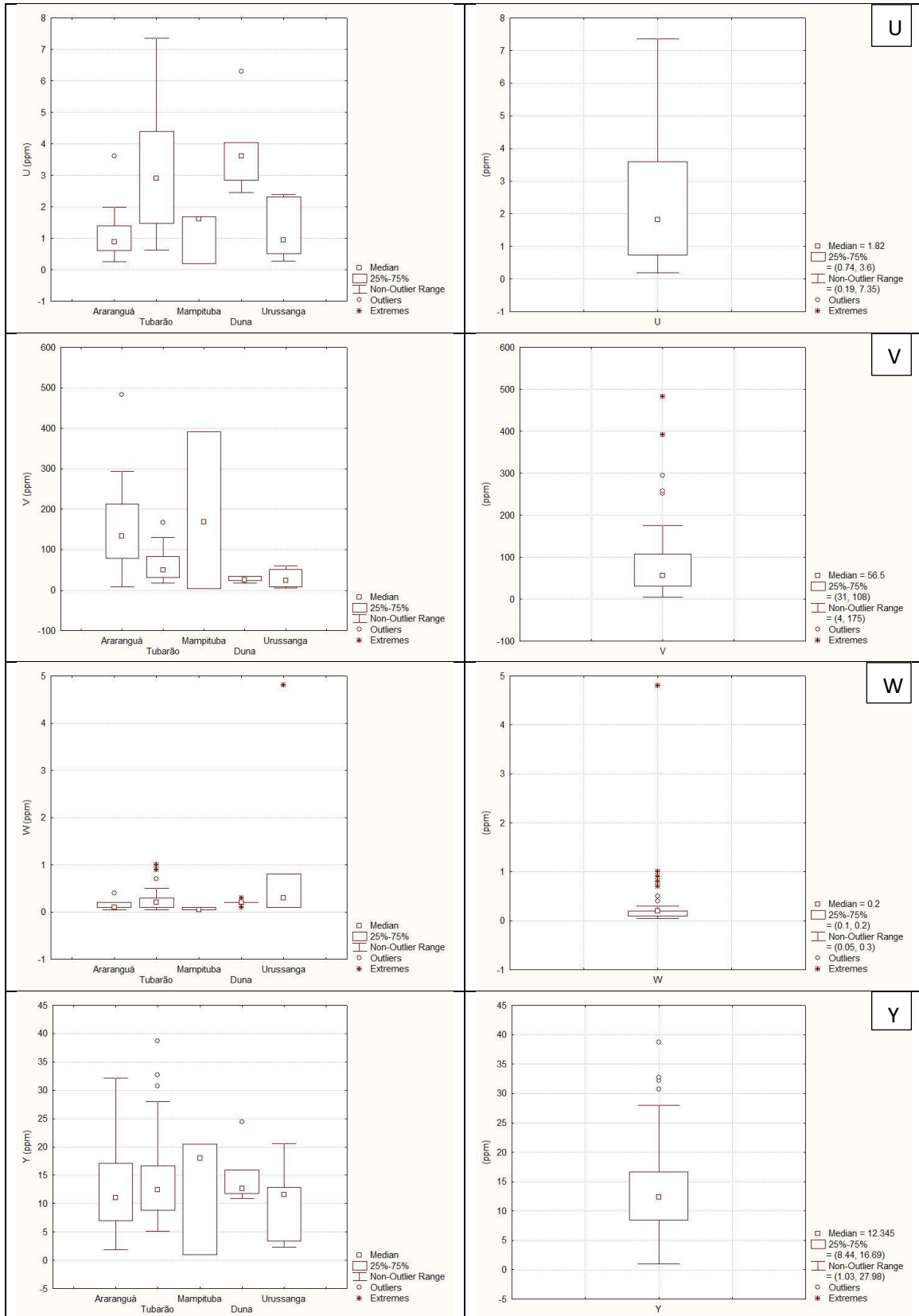
Anexo I



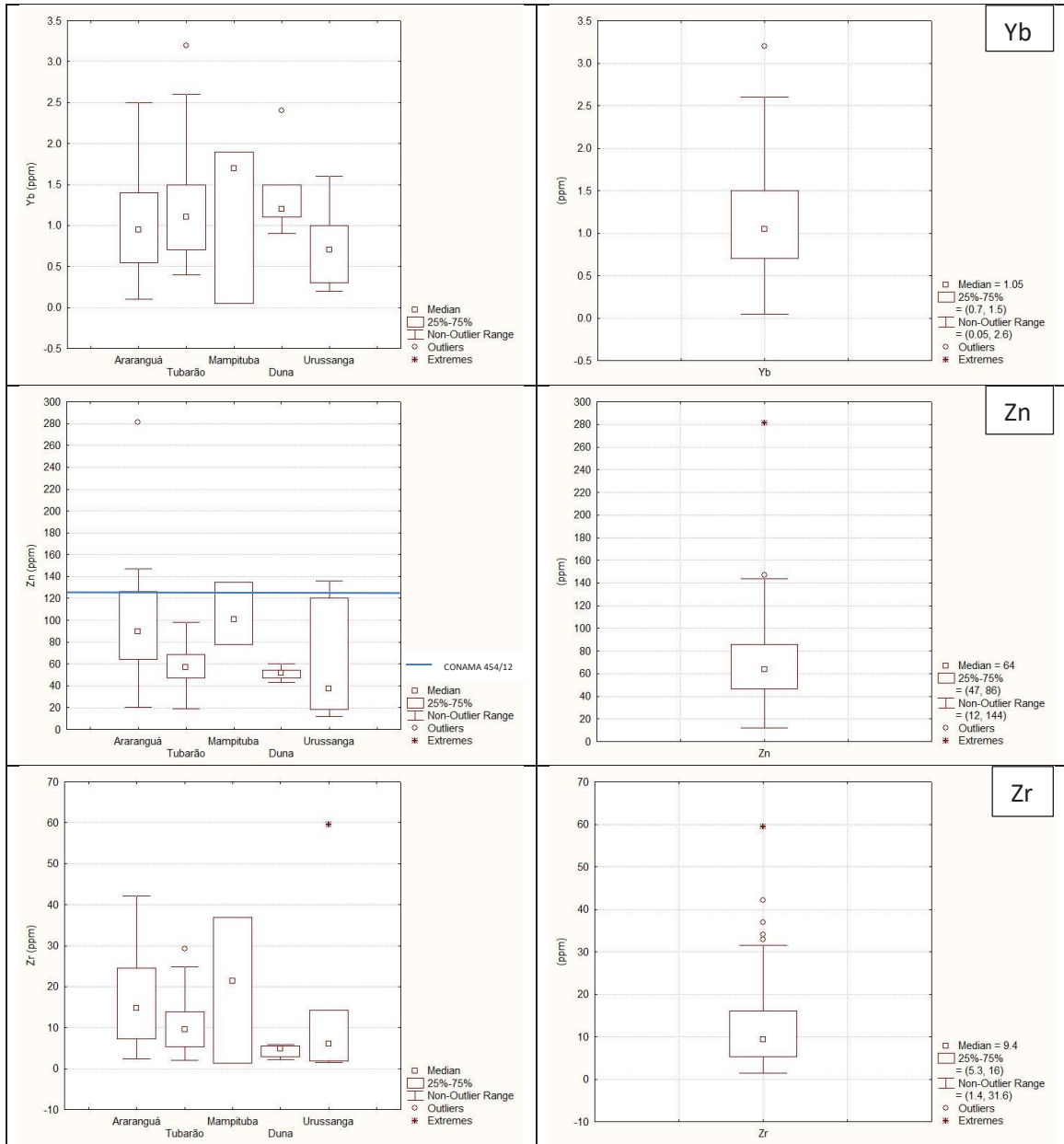
Anexo I



Anexo I



Anexo I





SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

