

**JOSÉ LUIZ MARMOS**

**MONITORAMENTO HIDROGEOQUÍMICO NAS BACIAS DO  
RIO CAUAMÉ E DOS IGARAPÉS ÁGUA BOA E ÁGUA BOA DE  
CIMA, MUNICÍPIOS DE BOA VISTA E ALTO ALEGRE (RR)**

**MANAUS**

**2002**

**JOSÉ LUIZ MARMOS**

**MONITORAMENTO HIDROGEOQUÍMICO NAS BACIAS DO  
RIO CAUAMÉ E DOS IGARAPÉS ÁGUA BOA E ÁGUA BOA DE  
CIMA, MUNICÍPIOS DE BOA VISTA E ALTO ALEGRE (RR)**

Monografia de Especialização em Avaliação de Impacto Ambiental  
Centro Universitário Luterano de Manaus - CEULM  
Comunidade Evangélica Luterana “São Paulo”

Orientador: Prof. MSc. Daniel Borges Nava

MANAUS  
2002

## **AGRADECIMENTOS**

À Superintendência Regional de Manaus da CPRM, em especial ao seu superintendente Fernando Pereira de Carvalho, pelo apoio neste trabalho.

Ao colega geólogo Eric dos Santos Araújo, pelas valiosas dicas e sugestões.

A todos os colegas da CRPM de Manaus que, de uma forma ou outra, colaboraram para o sucesso desta conquista.

## **DEDICATÓRIA**

Para Marta, Renata e  
Guilherme, pela paciência e  
compreensão.

## RESUMO

A maior parte da área drenada pelas bacias do rio Cauamé e dos igarapés Água Boa e Água Boa de Cima, que abrangem extensões dos municípios de Boa Vista e Alto Alegre (RR), é formada por terrenos constituídos por sedimentos arenosos pouco consolidados capeados por uma cobertura vegetal incipiente (savanas). Essas características, aliadas aos elevados índices pluviométricos regionais, conduzem a uma considerável fragilidade natural aos processos erosivos. Além disso, a região abriga o maior contingente populacional do Estado de Roraima, contém diversos balneários naturais, utilizados como área de lazer, e está sendo alvo de projetos de expansão agropecuária. Por esses fatores tais bacias foram escolhidas para objeto deste estudo, onde se promove um exercício de monitoramento hidrogeoquímico, desenvolvido a partir da coleta e análises químicas multi-elementares de amostras de água e sedimentos de fundo nas principais drenagens, acompanhadas de medições de campo dos principais parâmetros físico-químicos das águas superficiais: pH, oxigênio dissolvido, turbidez e condutividade. Os trabalhos de campo foram conduzidos em duas etapas: a primeira no período de cheia dos rios da região, e a segunda no período de vazante, tendo sido coletadas amostras nos mesmos locais nas duas etapas, com o objetivo de caracterizar a variação sazonal dos elementos químicos.

Os resultados analíticos permitiram a elaboração de mapas de controle da distribuição regional dos principais elementos químicos presentes nas águas e nos sedimentos. Foi feita a correlação dos resultados obtidos com os parâmetros medidos no campo e com os períodos hidrológicos, de modo a se obter um quadro da situação atual, antes da instalação de novas atividades econômicas na região, o qual poderá ser muito útil para futuras comparações. Algumas anomalias detectadas, com destaque para as de chumbo e alumínio, sugerem que se faça um monitoramento constante da qualidade das águas dessas bacias, notadamente na foz do rio Cauamé, situada logo a montante do ponto onde é captada água no rio Branco para o abastecimento doméstico de Boa Vista.

Palavras-chave: monitoramento hidrogeoquímico; análises químicas multi-elementares; qualidade das águas; variação sazonal e regional.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>1 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Fase de Campo .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Fase de Laboratório .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Tratamento dos Dados .....</b>	<b>15</b>
<b>2 RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Sedimentos de Corrente .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1 Período de Cheia .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Período de Vazante .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Água .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.1 Período de Cheia .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2 Período de Vazante .....</b>	<b>26</b>
<b>3 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Aspectos Geológicos .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.1 Sedimentos de Corrente .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.2 Água .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2 Variação Sazonal dos Elementos e Correlação com pH e OD das Águas .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 Aspectos Ambientais .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.1 Comportamento dos Elementos/Íons Seleccionados e sua Interpretação ..</b>	<b>44</b>
<b>3.4 Classificação das Águas das Drenagens Amostradas .....</b>	<b>48</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>OBRAS CONSULTADAS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>55</b>

## **LISTA DE ANEXOS**

### **ANEXO A - Resultados Analíticos e Parâmetros Físico-Químicos Medidos**

### **ANEXO B – Mapas de Distribuição Regional dos Elementos Químicos Selecionados**

ANEXO B1 – Mapa da distribuição do zinco em sedimentos de corrente na cheia

ANEXO B2 – Mapa da distribuição do cádmio em sedimentos de corrente na cheia

ANEXO B3 – Mapa da distribuição do vanádio em sedimentos de corrente na cheia

ANEXO B4 – Mapa da distribuição do alumínio em sedimentos de corrente na cheia

ANEXO B5 – Mapa da distribuição do cromo em sedimentos de corrente na vazante

ANEXO B6 – Mapa da distribuição do bário em sedimentos de corrente na vazante

ANEXO B7 – Mapa da distribuição do magnésio em sedimentos de corrente na vazante

ANEXO B8 – Mapa da distribuição do cálcio em água superficial na cheia

ANEXO B9 – Mapa da distribuição do bário em água superficial na vazante

ANEXO B10 – Mapa da distribuição do chumbo em água superficial na vazante

ANEXO B11 – Mapa da distribuição do zinco em água superficial na vazante

ANEXO B12 – Mapa da distribuição do chumbo em água superficial na cheia

ANEXO B13 – Mapa da distribuição do alumínio em água superficial na vazante

ANEXO B14 – Mapa da distribuição do cloro em água superficial na cheia

ANEXO B15 – Mapa da distribuição de sulfato em água superficial na vazante

### **ANEXO C – Mapa de Amostragem Geoquímica**

## INTRODUÇÃO

O rio Cauamé e os igarapés Água Boa e Água Boa de Cima são afluentes da margem direita do rio Branco que deságuam nas proximidades da cidade de Boa Vista, capital do Estado de Roraima. Suas bacias hidrográficas, em conjunto, abrangem uma área de cerca de 4.000 km<sup>2</sup> entre os municípios de Boa Vista e Alto Alegre, tendo sido alvos, no âmbito do Zoneamento Ecológico-Econômico de Roraima, executado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2002), de duas campanhas de amostragem geoquímica, incluindo coleta de água superficial e sedimentos de corrente, acompanhadas de medições de campo de parâmetros de qualidade das águas (pH, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez e temperatura). São essas amostras que serviram de base para os estudos desenvolvidos neste projeto, os quais consistem na apresentação, interpretação e discussão dos resultados analíticos obtidos a partir das duas campanhas realizadas.

A área estudada abriga o maior núcleo populacional do Estado de Roraima, sua capital Boa Vista, e contém diversos balneários naturais, além de ser objeto, no planejamento estadual, de projetos de expansão agropecuária a serem implantados. Seus terrenos mostram uma considerável fragilidade natural aos processos erosivos, condicionada, principalmente, ao substrato litológico (sedimentos arenosos pouco consolidados) e à cobertura vegetal incipiente (savanas). Por isso, as bacias hidrográficas do rio Cauamé e dos igarapés Água Boa e Água Boa de Cima foram selecionadas para um estudo de monitoramento da qualidade ambiental, através do acompanhamento de suas características hidrogeoquímicas, com o intuito de se prevenir futuros impactos ao ambiente e, conseqüentemente, à saúde dos seres vivos.



Ressalta-se ainda que o local de captação da água a ser tratada e fornecida aos moradores da capital situa-se no rio Branco, a poucas centenas de metros a jusante da desembocadura do rio Cauamé, e qualquer contaminação química nas águas deste rio, não monitorada, comprometerá a saúde da população.

Sabe-se que determinados elementos químicos são essenciais à saúde dos seres vivos, fazendo parte de complexos sistemas enzimáticos, como o cobre, zinco, cromo e selênio, porém, são considerados tóxicos quando presentes em altas concentrações no ambiente. Outros elementos, como o mercúrio, cádmio, arsênio e chumbo, não são essenciais aos seres vivos e são muito tóxicos quando presentes, mesmo em baixas concentrações, no meio ambiente, porque são cumulativos no organismo dos animais. Através de mapas geoquímicos pode-se indicar áreas com excesso de alguns desses elementos, potencialmente tóxicas, para futuras investigações.

Regiões com altas concentrações de um dado elemento, como o cádmio, podem ajudar na delimitação de depósitos minerais, de locais com rejeito industrial e/ou urbano ou com resíduos de pesticidas e/ou fertilizantes, como também auxiliar a selecionar alvos para estudos específicos relacionados à saúde pública. Analogamente, regiões com baixas concentrações de um elemento podem sugerir a ocorrência de algum tipo específico de rocha, caracterizada pela depleção desse elemento, ou carência de nutrientes em áreas agrícolas, ou até mesmo a causa de alguma doença endêmica. Assim, os mapas geoquímicos podem ser bastante úteis para diversas instituições, públicas ou não, ligadas aos setores de saúde pública, saneamento básico, planejamento urbano, agricultura e monitoramento ambiental (CUNHA et al., 2000).

A disposição de efluentes industriais contendo metais pesados nos corpos d'água é o principal fator antrópico responsável pela poluição em vários ambientes aquáticos. A natureza geoquímica das rochas e, conseqüentemente, do solo é outro fator causal de contaminação por metais, principalmente em águas subterrâneas. Metais pesados em água persistem por mais tempo que poluentes e percolam da superfície para o lençol freático (PATHAK et al., 1994).

As fontes de contaminação antrópica nas águas são normalmente associadas a resíduos domésticos e industriais e ao chorume oriundo de depósitos de lixo que

contaminam os lençóis freáticos com microorganismos patogênicos. Além de promoverem a mobilização de metais contidos no solo, como alumínio, ferro e manganês, essas águas também são potenciais fontes de nitrato e outras substâncias orgânicas extremamente tóxicas ao ser humano e ao ambiente (FREITAS et al. 2001).

Com o enfoque acima delineado, foram promovidas, neste projeto, análises químicas multi-elementares em materiais coletados (água e sedimentos de fundo de canal) nas principais drenagens que compõem as bacias estudadas. Além disso, em cada ponto de amostragem, foram coletados os dados de pH, temperatura, turbidez, condutividade e oxigênio dissolvido nas águas. Os resultados analíticos permitiram a elaboração de mapas de controle da distribuição regional dos principais elementos químicos presentes nas águas correntes e nos sedimentos, bem como a verificação de sua relação com os parâmetros físico-químicos medidos no campo e com os períodos hidrológicos, de modo a se obter um quadro da situação atual, antes da instalação de novas atividades econômicas na região, o qual poderá ser muito útil para futuras comparações.

## **1 MATERIAIS E MÉTODOS**

Previamente às amostragens, foi elaborado um mapa-base das bacias hidrográficas a serem estudadas, na escala 1:100.000, que serviu de orientação para os trabalhos de campo, a partir da integração parcial das folhas NA.20-X-D-I (Maloca Sucuba), NA.20-X-D-II (Boa Vista), NA.20-X-B-IV (Rio Urariqüera) e NA.20-X-B-V (Maloca Serra da Moça). Este mapa-base, na forma de um retângulo, mostra como limites aproximados as coordenadas geográficas 2<sup>o</sup>36'N, 3<sup>o</sup>18'N, 60<sup>o</sup>30'W e 61<sup>o</sup>23'W. Sobre este mapa, após análise da distribuição e extensão das principais drenagens, foram locados, com suas respectivas identificações, os pontos de amostragem (vide mapa de amostragem geoquímica, nos anexos).

### **1.1 Fase de Campo**

Os trabalhos de campo foram realizados em duas etapas: a primeira, no período de cheia dos rios da região (julho de 2001), constou da coleta de 22 amostras de água corrente, cada uma delas divididas em duas alíquotas, e 22 amostras de sedimento de fundo de canal; na segunda etapa, efetuada no período de vazante (janeiro de 2002), foram coletadas amostras nos mesmos locais da primeira fase, com vistas ao estudo da variação sazonal dos elementos químicos, acrescentando-se duas novas amostragens, uma delas, somente das águas do rio Branco, na entrada da captação da estação de tratamento de água de Boa Vista. Ademais, nas duas campanhas, também foram efetuadas amostragens no rio Urariqüera, nas duas margens e no centro do canal (amostras JM-22A, B e C), no povoado de Passarão, devido à disponibilidade, neste local, de análises bacteriológicas recentes e à existência de uma estação fluviométrica monitorada pela CPRM.

O procedimento metodológico adotado nas duas campanhas de amostragem geoquímica pode ser assim resumido:

- Uma vez acessado o ponto de amostragem nos cursos d'água eram coletadas de seu canal principal, com o auxílio de seringas descartáveis, após passar por um processo de filtragem por meio de membrana ultrafina (retenção do material em suspensão), duas amostras de água com cerca de 150 ml cada, uma para análise dos cátions e outra para análise dos ânions presentes.
- Para preservação dos cátions solúveis nas amostras, as alíquotas correspondentes eram sempre acidificadas com HNO<sub>3</sub> concentrado (1 gota para cada 5 ml de água) antes de sua identificação e lacração final. As amostras destinadas à análise dos ânions permaneceram refrigeradas até o momento da análise.
- Após as coletas de água eram efetuadas as coletas dos sedimentos de corrente em diversos pontos do leito da drenagem, estabelecendo uma amostra composta. Este material, após sua descrição, era acondicionado em embalagens plásticas, devidamente etiquetadas.
- Cada ponto de coleta foi descrito por uma ficha de campo de amostragem geoquímica, constando sua exata localização através de aparelho GPS e principais características da drenagem amostrada.
- Simultaneamente à coleta das amostras foram medidos, em cada ponto, diversos parâmetros físico-químicos de qualidade das águas: pH, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez e temperatura. Na primeira etapa foi utilizado o equipamento da marca CHECKMATE, que mede os parâmetros em amostra previamente coletada. Na segunda fase foi utilizado o aparelho da marca Horiba U-8 digital, o qual determina os parâmetros diretamente nos corpos d'água.

## **1.2 Fase de Laboratório**

As amostras de água coletadas nas duas fases foram analisadas no Laboratório de Análises Mineraias – LAMIN, da CPRM, na cidade do Rio de Janeiro, para 26 cátions, via ICP/AES (Espectrometria de Emissão com Fonte de Plasma), e para sete ânions, através de cromatografia (Quadro 1).

Quadro 1  
Elementos analisados nas amostras de água coletadas nas duas fases e respectivos limites de determinação dos métodos analíticos

Elementos	Limite de Determinação (mg/L)	Métodos
Al, Ca	0,1	ICP-AES
As, Cu, Mg, Sn, Si, W	0,01	
Ba, B, Co, Fe, Ni	0,002	
Be, Cd, Li, Sr, Zn, Mn	0,001	
Mo, Pb, Sc	0,005	
Cr, Se, V	0,02	
Ti	0,05	
F <sup>-</sup>	0,01	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,1	
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,2	
Br <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup>	0,05	

Os sedimentos de corrente coletados na primeira fase foram analisados no LAMIN, tendo sido determinadas as concentrações de 11 óxidos maiores e 29 elementos traços, além da perda ao fogo e matéria orgânica, sendo utilizados os métodos ICP/AES, absorção atômica, colorimetria, volumetria e fluorescência de raios X. Os sedimentos de corrente coletados na segunda fase foram enviados ao Laboratório Bondar Clegg, no Canadá, tendo sido analisadas as concentrações de 35 elementos químicos pelo método ICP/AES (Quadro 2).

Todos os resultados analíticos das amostras coletadas, assim como os parâmetros físico-químicos medidos nas águas superficiais, são apresentados no Anexo A.

Quadro 2  
Elementos analisados nos sedimentos de corrente coletados nas duas fases e respectivos limites de determinação dos métodos analíticos.

<b>Análises realizadas no LAMIN (1ª Fase)</b>		
<b>Elementos/Óxidos</b>	<b>Limite de Determinação</b>	<b>Métodos Analíticos</b>
SiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05%	Colorimetria
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, CaO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, TiO <sub>2</sub> , MnO	0,05%	Absorção Atômica
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO	0,05%	Volumetria
Zr, Nb, Rb	5 ppm	Fluorescência de raios-X
Be, Cd, Co, Li, Sr, Y, Zn	0,1 ppm	ICP/AES
Mo, Ni	0,2 ppm	
As, B, Ba, Pb, Sc, Sn, W	0,5 ppm	
Cr, Cu, La, V	1 ppm	
Mn	2 ppm	
P	5 ppm	
Ti	10 ppm	
Al, Ca, Mg	0,01 %	
<b>Análises realizadas no Laboratório Bondar Clegg (2ª Fase)</b>		
<b>Elementos</b>	<b>Limite de Determinação</b>	<b>Método Analítico</b>
Fe, Al, Mg, Ca, Na, K, Ti	0,01%	ICP/AES
Ag, Cd	0,2 ppm	
Cu, Zn, Mo, Ni, Co, Mn, Ba, Cr, V, La, Sr, Y, Li, Nb, Zr	1 ppm	
Pb, Ga	2 ppm	
Bi, As, Sb, Sc	5 ppm	
Te, Ta	10 ppm	
Sn, W	20 ppm	

### 1.3 Tratamento dos Dados

O tratamento estatístico e o estabelecimento das matrizes de correlação para as amostras coletadas foram realizados através do *software* OASIS 4.3. As amostras coletadas nos rios Urariqüera e Branco foram desconsideradas, em função das áreas de captação dos mesmos serem muito grandes, incompatíveis com a abrangência deste estudo.

A primeira determinação no tratamento dos dados corresponde à obtenção das matrizes de correlação dos elementos químicos analisados, a partir das quais são definidas as associações geoquímicas (afinidades no comportamento químico entre

elementos). O segundo passo é o cálculo dos parâmetros estatísticos (média aritmética, desvio-padrão e anomalias de primeira, segunda e terceira ordem) para cada elemento químico. As anomalias de primeira ordem são as mais significativas e correspondem aos valores maiores que a somatória da média aritmética ( $X$ ) com três vezes o desvio padrão ( $S$ ), ou seja, valores anômalos de primeira ordem são aqueles maiores que  $X+3S$ . As anomalias de segunda ordem correspondem aos valores que se situam entre  $X+3S$  e  $X+2S$ . Por sua vez, as anomalias de terceira ordem são as mais fracas, sendo representadas pelos valores situados entre  $X+2S$  e  $X+S$ . Valores abaixo de  $X+S$  são considerados normais (*background*) para o elemento na região estudada.

Para a confecção dos mapas de distribuição regional dos elementos é utilizado o *software Mapping and Processing System* (MPS), associado a um *software* de modelamento, ambos desenvolvidos pela empresa canadense GEOSOFT. São as associações geoquímicas e os parâmetros estatísticos que servem de base para a execução desses mapas. Os mapas elaborados para este estudo são apresentados no Anexo B, sendo feitas várias referências aos mesmos ao longo dos itens seguintes.

Uma análise complementar dos dados, com vistas ao estudo da variação sazonal dos elementos químicos, foi feita com o auxílio do *software Statistica*, nos módulos teste t, regressão múltipla e análise de correspondência.

## **2 RESULTADOS OBTIDOS**

De posse de todos os resultados, foram definidas as mais significativas associações geoquímicas a partir das matrizes de correlação das concentrações dos elementos químicos analisados. Para melhor entendimento, a apresentação dos resultados será feita de acordo com o tipo de material amostrado, sedimentos de corrente e água, e respectivos períodos de amostragem (cheia e vazante).

### **2.1 Sedimentos de Corrente**

#### **2.1.1 Período de Cheia**

O laboratório LAMIN entregou os resultados analíticos das amostras de sedimentos coletados na cheia divididos entre elementos traços e óxidos maiores (Quadro 1 e Anexo A). Desta forma, neste item serão apresentadas duas matrizes de correlação (elementos traços e óxidos), visualizadas nas figuras 1 e 2. Os elementos Al, Ca, Mg, Ti e P, além de terem sido analisados como elementos traços, também foram analisados como óxidos maiores e serão correlacionados com outros óxidos para estabelecer suas associações geoquímicas.

Através da matriz de correlação dos resultados analíticos correspondentes aos elementos traços foram definidas cinco associações geoquímicas: Li-Co-Pb-Mn; Ba-Sr; Cd-Zn; Cr-V-Sc-Cu-Ni e La-Y (Figura 1). A correlação mais forte observada ocorre entre os elementos Ba e Sr, com valor de 0,96.



	Al	B	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	La	Li	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Yt	Zn
Al		-0.26	0.47	0.52	0.27	0.39	0.50	0.62	0.17	0.54	0.37	0.49	-0.12	0.26	0.66	0.33	0.43	0.47	0.02	0.52	0.26	0.35
B	-0.26		-0.29	-0.18	-0.33	-0.24	-0.37	-0.39	-0.34	-0.32	-0.35	-0.19	-0.04	-0.29	-0.23	-0.36	-0.22	-0.29	-0.34	-0.39	-0.31	-0.32
Ba	0.47	-0.29		0.71	0.72	0.77	0.53	0.91	0.62	0.51	0.78	0.75	-0.16	0.70	0.42	0.41	0.69	0.96	0.26	0.71	0.81	0.79
Ca	0.52	-0.18	0.71		0.16	0.51	0.22	0.64	0.07	0.35	0.40	0.83	-0.31	0.24	0.04	0.03	0.57	0.58	-0.06	0.40	0.23	0.30
Cd	0.27	-0.33	0.72	0.16		0.58	0.67	0.71	0.73	0.39	0.70	0.32	-0.18	0.59	0.44	0.54	0.69	0.79	0.41	0.85	0.87	0.82
Co	0.39	-0.24	0.77	0.51	0.58		0.72	0.82	0.52	0.82	0.94	0.84	-0.17	0.79	0.26	0.65	0.66	0.70	0.58	0.71	0.61	0.87
Cr	0.50	-0.37	0.53	0.22	0.67	0.72		0.65	0.49	0.75	0.77	0.55	0.02	0.67	0.36	0.73	0.68	0.53	0.48	0.79	0.52	0.71
Cu	0.62	-0.39	0.91	0.64	0.71	0.82	0.65		0.53	0.61	0.81	0.72	-0.11	0.73	0.53	0.46	0.75	0.88	0.39	0.83	0.73	0.86
La	0.17	-0.34	0.62	0.07	0.73	0.52	0.49	0.53		0.39	0.64	0.29	-0.07	0.60	0.55	0.65	0.35	0.69	0.44	0.46	0.91	0.67
Li	0.54	-0.32	0.51	0.35	0.39	0.82	0.75	0.61	0.39		0.83	0.73	-0.14	0.63	0.28	0.79	0.46	0.46	0.38	0.54	0.39	0.65
Mg	0.37	-0.35	0.78	0.40	0.70	0.94	0.77	0.81	0.64	0.83		0.72	-0.17	0.86	0.30	0.67	0.69	0.72	0.65	0.73	0.72	0.93
Mn	0.49	-0.19	0.75	0.83	0.32	0.84	0.55	0.72	0.29	0.73	0.72		-0.26	0.53	0.10	0.47	0.62	0.64	0.23	0.54	0.38	0.55
Mo	-0.12	-0.04	-0.16	-0.31	-0.18	-0.17	0.02	-0.11	-0.07	-0.14	-0.17	-0.26		0.25	0.18	0.09	-0.38	-0.15	0.01	-0.28	-0.09	-0.12
Ni	0.26	-0.29	0.70	0.24	0.59	0.79	0.67	0.73	0.60	0.63	0.86	0.53	0.25		0.39	0.56	0.45	0.65	0.65	0.54	0.67	0.86
P	0.66	-0.23	0.42	0.04	0.44	0.26	0.36	0.53	0.55	0.28	0.30	0.10	0.18	0.39		0.41	0.13	0.55	0.07	0.35	0.58	0.43
Pb	0.33	-0.36	0.41	0.03	0.54	0.65	0.73	0.46	0.65	0.79	0.67	0.47	0.09	0.56	0.41		0.29	0.49	0.33	0.48	0.58	0.55
Sc	0.43	-0.22	0.69	0.57	0.69	0.66	0.68	0.75	0.35	0.46	0.69	0.62	-0.38	0.45	0.13	0.29		0.63	0.41	0.85	0.52	0.69
Sr	0.47	-0.29	0.96	0.58	0.79	0.70	0.53	0.88	0.69	0.46	0.72	0.64	-0.15	0.65	0.55	0.49	0.63		0.20	0.72	0.89	0.77
Ti	0.02	-0.34	0.26	-0.06	0.41	0.58	0.48	0.39	0.44	0.38	0.65	0.23	0.01	0.65	0.07	0.33	0.41	0.20		0.44	0.35	0.67
V	0.52	-0.39	0.71	0.40	0.85	0.71	0.79	0.83	0.46	0.54	0.73	0.54	-0.28	0.54	0.35	0.48	0.85	0.72	0.44		0.64	0.81
Yt	0.26	-0.31	0.81	0.23	0.87	0.61	0.52	0.73	0.91	0.39	0.72	0.38	-0.09	0.67	0.58	0.58	0.52	0.89	0.35	0.64		0.80
Zn	0.35	-0.32	0.79	0.30	0.82	0.87	0.71	0.86	0.67	0.65	0.93	0.55	-0.12	0.86	0.43	0.55	0.69	0.77	0.67	0.81	0.80	

Sample Size 22

Colour Coding (significance 0.95)

- very strong
- strong
- moderate
- weak
- very weak
- null

Figura 1: Matriz de correlação dos elementos traços em sedimentos de corrente (período da cheia), desenvolvida a partir do *software* Oasis 4.3, da GEOSOFTE.

A partir dos resultados analíticos também foram calculados os parâmetros estatísticos para cada um dos elementos traços selecionados (valor mínimo e máximo, média aritmética e desvio-padrão), com o objetivo de se definir os correspondentes valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordens, os quais são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1  
Valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordem para os elementos selecionados\* em sedimentos de corrente, em ppm (período de cheia)

Elemento	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Valores anômalos de 3ª ordem (X+S a X+2S)	Quantidade de amostras anômalas		
				1ª ord.	2ª ord.	3ª ord.
B	>1,90	1,50-1,90	1,10-1,49	1	1	3
Ba	>129,25	94,50-129,25	59,75-94,49	-	2	-
Cd	>0,53	0,41-0,53	0,29-0,40	1	-	2
Co	>14,35	10,60-14,35	6,85-10,59	-	1	2
Cr	>28,05	22,44-28,05	16,83-22,43	-	1	2
Cu	>13,96	10,44-13,96	6,92-10,43	-	3	1
La	>42,52	31,89-42,52	21,26-31,88	1	-	3
Li	>2,86	2,12-2,86	1,38-2,11	1	-	3
Mn	>286,93	225,42-286,93	163,81-225,41	3	-	1
Mo	>0,63	0,52-0,63	0,41-0,51	-	1	4
Ni	>12,27	9,78-12,27	7,29-9,77	-	1	2
Pb	>11,09	8,56-11,09	6,03-8,55	1	-	2
Sc	>4,23	3,26-4,23	2,29-3,25	-	1	2
Sr	>9,07	6,63-9,07	4,19-6,62	1	1	-
V	>50,48	38,12-50,48	25,76-38,11	-	1	4
Y	>16,40	12,10-16,40	7,80-12,00	1	-	1
Zn	>29,72	22,29-29,72	14,86-22,28	-	2	2

X – média aritmética; S – Desvio padrão

\* Além dos elementos citados nas associações geoquímicas inclui-se também o B e o Mo devido aos mesmos apresentarem resultados consistentes.

Os resultados analíticos obtidos para os óxidos maiores permitiram estabelecer a matriz de correlação apresentada na Figura 2, observando-se que o maior valor de correlação dá-se entre CaO e Na<sub>2</sub>O, 0,81. A análise dessa matriz permite que se definam as seguintes associações geoquímicas: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO e CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O. Também foram observadas fortes correlações negativas entre SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e entre SiO<sub>2</sub> e FeO, as quais serão discutidas no item de interpretação dos resultados.

	SiO2	Al2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	Fe2O3	FeO	P2O5	MnO
SiO2		-0.94	-0.57	-0.27	-0.32	-0.29	-0.36	-0.53	-0.87	0.01	-0.41
Al2O3	-0.94		0.69	0.35	0.43	0.38	0.24	0.59	0.75	-0.14	0.42
MgO	-0.57	0.69		0.54	0.69	0.43	0.01	0.67	0.37	-0.10	0.54
CaO	-0.27	0.35	0.54		0.81	0.69	0.20	0.39	0.16	0.28	0.41
Na2O	-0.32	0.43	0.69	0.81		0.47	0.07	0.40	0.18	0.07	0.32
K2O	-0.29	0.38	0.43	0.69	0.47		0.12	0.64	-0.02	0.04	0.20
TiO2	-0.36	0.24	0.01	0.20	0.07	0.12		0.40	0.36	0.48	0.42
Fe2O3	-0.53	0.59	0.67	0.39	0.40	0.64	0.40		0.17	-0.07	0.35
FeO	-0.87	0.75	0.37	0.16	0.18	-0.02	0.36	0.17		0.21	0.51
P2O5	0.01	-0.14	-0.10	0.28	0.07	0.04	0.48	-0.07	0.21		0.25
MnO	-0.41	0.42	0.54	0.41	0.32	0.20	0.42	0.35	0.51	0.25	

Sample Size 22

Colour Coding (significance 0.95)

- very strong
- strong
- moderate
- weak
- very weak
- null

Figura 2: Matriz de correlação dos óxidos em sedimentos de corrente (período de cheia), desenvolvida a partir do *software* Oasis 4.3 da GEOSOFT.

A partir dos resultados analíticos, de forma semelhante aos elementos traços, foram calculados os parâmetros estatísticos para cada um dos óxidos maiores, com o objetivo de definir os correspondentes valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordens (Tabela 2).

Tabela 2  
Valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordem para os óxidos maiores analisados em sedimentos de corrente, em % (período de cheia)

Óxidos	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Valores anômalos de 3ª ordem (X+S a X+2S)	Quantidade de amostras anômalas		
				1ª ord.	2ª ord	3ª ord.
SiO <sub>2</sub>	>110,83	110,83-104,33	97,83-104,32	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	>8,53	6,57-8,53	4,61-6,56	-	2	3
MgO	>0,19	0,15-0,19	0,11-0,14	1	2	2
CaO	>0,33	0,25-0,33	0,17-0,24	1	1	1
Na <sub>2</sub> O	>0,84	0,62-0,84	0,40-0,61	-	2	2
K <sub>2</sub> O	>1,89	1,38-1,89	0,87-1,37	-	2	1
TiO <sub>2</sub>	>1,73	1,39-1,73	1,05-1,38	-	1	2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	>5,19	3,97-5,19	2,75-3,96	1	-	-
FeO	>0,93	0,71-0,93	0,49-0,70	1	1	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	>0,30	0,23-0,30	0,16-0,22	-	2	1

X – média aritmética; S – Desvio padrão

Nota: Os cálculos para MnO foram suprimidos em virtude da grande maioria das amostras se apresentarem com valores abaixo do limite de determinação do método.

Além dos resultados já apresentados também foram analisados, para as amostras de sedimentos desta fase, através de fluorescência de raios-X, os elementos Nb, Zr e Rb. A Tabela 3 mostra os valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordens correspondentes a estas análises.

Tabela 3  
Valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordem para os elementos analisados por fluorescência de raios X em sedimentos de corrente na cheia, em ppm

Elemento	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Valores anômalos de 3ª ordem (X+S a X+2S)	Quantidade de amostras anômalas		
				1ª ord	2ª ord	3ª ord
Nb	>133	111 - 133	88 – 110	1	-	2
Zr	>4745	3705 – 4745	2665 – 3704	-	1	3
Rb	>76	64-76	52-63	1	1	1

X – média aritmética; S – Desvio padrão

### 2.1.2 Período de Vazante

As amostras de sedimentos coletadas no período de vazante foram analisadas nos Laboratórios Bondar Clegg. Diferentemente da fase anterior, as análises foram executadas por um único método (ICP/AES), incluindo-se elementos traços e alguns elementos maiores (Anexo A). Através dos resultados obtidos foi confeccionada a matriz de correlação desses elementos, visualizada na Figura 3, a qual permitiu definir três associações geoquímicas: Cu-Fe-Cr-V-Al-Nb-Zr; Zn-Ni-Co-Ba-Mn e Mg-Ca. Além disso, os elementos La e Y mostram entre si uma correlação média a forte. Apesar da forte correlação do Sc com a primeira associação, este elemento não foi considerado, em função de ter sido registrada concentração do mesmo acima do limite de determinação em apenas uma amostra.

Com base nos resultados analíticos também foram calculados os parâmetros estatísticos para cada um dos elementos analisados, com o objetivo de se definir os valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordens, os quais são mostrados na Tabela 4.

	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Ba	Cr	V	La	Al	Mg	Ca	K	Sr	Yt	Li	Nb	Sc	Ti	Zr
Cu		0.37	0.68	0.22	0.18	0.93	0.06	0.16	0.88	0.93	-0.09	0.92	0.22	0.22	-0.16	0.20	0.11	0.08	0.91	0.89	0.58	0.89
Pb	0.37		0.15	-0.02	0.01	0.36	0.09	0.14	0.40	0.37	0.06	0.31	0.12	-0.05	-0.05	0.09	-0.01	0.31	0.37	0.37	0.12	0.24
Zn	0.68	0.15		0.81	0.66	0.56	0.46	0.72	0.56	0.47	0.14	0.62	0.71	0.52	-0.02	0.60	0.55	0.44	0.41	0.37	0.46	0.43
Ni	0.22	-0.02	0.81		0.88	0.02	0.65	0.91	0.08	-0.07	0.22	0.16	0.87	0.67	0.05	0.64	0.62	0.56	-0.14	-0.18	0.31	-0.02
Co	0.18	0.01	0.66	0.88		-0.01	0.87	0.93	0.11	-0.06	0.14	0.13	0.79	0.63	0.08	0.48	0.40	0.59	-0.13	-0.16	0.29	-0.02
Fe	0.93	0.36	0.56	0.02	-0.01		-0.05	-0.03	0.94	0.98	-0.15	0.87	0.03	-0.03	-0.12	0.06	-0.03	0.02	0.97	0.97	0.46	0.87
Mn	0.06	0.09	0.46	0.65	0.87	-0.05		0.81	0.09	-0.09	0.11	0.06	0.55	0.35	0.07	0.32	0.23	0.50	-0.15	-0.16	0.05	-0.14
Ba	0.16	0.14	0.72	0.91	0.93	-0.03	0.81		0.06	-0.10	0.29	0.13	0.83	0.59	0.11	0.63	0.59	0.70	-0.17	-0.20	0.17	-0.13
Cr	0.88	0.40	0.56	0.08	0.11	0.94	0.09	0.06		0.93	-0.14	0.81	0.06	-0.06	-0.05	0.02	-0.07	0.10	0.91	0.91	0.38	0.78
V	0.93	0.37	0.47	-0.07	-0.06	0.98	-0.09	-0.10	0.93		-0.16	0.89	-0.02	-0.05	-0.11	-0.03	-0.11	-0.00	1.00	0.99	0.48	0.90
La	-0.09	0.06	0.14	0.22	0.14	-0.15	0.11	0.29	-0.14	-0.16		-0.13	0.18	0.18	0.02	0.16	0.76	0.26	-0.19	-0.18	0.03	-0.32
Al	0.92	0.31	0.62	0.16	0.13	0.87	0.06	0.13	0.81	0.89	-0.13		0.23	0.16	-0.07	0.06	-0.01	0.19	0.86	0.85	0.52	0.86
Mg	0.22	0.12	0.71	0.87	0.79	0.03	0.55	0.83	0.06	-0.02	0.18	0.23		0.77	0.20	0.44	0.45	0.76	-0.07	-0.12	0.51	0.08
Ca	0.22	-0.05	0.52	0.67	0.63	-0.03	0.35	0.59	-0.06	-0.05	0.18	0.16	0.77		-0.00	0.33	0.41	0.33	-0.08	-0.13	0.73	0.19
K	-0.16	-0.05	-0.02	0.05	0.08	-0.12	0.07	0.11	-0.05	-0.11	0.02	-0.07	0.20	-0.00		0.07	-0.03	0.32	-0.11	-0.11	-0.06	-0.14
Sr	0.20	0.09	0.60	0.64	0.48	0.06	0.32	0.63	0.02	-0.03	0.16	0.06	0.44	0.33	0.07		0.70	0.23	-0.06	-0.09	-0.04	-0.06
Yt	0.11	-0.01	0.55	0.62	0.40	-0.03	0.23	0.59	-0.07	-0.11	0.76	-0.01	0.45	0.41	-0.03	0.70		0.30	-0.15	-0.18	0.06	-0.21
Li	0.08	0.31	0.44	0.56	0.59	0.02	0.50	0.70	0.10	-0.00	0.26	0.19	0.76	0.33	0.32	0.23	0.30		-0.04	-0.06	0.15	-0.05
Nb	0.91	0.37	0.41	-0.14	-0.13	0.97	-0.15	-0.17	0.91	1.00	-0.19	0.86	-0.07	-0.08	-0.11	-0.06	-0.15	-0.04		1.00	0.47	0.90
Sc	0.89	0.37	0.37	-0.18	-0.16	0.97	-0.16	-0.20	0.91	0.99	-0.18	0.85	-0.12	-0.13	-0.11	-0.09	-0.18	-0.06	1.00		0.43	0.88
Ti	0.58	0.12	0.46	0.31	0.29	0.46	0.05	0.17	0.38	0.48	0.03	0.52	0.51	0.73	-0.06	-0.04	0.06	0.15	0.47	0.43		0.69
Zr	0.89	0.24	0.43	-0.02	-0.02	0.87	-0.14	-0.13	0.78	0.90	-0.32	0.86	0.08	0.19	-0.14	-0.06	-0.21	-0.05	0.90	0.88	0.69	

Sample Size 23

Colour Coding (significance 0.95)

- very strong
- strong
- moderate
- weak
- very weak
- null

Figura 3: Matriz de correlação dos elementos-traços em sedimentos de corrente na vazante, desenvolvida a partir do *software* Oasis 4.3, da GEOSOF.

Tabela 4  
Valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordem para os elementos analisados em sedimentos de corrente no período de vazante

Elemento	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Valores anômalos de 3ª ordem (X+S a X+2S)	Quantidade de amostras anômalas		
				1ª ord.	2ª ord.	3ª ord.
Al	>0,73	0,56-0,73	0,39-0,55	1	-	1
Ba	>82,27	61,80-82,27	41,33-61,79	-	1	3
Ca	>0,040	0,030-0,040	0,020-0,029	1	3	5
Co	>14,25	10,70-14,25	7,15-10,69	-	2	-
Cr	>82,91	62,59-82,91	42,27-62,58	1	-	-
Cu	>16,59	12,45-16,59	8,31-12,44	1	-	-
La	>57,39	42,97-57,39	28,55-42,96	1	1	1
Mn	>701,72	517,29-701,72	332,86-517,28	-	3	-
Ni	>8,94	6,87-8,94	4,80-6,86	-	2	3
Pb	>17,03	12,73-17,03	8,43-12,72	1	-	2
Sr	>7,64	5,70-7,64	3,76-5,69	1	-	1
V	>210,63	148,36-210,63	86,09-148,35	1	-	-
Zn	>20,10	15,40-20,10	10,70-15,39	-	1	3
Y	>12,86	9,76-12,86	6,66-9,75	1	-	2
Fe	>5,75	4,11-5,75	2,47-4,10	1	-	-
Mg	>0,08	0,06-0,08	0,04-0,05	1	1	3
Nb	>18,47	13,08-14,87	7,69-13,07	1	-	-
Ti	>0,019	0,016-0,019	0,013-0,015	2	1	5
Zr	>7,91	5,94-7,91	3,97-5,93	1	-	1

X – média aritmética; S – Desvio padrão

Notas: 1) As concentrações dos elementos são dadas em ppm, com exceção de Al, Ca, Fe, Mg e Ti, cujas concentrações expressam-se em %.

2) Os elementos Li, K e Sc foram eliminados deste tratamento estatístico em virtude de suas concentrações, na grande maioria das amostras, resultar em valores abaixo do limite de determinação do método.

## 2.2 Água

### 2.2.1 Período de Cheia

Com relação aos cátions analisados nas amostras de água coletadas no período de cheia, foram excluídos do tratamento estatístico os elementos As, B, Be, Cd, Co, Cr,

Cu, Ni, Se, Sn, Ti, V e W, por apresentarem, em todas as amostras, concentrações abaixo do limite de determinação do método. Deste modo, através da matriz de correlação dos resultados analíticos correspondentes aos cátions selecionados, foram definidas duas associações geoquímicas: Ca-Mg-Sr e Si-Ba-Fe-Mn, sendo que a primeira mostra correlação mais forte entre seus elementos (Figura 4).

	Ba	Ca	Fe	Li	Mg	Mn	Mo	Pb	Sc	Si	Sr	Zn
Ba		0.82	0.90	0.68	0.87	0.83	-0.10	0.12	-0.22	0.84	0.85	0.55
Ca	0.82		0.92	0.51	0.95	0.87	0.01	-0.08	-0.07	0.80	0.95	0.43
Fe	0.90	0.92		0.67	0.90	0.83	-0.12	0.05	-0.12	0.91	0.89	0.60
Li	0.68	0.51	0.67		0.59	0.43	-0.08	0.09	-0.15	0.71	0.48	0.65
Mg	0.87	0.95	0.90	0.59		0.82	0.05	-0.07	-0.14	0.85	0.91	0.51
Mn	0.83	0.87	0.83	0.43	0.82		-0.06	-0.01	-0.07	0.70	0.84	0.40
Mo	-0.10	0.01	-0.12	-0.08	0.05	-0.06		-0.30	-0.29	-0.23	-0.00	-0.10
Pb	0.12	-0.08	0.05	0.09	-0.07	-0.01	-0.30		0.12	0.14	-0.08	0.10
Sc	-0.22	-0.07	-0.12	-0.15	-0.14	-0.07	-0.29	0.12		0.01	-0.22	-0.20
Si	0.84	0.80	0.91	0.71	0.85	0.70	-0.23	0.14	0.01		0.76	0.59
Sr	0.85	0.95	0.89	0.48	0.91	0.84	-0.00	-0.08	-0.22	0.76		0.38
Zn	0.55	0.43	0.60	0.65	0.51	0.40	-0.10	0.10	-0.20	0.59	0.38	

Sample Size 22

Colour Coding (significance 0.95)

- very strong
- strong
- moderate
- weak
- very weak
- null

Figura 4: Matriz de correlação dos cátions selecionados em água superficial (período da cheia), desenvolvida a partir do *software* Oasis 4.3, da GEOSOFT.

Com base nos resultados analíticos também foram calculados os parâmetros estatísticos para cada um dos cátions selecionados, a partir dos quais foram definidos os correspondentes valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordens, que são mostrados na Tabela 5.



Tabela 5  
Valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordem para os cátions selecionados em amostras de água no período de cheia, em mg/L

Elemento	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Valores anômalos de 3ª ordem (X+S a X+2S)	Quantidade de amostras anômalas		
				1ª ord.	2ª ord.	3ª ord.
Ba	>0,025	0,020-0,025	0,015-0,019	-	1	3
Ca	>0,96	0,74-0,96	0,52-0,73	-	2	2
Mn	>0,035	0,027-0,035	0,019-0,026	1	-	4
Pb	>0,021	0,017-0,021	0,013-0,016	-	2	3
Si	>12,04	9,90-12,04	7,76-9,89	-	1	3
Sr	>0,012	0,009-0,012	0,006-0,008	-	2	3
Zn	>0,008	0,006-0,008	0,004-0,005	1	1	1
Fe	>0,400	0,309-0,400	0,218-0,308	-	2	1
Mg	>0,692	0,525-0,692	0,358-0,524	-	1	3

X – média aritmética; S – Desvio padrão

Nota: Os elementos Li, Mo e Sc foram suprimidos nesta tabela em virtude de as amplitudes entre suas concentrações serem muito baixas, não permitindo tratamentos estatísticos.

Dos ânions analisados, em três deles ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Br}^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ) as concentrações, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do limite de determinação do método. Com relação aos ânions  $\text{F}^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , a baixa amplitude entre as concentrações resultantes das análises não permite maiores inferências estatísticas. No caso do  $\text{SO}_4^-$ , apenas duas amostras se destacam, JM-3 e JM-23, com concentrações respectivamente de 0,9 e 0,3 mg/L, enquanto que todas as outras mostram teores de 0,1 ou 0,2 mg/L. Em função disso, apenas o ânion  $\text{Cl}^-$  permite um estudo estatístico, sendo considerados como valores anômalos de primeira ordem aqueles acima de 1,33 mg/L; de segunda ordem entre 1,16 e 1,33mg/L e de terceira ordem entre 0,99 e 1,15 mg/L.

### 2.2.2 Período de Vazante

Com relação aos cátions analisados nas amostras de água coletadas no período da vazante, foram excluídos do tratamento estatístico os elementos As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Sc, Se, Sn, Ti, V e W, por apresentarem, em todas as amostras, concentrações abaixo do limite de determinação do método. Assim, através da matriz de correlação dos resultados analíticos correspondentes aos cátions selecionados,

apresentada na Figura 5, foram definidas duas associações geoquímicas: Pb-Zn e Ba-Ca-Fe-Mg-Si-Sr, sendo que a correlação mais forte observada é aquela do Mg com Si, com valor de 0,96.

	Ba	Ca	Fe	Li	Mg	Mn	Pb	Si	Sr	Zn	Al
Ba		0.83	0.76	0.49	0.92	0.30	0.01	0.91	0.89	0.19	0.72
Ca	0.83		0.79	0.63	0.91	0.15	0.19	0.86	0.94	0.36	0.63
Fe	0.76	0.79		0.77	0.84	0.12	-0.19	0.79	0.78	-0.06	0.35
Li	0.49	0.63	0.77		0.71	-0.06	-0.05	0.68	0.60	0.03	0.31
Mg	0.92	0.91	0.84	0.71		0.13	-0.05	0.96	0.93	0.18	0.67
Mn	0.30	0.15	0.12	-0.06	0.13		-0.10	0.04	0.20	-0.08	0.54
Pb	0.01	0.19	-0.19	-0.05	-0.05	-0.10		-0.04	-0.05	0.90	-0.02
Si	0.91	0.86	0.79	0.68	0.96	0.04	-0.04		0.89	0.15	0.65
Sr	0.89	0.94	0.78	0.60	0.93	0.20	-0.05	0.89		0.16	0.75
Zn	0.19	0.36	-0.06	0.03	0.18	-0.08	0.90	0.15	0.16		0.15
Al	0.72	0.63	0.35	0.31	0.67	0.54	-0.02	0.65	0.75	0.15	

Sample Size 23

Colour Coding (significance 0.95)

- very strong
- strong
- moderate
- weak
- very weak
- null

Figura 5: Matriz de correlação dos cátions selecionados em água superficial (vazante), desenvolvida a partir do *software* Oasis 4.3, da GEOSOFT.

Também foram calculados os parâmetros estatísticos para cada um dos cátions selecionados, com o objetivo de se definir os respectivos valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordens (Tabela 6).

Tabela 6  
Valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordem para os cátions selecionados em amostras de água no período da vazante, em mg/L

Elemento	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Valores anômalos de 3ª ordem (X+S a X+2S)	Quantidade de amostras anômalas		
				1ª ord.	2ª ord.	3ª ord.
Al	>1,39	1,04-1,39	0,69-1,03	-	1	4
Ba	>0,032	0,025-0,032	0,018-0,024	-	2	2
Ca	>1,68	1,27-1,68	0,86-1,26	-	1	2
Fe	>0,632	0,468-0,632	0,304-0,467	1	1	-
Mg	>1,04	0,77-1,04	0,50-0,76	-	2	2
Mn	>0,387	0,273-0,387	0,159-0,272	1	-	-
Pb	>0,021	0,016-0,021	0,011-0,015	1	-	1
Si	>15,83	12,67-15,83	9,51-12,66	-	2	2
Sr	>0,020	0,015-0,020	0,010-0,014	-	2	2
Zn	>0,004	0,003-0,004	0,002-0,003	1	-	4

X – média aritmética; S – Desvio padrão

Nota: O elemento Li foi suprimido nesta tabela em virtude de as amplitudes entre suas concentrações serem muito baixas, não permitindo tratamentos estatísticos.

Como no período da cheia, dos ânions analisados nas amostras coletadas na vazante,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Br}^-$  e  $\text{PO}_4^{-3}$  resultaram em valores, em todas as amostras, abaixo do limite de determinação do método. Também com relação ao íon  $\text{NO}_3^-$ , a baixa amplitude entre as concentrações resultantes de suas análises não permite maiores inferências estatísticas. Para os demais ânions analisados foi elaborado um sumário estatístico que serviu de base para o cálculo dos seus valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordens (Tabela 7).

Tabela 7  
 Valores anômalos de primeira, segunda e terceira ordem para os ânions selecionados em amostras de água no período de vazante, em mg/L

Íon	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Valores anômalos de 3ª ordem (X+S a X+2S)	Quantidade de amostras anômalas		
				1ª ord.	2ª ord.	3ª ord.
Cl <sup>-</sup>	>1,70	1,31-1,70	0,92-1,30	1	-	2
F <sup>-</sup>	>0,13	0,10-0,13	0,07-0,09	1	2	2
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	>1,46	1,07-1,46	0,68-1,06	1	-	2

X – média aritmética; S – Desvio padrão

### **3 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Os resultados obtidos neste estudo podem ser abordados sob dois aspectos: um puramente geológico, com a interpretação das anomalias à luz da composição do substrato rochoso da região, e outro, de caráter ambiental, destacando-se o comportamento dos principais elementos que podem causar impactos negativos aos seres vivos. Além disso, pode-se discutir a variação sazonal dos elementos químicos selecionados e, no caso da água, suas correlações com os parâmetros físico-químicos medidos durante a coleta das amostras nas duas campanhas.

#### **3.1 Aspectos Geológicos**

A interpretação preliminar das anomalias geoquímicas detectadas através dos tratamentos estatísticos requer um mínimo conhecimento geológico da área estudada, o que pode ser provido pelos estudos desenvolvidos por Reis e Faria (2002). Cerca de 80% da extensão territorial das bacias estudadas encontram-se inseridos nos domínios de coberturas sedimentares cenozóicas, essencialmente arenosas, correspondentes às formações Areias Brancas e Boa Vista, onde foi coletada a maioria das amostras. Esses sedimentos ocupam toda a área das bacias dos igarapés Água Boa e Água Boa de Cima. A bacia do rio Cauamé, em seu médio e baixo curso, também se acha dominada por tais coberturas arenosas, com exceção de uma “ilha” de rochas basálticas (Complexo Vulcânico Apoteri), que constituem a Serra Nova Olinda. Afloramentos dessas rochas básicas foram observados no rio Cauamé, desde o ponto JM-4 até a foz do igarapé Murupu e no baixo curso deste último. As estações JM-5 e JM-6 encontram-se sobre esta “ilha” de basaltos.

O rio Cauamé, em seu alto curso, assim como seus afluentes deste trecho, correm sobre rochas gnáissicas e metacherts do Paleoproterozóico, representantes do Grupo Cauarane e Suíte Metamórfica Rio Urubu, que constituem o embasamento regional. As amostras JM-19 (rio Cauamé) e JM-20 (igarapé Lontra) foram coletadas nos domínios dos paragneisses do Grupo Cauarane, enquanto que no local de coleta da amostra JM-21 afloram rochas vulcânicas ácidas do Grupo Surumu (dacitos, riolitos e andesitos), as quais configuram lente inserida no Grupo Cauarane. As amostras JM-16, JM-17 e JM-18 foram coletadas nos limites (inferidos) do contato das rochas do embasamento com as coberturas sedimentares cenozóicas (vide mapa de amostragem geoquímica).

### 3.1.1 Sedimentos de Corrente

A distribuição dos elementos químicos selecionados para os sedimentos de corrente durante o período de cheia permitiu caracterizar cinco associações geoquímicas: Li-Co-Pb-Mn; Ba-Sr; Cd-Zn; La-Y e Cr-V-Sc-Cu-Ni. As anomalias relacionadas aos elementos das quatro primeiras associações encontram-se principalmente nas porções noroeste e central da área de estudo, refletindo respectivamente litologias do Grupo Cauarane e Surumu e os basaltos do Complexo Apoteri. Os Anexos B1 e B2 (mapas de distribuição do Zn e do Cd) ilustram o comportamento geoquímico de dois elementos dessas associações.

Na associação Cr-V-Sc-Cu-Ni, os valores anômalos, além de estarem associados às rochas do embasamento e aos basaltos Apoteri, refletem, no caso do Cr, V e Sc, a desagregação de crostas lateríticas observadas no igarapé Carrapato, onde estes elementos estão enriquecidos (amostra JM-3). O Anexo B3, correspondente ao mapa de distribuição regional do V, representa um exemplo da distribuição dos elementos que compõem essa associação.

Em relação aos óxidos maiores, analisados apenas no período da cheia, foram caracterizadas duas associações geoquímicas:  $Al_2O_3$ -FeO-MgO e  $K_2O$ - $Na_2O$ -CaO. As anomalias relacionadas aos óxidos dessas associações, à semelhança do que se observa nos elementos traços, encontram-se nas porções NW e central, refletindo respectivamente litologias do embasamento proterozóico e os basaltos do Complexo Apoteri, com exceção do  $K_2O$ , cujos valores anômalos limitam-se às amostras

coletadas sobre o embasamento. O Anexo B4 (mapa de distribuição do  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ilustra o comportamento geral das duas associações de óxidos.

As fortes correlações negativas entre  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e entre  $\text{SiO}_2$  e  $\text{FeO}$  indicam a evolução normal de um processo de lateritização, com a formação de perfis imaturos através do empobrecimento em sílica e enriquecimento em ferro e alumínio.

A distribuição dos elementos selecionados para as amostras de sedimentos de corrente coletadas durante o período de vazante permitiu que se caracterizassem três associações geoquímicas: Cu-Fe-Cr-V-Al-Nb-Zr; Zn-Ni-Co-Ba-Mn e Mg-Ca. Todas as anomalias de primeira ordem correspondentes aos elementos da primeira associação encontram-se no setor este-sudeste da área, ligadas à amostra JM-3, coletada logo a jusante de uma exposição de crostas lateríticas nas margens do igarapé Carrapato (enriquecidas nesses elementos), as quais estão sendo utilizadas, quando desagregadas (piçarra), para recuperação do piso de estradas vicinais. O Anexo B5, apresentando o mapa de distribuição do Cr, exemplifica esta associação geoquímica.

Com relação aos elementos da segunda associação não se verifica nenhuma anomalia de primeira ordem. As anomalias mais fortes estão relacionadas com as amostras coletadas sobre ou nas imediações das rochas do embasamento, refletindo claramente sua influência na composição dos sedimentos amostrados. As demais anomalias de segunda ordem associam-se às rochas básicas do Complexo Apoteri (Co e Mn na amostra JM-4). As anomalias de terceira ordem estão relacionadas às mesmas litologias citadas acima e, no caso do Zn e Ni, a uma provável origem antrópica (amostra JM-13), que será discutida em item específico (aspectos ambientais). O Anexo B6 ilustra a distribuição de um elemento dessa associação (bário).

A associação Mg-Ca acha-se enriquecida principalmente sobre os terrenos do embasamento e sobre os basaltos Apoteri e, secundariamente, sobre a região de influência do ponto JM-13 (provável origem antrópica), conforme pode ser visualizado na figura mostrada no Anexo B7 (mapa de distribuição do Mg).

### 3.1.2 Água

A distribuição dos cátions selecionados para as amostras de água coletadas durante a cheia permitiu caracterizar duas associações geoquímicas: Ca-Mg-Sr e Si-Ba-Fe-Mn. As anomalias relacionadas a esses cátions encontram-se na parte noroeste da área estudada, refletindo litologias do embasamento proterozóico, além da provável origem antrópica já citada para a amostra JM-13. O Anexo B8 (mapa de distribuição do cálcio) ilustra o comportamento geoquímico dos elementos dessas associações.

O comportamento dos cátions nas amostras de água coletadas durante o período de vazante definiu duas associações geoquímicas: Ba-Ca-Fe-Mg-Si-Sr e Pb-Zn. Com relação aos elementos da primeira associação, observa-se uma distribuição espacial muito semelhante àquela observada nas duas associações definidas para o período de cheia, com as anomalias concentrando-se no setor noroeste. No Anexo B9 é apresentado, a título de ilustração, o mapa da distribuição do bário em água superficial na vazante. A similaridade na disposição das anomalias nos dois períodos está associada à composição das rochas situadas à montante das amostragens, podendo também representar, complementarmente, concentrações mais elevadas devido a um menor volume de águas nas cabeceiras das drenagens amostradas.

A distribuição da associação Pb-Zn, mostrada nos Anexos B10 e B11, destaca-se por uma anomalia de primeira ordem na amostra JM-7 (igarapé Murupu), a qual, aliada à anomalia de cloro verificada neste mesmo ponto no período da cheia, é um forte indicativo de contaminação/poluição antrópica, sobre a qual serão feitas considerações no item 3.3 (aspectos ambientais).

Os ânions dissolvidos nas águas superficiais, por serem bons indicadores de qualidade ambiental, terão sua distribuição, nos dois períodos considerados, analisada em item específico, juntamente com os cátions comumente utilizados em estudos de impactos ambientais.

Pelo que foi exposto destaca-se o papel que a geoquímica pode desempenhar no mapeamento geológico e na prospecção mineral de uma região. Os mapas geoquímicos constituem ferramentas valiosas para estabelecer, com maior precisão, os contatos



entre as unidades geológicas e, além disso, podem sugerir, de modo preliminar, a composição química dos terrenos drenados pelos rios e igarapés amostrados.

Pode ser citada, por exemplo, a associação Ca-Mg-Sr, definida nas amostras de água coletadas durante a cheia. Uma análise simples dos mapas de distribuição desses elementos permite delinear os limites entre as grandes unidades litoestratigráficas mapeadas na área: o embasamento, a noroeste, e as coberturas sedimentares cenozóicas (Anexo B9). De modo similar, a associação Cu-Fe-Cr-V-Al-Nb-Zr, definida para os sedimentos de corrente coletados na vazante, “mapeia” as crostas lateríticas observadas no igarapé Carrapato e dá uma idéia do potencial econômico desse tipo de material geológico.

### **3.2 Variação Sazonal dos Elementos e Correlação com pH e OD das Águas Superficiais**

Sabe-se que a dispersão dos elementos químicos depende da mobilidade relativa de cada um deles nas condições físico-químicas do ambiente. Segundo Levinson (1974), o pH é o mais importante fator controlador da mobilidade dos elementos na maioria dos ambientes, sendo também um dos mecanismos pelos quais os elementos traços se acumulam nos sedimentos de corrente. Além do pH, a mobilidade dos íons nas águas superficiais é influenciada pela matéria orgânica, pelo tipo dos minerais argilosos transportados pelos rios e, para alguns elementos, pelo oxigênio dissolvido. A própria energia caudal do rio apresenta alta capacidade de transporte de material em suspensão e por arraste de fundo, dificultando os processos de deposição de sedimentos.

Para avaliação da variação sazonal dos cátions dissolvidos nas águas superficiais foram selecionados os elementos cujas análises químicas mostraram resultados consistentes nas duas fases (vazante e cheia): Ba, Fe, Mg, Si, Sr e Ca. A Tabela 8 apresenta uma comparação entre as médias das concentrações e os maiores valores anômalos por amostra, nos dois períodos, para os elementos selecionados.

Tabela 8  
 Comparação entre a média das concentrações e entre os maiores valores anômalos das amostras de água nos dois períodos (vazante e cheia) para os cátions selecionados.

Elementos	Média das Concentrações (mg/L)		Anomalias (nº das amostras e valores mg/L)	
	Cheia	Vazante	Cheia	Vazante
Ba	0,010	0,011	JM-19 (0,024) JM-13 (0,019)	JM-19 (0,025) JM-13 (0,028)
Fe	0,127	0,140	JM-13 (0,336) JM-19 (0,319)	JM-13 (0,657) JM-20 (0,573)
Mg	0,191	0,230	JM-20 (0,66) JM-19 (0,48)	JM-20 (1,03) JM-19 (0,62)
Si	5,62	6,35	JM-13 (10,63) JM-20 (9,17)	JM-13 (12,95) JM-20 (14,39)
Sr	0,003	0,005	JM-19 (0,024) JM-13 (0,019)	JM-19 (0,016) JM-20 (0,019)
Ca	0,30	0,45	JM-19 (0,80) JM-20 (0,92)	JM-13 (1,16) JM-20 (1,58)

Segundo Szikszay (1993, p.103), os teores dos íons dissolvidos na água dos rios normalmente mudam de acordo com o clima e a estação do ano. A autora afirma que “O mesmo rio no inverno tem mais sais dissolvidos que no verão por causa das chuvas que diluem as águas dos rios na época das chuvas”.

Os dados da Tabela 8 indicam que há uma leve tendência de aumento dos teores dos elementos no período de vazante nas bacias estudadas. Utilizando-se, porém, o *software Statistica*, no módulo teste t, verifica-se que, com exceção do cálcio, as médias das concentrações desses cátions são estatisticamente iguais, ou seja, a distribuição dos mesmos nas águas superficiais não é influenciada pelos períodos hidrológicos, apesar de na vazante as concentrações serem um pouco maiores, em função, provavelmente, da diminuição na quantidade de água.

Ainda com auxílio do *software Statistica*, a distribuição do íon cálcio foi analisada através de teste não-paramétrico, em virtude da não-homogeneidade das variâncias, considerando-se os dados dos dois períodos. Segundo o teste, as médias das concentrações estão no limite da igualdade, sugerindo que as amostragens realizadas

para este estudo não foram suficientes para uma análise mais conclusiva sobre o comportamento do cálcio.

Aproveitando-se as medidas de pH e oxigênio dissolvido (OD) das águas superficiais, efetuadas nas duas campanhas (Anexo A), foi analisada, através de um estudo de regressão múltipla, a correlação desses parâmetros com a concentração dos cátions selecionados e do cloro. O resultado foi que as concentrações de Mg, Ba, Ca, Si, Sr e Cl mostram correlação positiva com o pH da água dos rios e não mostram nenhuma correlação com o OD, isto é, não são influenciadas por este. Por outro lado, o Fe mostra correlação positiva com o pH e negativa com o OD das águas superficiais, conforme se observa na Figura 6.

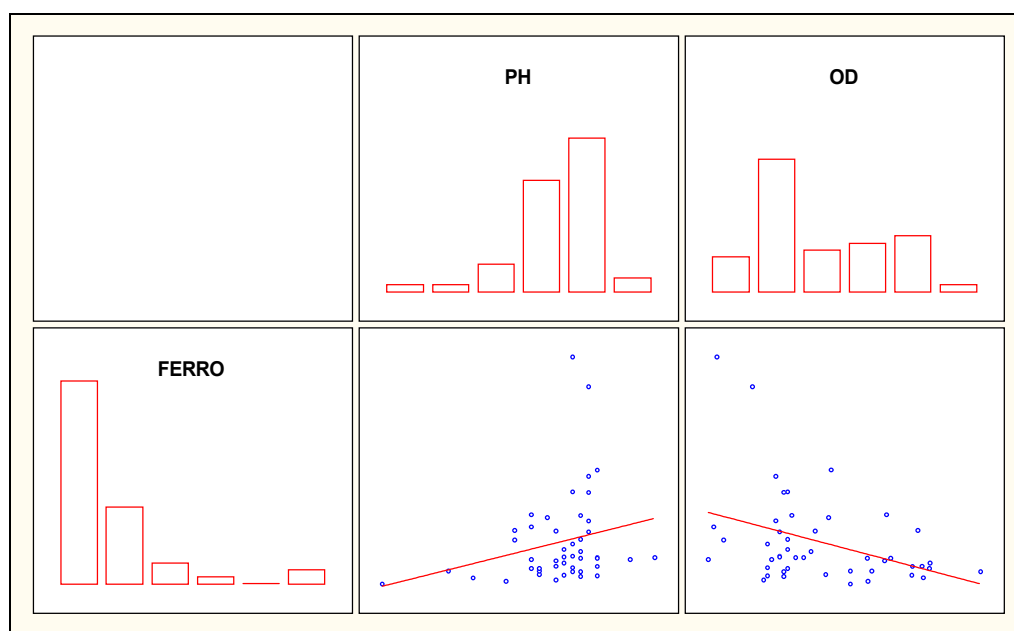


Figura 6: Correlação do pH e OD das águas superficiais, considerando os dois períodos amostrados, com a concentração do íon Fe.

Através de técnicas de ordenação e agrupamento procurou-se estabelecer padrões de similaridade entre as estações onde foram coletadas as amostras de água. Aplicando-se o módulo Análise de Correspondência, do *software Statistica*, com a utilização dos seguintes parâmetros: pH, OD, cátions totais e ânions totais dissolvidos nas águas nos dois períodos, obteve-se como resultado a Figura 7, ressaltando-se que

os valores expressos nas coordenadas são gerados pelo tratamento estatístico do *software* a partir da entrada dos dados com os parâmetros citados. Quanto mais próximos os pontos no gráfico maiores são suas similaridades. Assim, com o auxílio dos dados de campo, foram definidos três grupos: o grupo 1 refere-se às estações situadas sobre planícies arenosas (Formação Boa Vista); o grupo 2 representa as estações situadas sobre ou nas proximidades do embasamento, enquanto o grupo 3 engloba estações, independente da litologia, localizadas sobre planícies de inundação argilosas (áreas alagadiças), com baixos valores de oxigênio dissolvido na vazante. As estações JM-7, JM-8, JM-12 e JM-17 não se enquadraram em nenhum padrão.

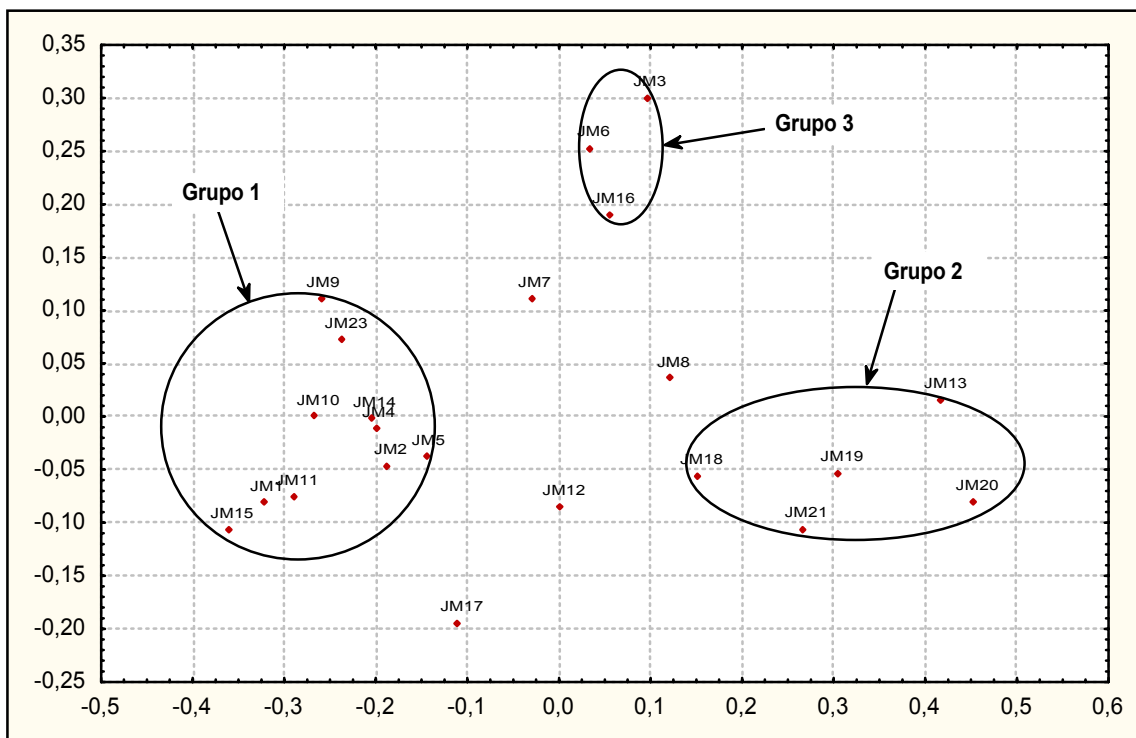


Figura 7: Padrões de similaridade entre as estações amostradas, considerando-se os parâmetros: pH, OD, cátions totais e ânions totais dissolvidos nas águas nos dois períodos.

Para uma análise da variação sazonal dos elementos químicos nos sedimentos de corrente e comparação das concentrações nos dois períodos é necessário considerar as diferenças dos limites de determinação entre os dois laboratórios utilizados, considerando-se o mesmo método analítico (ICP). Neste sentido, para comparação dos resultados obtidos nos períodos de vazante e cheia, utilizam-se aqueles elementos que têm limites de determinação iguais nos dois laboratórios: Cr, V, Cu e La, além de Mn e

Ba, que apresentaram concentrações em todas as amostras sempre acima dos seus limite de determinação. A Tabela 9 apresenta uma comparação entre as médias das concentrações e os maiores valores anômalos por amostra, nos dois períodos, para os elementos selecionados.

Tabela 9  
Comparação entre a média das concentrações e entre os maiores valores anômalos das amostras de sedimentos de corrente nos dois períodos (vazante e cheia)

Elementos	Média das concentrações (ppm)		Anomalias (nº das amostras e valores ppm)	
	Cheia	Vazante	Cheia	Vazante
Mn	102,4	148,4	JM-6 (644)	JM-19 (627)
			JM-21 (410)	JM-21 (576)
			JM-5 (298)	JM-3 (528)
Ba	25,0	20,9	JM-18 (126)	JM-21 (78)
			JM-6 (119)	JM-18 (54)
Cr	11,2	21,9	JM-21 (26)	JM-3 (107)
			JM-3 (20)	
V	13,4	23,8	JM-18 (41)	JM-3 (307)
			JM-3 (36)	
Cu	3,4	4,2	JM-18 (12)	JM-3 (21)
			JM-6 (11)	
La	10,6	14,1	JM-18 (43)	JM-11 (59)
			JM-19 (29)	JM-20 (46)

Uma análise da tabela acima mostra que há uma tendência de aumento das concentrações dos elementos no período de vazante, com exceção do Ba. De modo análogo, novamente com exceção do Ba, há uma tendência das anomalias apresentarem valores maiores na vazante, porém essas anomalias, de modo geral, mudam de localização de acordo com o período considerado. Essas constatações apontam para um controle sazonal na composição e distribuição dos sedimentos de corrente da área, o qual, para seu efetivo esclarecimento, necessita de estudos adicionais. Assim, conclusões mais detalhadas só serão possíveis com a continuidade das amostragens, em novos períodos hidrológicos.

Também para os sedimentos de corrente, de maneira semelhante ao realizado para as amostras de água, foi aplicado o módulo Análise de Correspondência, do *software Statistica*, de modo a se tentar estabelecer padrões de similaridade entre as estações

amostradas. Os parâmetros utilizados, conforme já justificado, foram as concentrações de Ba, Cr, Cu, La, Mn e V nos dois períodos de amostragem. O resultado pode ser observado na Figura 8, que mostra uma “nuvem” de pontos (estações de amostragem) muito agrupados, com exceção de JM-3, não permitindo, portanto, grandes inferências. A estação JM-3 isola-se do conjunto pelos seus altos teores de Cu, Cr e V, resultantes da desagregação das crostas lateríticas do igarapé Carrapato. De maneira menos acentuada, destacam-se da “nuvem” de pontos as estações JM-5 e JM-6, cujos sedimentos coletados representam primordialmente o produto do intemperismo das rochas basálticas da serra Nova Olinda (vide mapa de amostragem geoquímica).

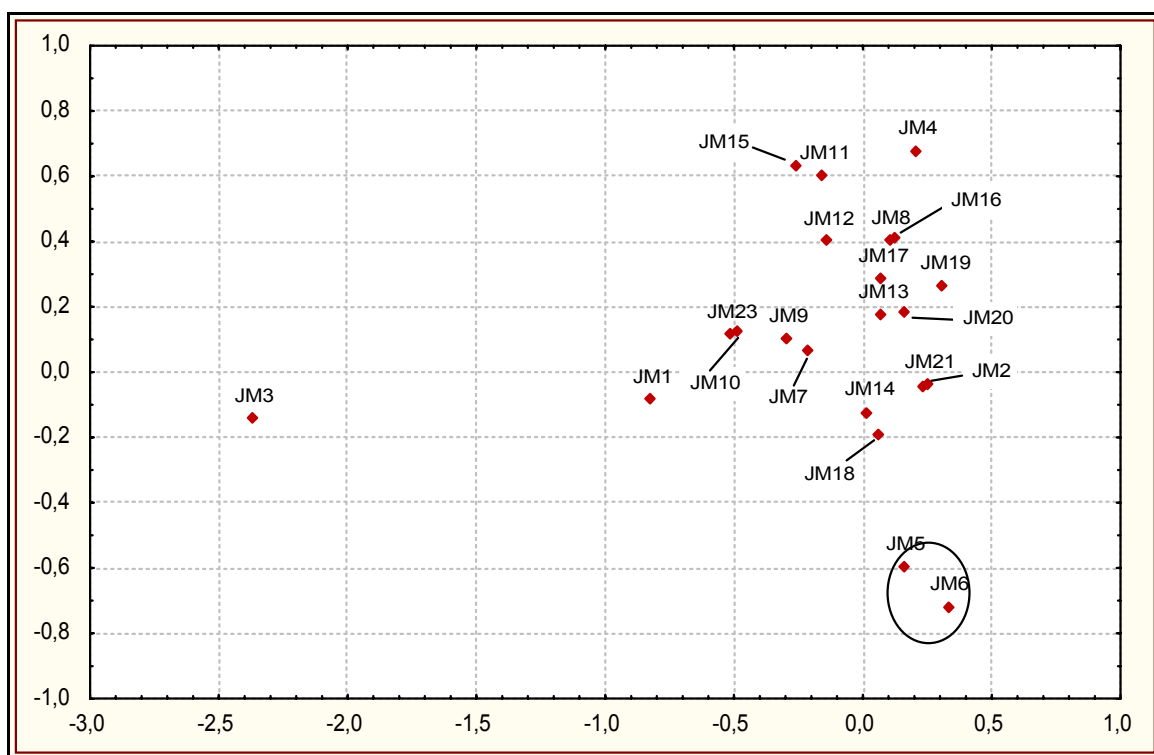


Figura 8: Padrões de similaridade entre as estações amostradas, considerando-se os teores de Ba, Cr, Cu, La, Mn e V nos sedimentos de corrente nos dois períodos.

### 3.3 Aspectos Ambientais

Para os estudos ambientais, no âmbito das bacias estudadas, procurou-se analisar inicialmente o comportamento regional dos elementos considerados tóxicos ao ser humano e aos animais (arsênio, chumbo, cádmio e bário), a partir dos resultados

obtidos nas amostras de água e, complementarmente, nos sedimentos de corrente. De modo semelhante, foi estudado também o comportamento dos elementos químicos considerados essenciais aos seres vivos, mas que são tóxicos quando presentes em altas concentrações no ambiente: alumínio, cobre, cromo, flúor, zinco e selênio.

O selênio não permitiu nenhum tipo de consideração pois suas determinações, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do limite de determinação do método. O arsênio não foi detectado em nenhuma amostra de água, somente em uma de sedimento de corrente coletado na cheia, com teor de 0,8 ppm, não possibilitando também nenhuma avaliação mais conclusiva.

Como os ânions nitrato e cloreto são bons indicativos de poluição e contaminação de origem antrópica (lixões, aterros sanitários, esgotos, fossas sépticas, dejetos animais etc), sua distribuição regional nas águas das bacias estudadas também foi analisada neste estudo. Os teores de nitrato obtidos nas análises químicas das amostras de água resultaram, porém, em valores muito baixos, no máximo 0,3 mg/L, afastando a hipótese de contaminação por essa substância (somente teores acima de 5 mg/L são indicativos de contaminações antrópicas). Ainda com relação aos ânions, também serão feitas considerações a respeito do comportamento regional do íon sulfato na água, por ser este prejudicial à saúde humana, principalmente de crianças, quando presente em altas quantidades.

Para a avaliação das concentrações dos elementos químicos na água superficial foram tomados como referência os valores máximos permitidos (VMP) definidos pela Portaria nº 1.469 da Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (BRASIL, 2001), discriminados no Quadro 3. Essa Portaria dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da água para consumo humano e padrões de potabilidade, em razão da importância que a qualidade e quantidade de água representa para a melhoria da qualidade de vida e a manutenção da saúde humana. Ela substitui e atualiza a Portaria nº 36/90 do Ministério da Saúde, com valores mais restritivos. O Quadro 3 contém os VMP relativos às duas portarias, para que se tenha uma idéia da evolução na restrição desses valores. No caso dos sedimentos, foram utilizados como referência os padrões máximos estabelecidos por

Prater e Anderson (1977) para chumbo, zinco e cobre. Para os demais elementos estudados não se tem conhecimento de valores máximos definidos para sedimentos.

Quadro 3  
Padrões de potabilidade segundo a Portaria nº 1.469 da FUNASA, de 29 de dezembro de 2000, e a Portaria nº 36 do Ministério da Saúde, de 19 de janeiro de 1990

<b>Substâncias químicas que representam risco à saúde</b>			
<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>VMP <sup>(1)</sup></b>	<b>VMP <sup>(2)</sup></b>
Antimônio	mg/L	0,005	-
Arsênio	mg/L	0,01	0,05
Bário	mg/L	0,7	1,0
Cádmio	mg/L	0,005	0,005
Cianeto	mg/L	0,07	0,1
Chumbo	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	2,0	1,0
Cromo	mg/L	0,05	0,05
Fluoreto	mg/L	1,5	0,6-1,7
Mercúrio	mg/L	0,001	0,001
Nitrato	mg/L	10	10
Nitrito	mg/L	1,0	1,0
Selênio	mg/L	0,01	0,01
<b>Padrão de aceitação para consumo humano (qualidade organoléptica)</b>			
Alumínio	mg/L	0,2	0,2
Amônia (como NH <sub>3</sub> )	mg/L	1,5	-
Cloreto	mg/L	250	250
Dureza Total	mg/L	500	500
Ferro	mg/L	0,3	0,3
Manganês	mg/L	0,1	0,1
Sódio	mg/L	200	-
Sólidos Totais Dissolv.	mg/L	1.000	1.000
Sulfato	mg/L	250	400
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05	0,25
Turbidez	Unidade de Turbidez	5	1
Zinco	mg/L	5,0	5,0
Surfactantes	mg/L	0,5	0,2

VMP – Valor Máximo permitido; <sup>(1)</sup> Port. nº 1.469 FUNASA; <sup>(2)</sup> Port. nº 36/90 do Minist. da Saúde.

O Quadro 4 procura sintetizar, com base nos trabalhos de Fenzl (1988), Szikszay (1993), Santos (1997), Freitas et al. (2001) e no site da CETESB (<http://www.cetesb.sp.gov.br>), as principais informações sobre a influência, positiva e negativa, das substâncias e elementos químicos estudados, em relação à saúde dos seres vivos e ao meio ambiente em geral, com destaque para a agricultura.



**Quadro 4**  
**Substâncias e elementos químicos estudados, sua ocorrência nas águas superficiais, principais fontes antrópicas e sua ação no meio ambiente e nos seres vivos**

<b>Elemento ou Substância</b>	<b>Ocorrência nas águas superficiais, principais fontes antrópicas e sua influência na saúde dos seres vivos e no meio ambiente em geral</b>
Alumínio	Não se conhece plenamente sua importância biológica nos seres vivos. Há um intenso debate nos círculos médicos relatando o papel do Al na incidência do mal de Alzheimer, que é uma doença cerebral degenerativa de etiologia desconhecida, caracterizada por um grande número de placas senis em certas regiões do cérebro. O Al é um composto neurotóxico que, em longo prazo, pode causar encefalopatia grave em pacientes que sofrem diálise renal. Ingestão de altas concentrações (> 1 ppm) de Al também pode provocar paralisia dos membros inferiores e laringite crônica. Sua principal fonte de contaminação antrópica são os rejeitos industriais.
Arsênio	Nas águas subterrâneas e superficiais as concentrações de As estão normalmente abaixo de 0,1 mg/L. É um elemento extremamente perigoso à saúde pública, carcinógeno, sendo que a ingestão de 100 mg envenena seriamente o organismo humano. Suas principais fontes antrópicas são: inseticidas, herbicidas e resíduos industriais.
Bário	Ocorre normalmente nas águas naturais em concentrações muito baixas, de no máximo 0,90 mg/L. Sua ingestão em doses superiores às permitidas pode causar desde um aumento transitório da pressão sanguínea, por vasoconstrição, até sérios efeitos tóxicos sobre o coração, vasos e nervos, sendo que ainda não foi comprovado seu efeito cumulativo. O consumo de 600 mg de bário pelo homem é fatal. É um elemento utilizado na produção de pigmentos, fogos de artifício, vidros e praguicidas.
Cádmio	Sua concentração em águas doces raramente ultrapassa 0,001 mg/L. É um metal de elevado potencial tóxico, que se acumula em organismos aquáticos, possibilitando sua entrada na cadeia alimentar (efeito cumulativo). O Cd pode desencadear vários processos patológicos no homem: disfunção renal, hipertensão, inibição no crescimento, doenças cardiovasculares, deformação nos ossos, calcificação nos rins e câncer. Contaminações de Cd nos solos geralmente são provenientes dos fertilizantes fosfatados que contêm esse metal. Teores acima de 30 ppm em solos podem contaminar plantações. O Cd pode ser liberado para o ambiente através da queima de combustíveis fósseis ou como rejeito de indústrias produtoras de pigmentos, baterias, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes, lonas de freio, praguicidas, etc.
Chumbo	Seus teores em águas superficiais naturais são muito baixos. É um elemento tóxico cumulativo, acumulando-se principalmente nos ossos. Intoxicação crônica por este metal pode levar ao saturnismo, doença que afeta trabalhadores expostos ocupacionalmente. Os sintomas pela exposição crônica podem ocorrer no sistema nervoso central ou periférico. Teores acima de 0,5 mg/L provocam uma intoxicação variável no ser humano, em função da quantidade acumulada no organismo, e podem causar danos cerebrais irreversíveis e levar à morte, principalmente de crianças. A queima de combustíveis fósseis é uma das principais fontes antrópicas, além de resíduos de indústrias metalúrgicas, de baterias, mineração, plásticos, tintas, soldas etc.
Cobre	O Cu tem baixa solubilidade e ocorre em águas superficiais normalmente com teores inferiores a 0,02 mg/L. Maiores concentrações ocorrem em águas que percolam jazidas cupríferas. É um elemento essencial ao ser humano, porém em excesso pode acarretar irritação e corrosão das mucosas, problemas hepáticos e renais e irritação no sistema nervoso central. Teores em solos acima de 2000 ppm são tóxicos para os vegetais. As fontes de Cu para o ambiente incluem corrosão de tubulações de latão, efluentes de estações de tratamento de esgoto, algicidas aquáticos, fungicidas e pesticidas, precipitação atmosférica de fontes industriais (mineração, fundição, refinação, etc).

Cromo	Em águas doces, as concentrações de Cr são muito baixas, inferiores a 0,001mg/L. Na forma trivalente é um metal essencial ao metabolismo humano, exercendo controle sobre a insulina e o colesterol e fazendo parte de hormônio antienvhecimento. Os limites máximos na água são estabelecidos para a forma hexavalente, que é tóxica e cancerígena: altas concentrações causam leucemia, câncer do pulmão e das narinas. As produções de alumínio anodizado, aço inoxidável, tintas, pigmentos, explosivos e papel são as potenciais fontes de contaminação antrópica.
Selênio	É um elemento raro na natureza, com teores nas águas naturais variando em torno de 0,001mg/L. É essencial ao ser humano: quando deficiente pode provocar distrofia muscular e cardiomiopatia. Em concentrações acima de 0,01 mg/L é tóxico ao homem, causando cáries dentárias, deformações nas unhas e cabelo e câncer. É utilizado nas indústrias de tintas, vidros, inseticidas e fertilizantes fosfatados.
Zinco	Dentre os metais pesados, o Zn é o mais solúvel, com teores em águas superficiais variando de 0,001 a 0,1mg/L. É essencial aos seres vivos: sua deficiência pode causar dermatites, nanismo, falta de paladar, queda de cabelo e diarreias. Baixos teores de Zn evidenciam áreas com baixa produtividade agrícola. A ingestão de altas concentrações é perigosa, causando problemas circulatórios e distúrbios mentais. Altos teores no solo são tóxicos para plantações de cereais, porém, em doses controladas, o Zn pode ser usado como suplemento nutritivo para as plantas. Pode entrar no meio ambiente através de processos antrópicos, como: indústrias de produção de Zn primário, combustão de madeira, desinfetantes, tinturas, indústrias de papel, efluentes domésticos.
Fluoretos	Normalmente, ocorrem com teores entre 0,1 e 1,5 mg/L nas águas naturais, podendo chegar até 10mg/L em águas sódicas com pouco cálcio, já que a presença de cálcio limita a concentração de flúor. É um elemento essencial aos seres humanos: em baixos teores, até 1,5 mg/L, é benéfico à saúde na prevenção de cáries dentárias de crianças; acima desse teor é prejudicial, causando manchas nos dentes (fluorose) e deformações nos ossos. Doses excessivas (> 4g) conduzem à morte. É também muito tóxico para os vegetais. Contaminações antrópicas podem advir de efluentes industriais (vidrarias, esmaltes, ind. químicas), desinfetantes, inseticidas ou fertilizantes fosfatados.
Sulfatos	Os sulfatos apresentam-se nas águas doces geralmente com teores inferiores a 100mg/L, principalmente nas formas $SO_4^{-2}$ e $HSO_4^{-}$ . Excesso de sulfato (> 400mg/L), na presença de íons $Mg^{++}$ e $Na^{+}$ , pode provocar distúrbios gastrointestinais. O sulfato ferroso é de alta periculosidade na forma pura, podendo ser fatal se ingerido por crianças em doses superiores a 7,8g. O enxofre é um constituinte importante da matéria orgânica e suas reações de oxidação e redução são muitas vezes ligadas a processos biológicos. Uma de suas principais fontes antrópicas são os fertilizantes.
Cloretos	Estão presentes em todas as águas naturais, com valores nas águas doces situados entre 10 e 250 mg/l. Geralmente são muito solúveis e muito estáveis em solução, dificilmente precipitam. Não se oxidam nem se reduzem em águas naturais. O íon cloreto é um bom indicador de poluição para aterros sanitários e lixões. Altas concentrações de cloretos são tóxicas para a maioria dos vegetais, inibindo seu crescimento.
Nitratos	É um íon muito móvel, sendo removido das camadas superiores do solo para a água. Representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica e teores acima de 5mg/l podem ser indicativos de contaminação antrópica (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, etc.). Altas concentrações de nitrato podem produzir intoxicações em crianças e, em casos extremos, levá-las à morte por cianose. Também tem ação na produção de substâncias cancerígenas (nitrosaminas) no estômago do homem. Apesar de prejudicial à saúde humana, trata-se de um composto favorável para a agricultura, estimulando o desenvolvimento das plantas.

### 3.3.1 Comportamento dos Elementos/Íons Selecionados e sua Interpretação

Dos elementos/íons selecionados para os estudos de geoquímica ambiental, apenas chumbo, bário, alumínio e zinco foram detectados tanto nas amostras de água como nas de sedimentos de corrente. Cádmio, cromo e cobre foram detectados somente nas amostras de sedimentos, enquanto os ânions fluoreto, cloreto e sulfato referem-se às amostras de água.

As Tabelas 10 a 16 mostram, para cada um dos elementos/íons selecionados, os locais com maiores teores, de acordo com o meio amostrado, além dos limiares estabelecidos pela Portaria 1.469 da FUNASA, para água, e por Prater e Anderson (1977) para os sedimentos (especificamente para chumbo, zinco e cobre). É feita uma análise dessas tabelas, do ponto de vista ambiental, enfatizando-se os elementos que apresentam concentrações com valores que ultrapassam os limiares citados, assim como os locais com indicativos de poluição ou contaminação de origem antrópica.

Destaca-se, inicialmente, a distribuição do íon Pb na água, observando-se que diversos locais apresentaram teores acima do valor máximo permitido (VMP) pela Portaria 1.469 FUNASA (vide Tabela 10 e Anexos B10 e B12). Como o chumbo é um metal muito tóxico ao ser humano, com poder cumulativo, este fato é preocupante e deve ser rapidamente monitorado e controlado. Ressalta-se o igarapé Murupu, que apresentou as duas amostras com as maiores concentrações de Pb na água, notadamente o ponto JM-7 na vazante, com valor três vezes acima do VMP. Este ponto também representa uma anomalia de primeira ordem para Zn no período de vazante, apesar de neste caso o teor estar muito abaixo do VMP (Tabela 11 e Anexo B11). Tal fato, aliado a uma anomalia de cloro observada neste mesmo ponto no período da cheia, é um forte indicativo de contaminação/poluição antrópica, já que se trata de um local utilizado como balneário pela população de Boa Vista, às margens da rodovia BR-174, onde se constata acúmulo de lixo (latas, plásticos, vidros etc).

Ainda com relação ao Pb nas amostras de água, o ponto JM-02, localizado no rio Cauamé, próximo à foz com o rio Branco, é outro que merece atenção especial. Com valor de 0,013 mg/L na cheia (acima do VMP), está situado cerca de 4 km a montante da captação de água da cidade de Boa Vista (Anexo B12). Apesar desse valor não se

repetir na amostra coletada no período de vazante, recomenda-se um monitoramento constante no local. Nas amostras de sedimentos de corrente as concentrações máximas de Pb estão bem abaixo do limiar estabelecido por Prater e Anderson (1977).

Tabela 10  
As maiores concentrações de chumbo nas amostras de água e sedimentos

<b>Meio amostrado</b>	<b>Pontos com maiores teores e respectivas concentrações</b>	<b>Igarapé/Rio</b>	<b>Limiar</b>
Água	JM-07 (0,030 mg/L – vazante)	Murupu	0,01mg/L
	JM-09 (0,021mg/L – p.cheia)	Murupu	
	JM-12 (0,018 mg/L – p.cheia)	Samaúma	
	JM-13 (0,014 mg/L – p.cheia)	Samaúma	
	JM-02 (0,013 mg/L – p.cheia)	Cauamé	
Sedimentos	JM-16 (19,0 ppm - vazante)	Au-Au	40ppm
	JM-21 (12,8 ppm – p.cheia)	Cauamé	

Tabela 11  
As maiores concentrações de zinco nas amostras de água e sedimentos

<b>Meio amostrado</b>	<b>Pontos com maiores teores e respectivas concentrações</b>	<b>Igarapé/Rio</b>	<b>Limiar</b>
Água	JM-13 (0,013 mg/L – p.cheia)	Samaúma	5 mg/L
	JM-07 (0,008 mg/l – vazante)	Murupu	
Sedimentos	JM-22A (57,6 ppm – p.cheia)	Urariqüera	70 ppm
	JM-18 (27,2 ppm – p.cheia)	Pascoal	
	JM-05 (22,9 ppm – vazante)	Murupu	

Apesar de a concentração de alumínio na água não ser considerada um parâmetro que represente risco à saúde, há um considerável debate no círculo médico relatando o papel deste metal (em concentrações acima de 1 ppm) na incidência do mal de Alzheimer, que é uma doença cerebral degenerativa de etiologia desconhecida (PERL, 1988 apud FREITAS et al., 2001). Neste sentido, é preocupante verificar que em diversas amostras de água, coletadas na vazante, os teores de alumínio estão bem acima de seu VMP (Tabela 12 e Anexo B13). As anomalias ligadas aos pontos JM-18, JM-19, JM-20 e JM-21 provavelmente têm causas naturais ligadas à composição química dos terrenos da região. Já a anomalia do ponto JM-17 está localizada no igarapé Mata-Matá, uma drenagem que atravessa uma comunidade indígena no

município de Alto Alegre (Terra Indígena Sucuba), a qual faz uso de suas águas. Como também se verifica uma anomalia de alumínio em sedimentos de corrente coletados neste mesmo ponto, conforme visualizado no Anexo B4, é fundamental que se faça um detalhamento da amostragem nessa drenagem, visando à prevenção de problemas de saúde dessa população indígena. Ademais, devem ser melhor investigados todos os pontos que apresentaram teores de alumínio acima do limiar definido pela FUNASA.

Tabela 12  
As maiores concentrações de alumínio nas amostras de água e sedimentos

<b>Meio amostrado</b>	<b>Pontos com maiores teores e respectivas concentrações</b>	<b>Igarapé/Rio</b>	<b>Limiar</b>
Água	JM-17 (1,1 mg/L – vazante)	Mata-Matá	0,2 mg/L
	JM-19, JM-20 e JM-21 (1,0 mg/L – vazante)	Cauamé	
	JM-18 (0,7 mg/L - vazante)	Pascoal	
Sedimentos	JM-03 (0,91% – vazante)	Carrapato	Não Estabelecido
	JM-17 (0,63% – p.cheia)	Mata-Matá	

Os valores máximos obtidos para bário nas amostras de água mostram-se muito abaixo do limiar definido pela Portaria 1.469 FUNASA, não ensejando nenhuma preocupação imediata portanto (Tabela 13 e Anexo B9). Do mesmo modo, as concentrações máximas de zinco na água também estão bem abaixo de seu VMP, não obstante a anomalia do ponto JM-7 sugerir uma contaminação antrópica, como já referido acima. Com relação ao zinco em sedimentos de corrente, da mesma maneira que o cobre, nenhuma amostra atingiu o limiar de Prater e Anderson (1977), conforme se verifica nas Tabelas 11 e 14.

Tabela 13  
As maiores concentrações de bário nas amostras de água e sedimentos

<b>Meio amostrado</b>	<b>Pontos com maiores teores e respectivas concentrações</b>	<b>Igarapé/Rio</b>	<b>Limiar</b>
Água	JM-19 (0,025 mg/L – vazante)	Cauamé	0,7 mg/L
	JM-13 (0,028 mg/L – vazante)	Samaúma	
Sedimentos	JM-18 (125,7 ppm – p.cheia)	Pascoal	Não Estabelecido
	JM-06 (119,2 ppm – p.cheia)	Cauamé	

Tabela 14  
As maiores concentrações de cobre em sedimentos de corrente

<b>Meio amostrado</b>	<b>Pontos com maiores teores e respectivas concentrações</b>	<b>Igarapé/Rio</b>	<b>Limiar</b>
Sedimentos	JM-03 (21 ppm – vazante) JM-18 (12 ppm – p.cheia)	Carrapato Pascoal	25 ppm

Não obstante a ausência de valores máximos estabelecidos para cádmio e cromo em sedimentos de corrente, uma análise do Quadro 4 faz supor que os maiores teores encontrados desses elementos não representam risco ambiental (Tabela 15 e Anexos B2 e B5). As anomalias detectadas muito provavelmente são de origem natural, com exceção do cádmio no ponto JM-13, situado no interior de uma fazenda onde se fez uso intenso de agrotóxicos até recentemente.

Tabela 15  
As maiores concentrações de cádmio e cromo em sedimentos de corrente

<b>Elemento</b>	<b>Pontos com maiores teores e respectivas concentrações</b>	<b>Igarapé/Rio</b>	<b>Limiar</b>
Cádmio	JM-18 (0,6 ppm – p.cheia)	Pascoal	Não
	JM-13 (0,3 ppm – p.cheia)	Samaúma	Estabelecido
Cromo	JM-03 (107 ppm – vazante)	Carrapato	Não
	JM-12 (40 ppm – vazante)	Samaúma	Estabelecido

Dos ânions estudados - fluoreto, cloreto e sulfato - , os teores em todas as amostras resultaram em valores muito abaixo dos seus limiares, porém algumas considerações devem ser feitas (Tabela 16). Uma análise do mapa de distribuição do cloro no período da cheia mostra que as anomalias se concentram na porção este-nordeste, representadas pelas amostras JM-3 (igarapé Carrapato), JM-7 e JM-9, ambas no igarapé Murupu (Anexo B14). Sobre as anomalias verificadas no igarapé Murupu, de provável origem antrópica, já foram tecidos comentários quando se discorreu sobre a distribuição do chumbo.

No ponto JM-3, além do teor anômalo para cloro (1,0 mg/L), registram-se os dois maiores valores para sulfato, na vazante (1,9 mg/L) e na cheia (0,9 mg/L), sugerindo também uma origem antrópica (Tabela 16). Conforme se verifica no mapa de

distribuição do sulfato no período de vazante (Anexo B15), a influência da anomalia ligada ao ponto JM-3 atinge o local onde é feita a captação de água da cidade de Boa Vista. Apesar das concentrações de sulfato estarem muito abaixo do seu VMP recomenda-se um constante monitoramento deste parâmetro no local.

Tabela 16  
As maiores concentrações dos ânions estudados nas amostras de água

Ânion	Pontos com maiores teores e respectivas concentrações	Igarapé/Rio	Limiar
Fluoreto	JM-20 (0,14 mg/L – vazante)	Cauamé	1,5 mg/L
	JM-21 (0,10 mg/L – vazante)	Cauamé	
Cloreto	JM-21 (2,01 mg/L – vazante)	Cauamé	250 mg/L
	JM-07 (1,18 mg/L – p.cheia)	Murupu	
	JM-09 (1,10 mg/L – p.cheia)	Murupu	
	JM-03 (1,00 mg/L – p.cheia)	Carrapato	
Sulfato	JM-03 (1,9 mg/L – vazante)	Carrapato	250 mg/L
	JM-03 (0,9 mg/L – p.cheia)	Carrapato	
	JM-07 (0,7 mg/L – vazante)	Murupu	

### 3.4 Classificação das Águas das Drenagens Amostradas

As águas da região apresentam caráter ácido em todas as drenagens amostradas, com pH variando no intervalo de 4,5 a 7,0 (Anexo A). O único valor que não se encaixa nesse intervalo corresponde ao ponto JM-10 (igarapé Água Boa) no período de vazante, onde o pH registrado foi de 3,7, caracterizando as águas mais ácidas de toda a área de estudo. O oxigênio dissolvido, na grande maioria dos locais medidos, registrou valores acima de 2,6 mg/L. Valores abaixo de 2,6 mg/L foram encontrados em quatro pontos, todos no período de vazante: JM-3 (1,88 mg/L), JM-13 (1,70 mg/L), JM-6 (1,63 mg/L) e JM-16 (1,48 mg/L), sendo que neste último, situado no rio Au-Au, na Terra Indígena Sucuba, os moradores próximos relataram mortandade freqüente de peixes. Uma característica comum a esses locais, com exceção do ponto JM-13, é que suas águas encontravam-se quase paradas no momento da medição, fator que auxiliou a agrupá-los por similaridade, conforme se observa na Figura 7. Para a turbidez das águas, medida somente no período de vazante, registraram-se valores normalmente abaixo de 15, exceto nos pontos JM-05, JM-18 e JM-21, com valores respectivamente de 18, 24 e 30.

As características acima apresentadas não permitem que os igarapés e rios amostrados sejam enquadrados em qualquer uma das categorias de classificação de águas definidas pela resolução CONAMA nº 20/86 (BRASIL, 1986). O que ocorre é que essa classificação não contempla as especificidades regionais, como a elevada acidez das águas negras amazônicas. De qualquer modo, numa tentativa simplista, poderia se dizer que as drenagens amostradas estão mais próximas da Classe 2 da CONAMA 20/86, que engloba águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.



## CONCLUSÕES

Os terrenos que compõem as bacias dos igarapés Água Boa, Água Boa de Cima e do rio Cauamé, este em seu médio e baixo curso, pelo que se observou *in loco*, apresentam, em sua maior parte, uma considerável fragilidade natural aos processos erosivos. Esta fragilidade está condicionada, principalmente, ao substrato litológico da região, constituído essencialmente por sedimentos arenosos pouco consolidados e pouco espessos, à cobertura vegetal incipiente (savanas arbustivas) e aos elevados índices pluviométricos, característicos da Região Amazônica. Portanto, apesar de sua morfologia plana, que lhe confere grande estabilidade aos movimentos de massa, a implantação de qualquer projeto agropecuário ou industrial de maior porte deve ser precedida, necessariamente, de estudos biofísicos detalhados, com o objetivo de se prevenir, ou pelo menos atenuar, futuros impactos ambientais.

Dos estudos realizados pode-se constatar que as distribuições dos elementos químicos nas águas e nos sedimentos seguem padrões diferentes, mostrando que diversos processos atuam na dinâmica dos íons dissolvidos nas águas superficiais. Dentre esses processos, podem-se citar a adsorção aos sedimentos e a liberação de formas adsorvidas. Os usos do solo e a sazonalidade de suas práticas também são fatores que interferem na dispersão dos elementos químicos nos corpos hídricos. Conclusões mais detalhadas sobre a variação sazonal na distribuição e composição dos elementos químicos presentes nos sedimentos de corrente das bacias estudadas só serão possíveis com a continuidade das amostragens, em novos períodos hidrológicos.

Pelos resultados apresentados destaca-se o papel que a geoquímica desempenha no mapeamento geológico e na prospecção mineral de uma região. Os mapas geoquímicos constituem ferramentas valiosas para estabelecer, previamente, os contatos entre as unidades geológicas e, além disso, podem indicar, de modo preliminar, a composição química dos terrenos drenados pelos rios e igarapés amostrados.

Enfatiza-se a importância da execução de um programa de monitoramento contínuo da qualidade das águas e dos sedimentos nas bacias estudadas, visto que a maior parte da população do Estado de Roraima se concentra em sua capital. As drenagens amostradas servem como áreas de lazer (balneários) para a população de Boa Vista, e a continuação dos estudos contribuirá para a plena conservação desses locais, assim como para monitorar a qualidade das águas captadas no rio Branco para o abastecimento doméstico.

O igarapé Murupu, devido às anomalias detectadas de chumbo, zinco, cloro e sulfato, se constitui numa drenagem que merece, prioritariamente, uma melhor investigação. Um monitoramento de prazo mais dilatado, com detalhamento das amostragens, é recomendado neste caso. De modo semelhante, a foz do rio Cauamé é um local que requer maior atenção, pois está situada logo a montante do ponto de captação da água que abastece a capital. As anomalias de chumbo e sulfato detectadas nesse local sugerem que se faça um monitoramento constante da qualidade de suas águas, com freqüentes coletas de amostras e análises químicas.

O ponto JM-13, localizado no igarapé Samaúma, afluente da margem esquerda do rio Cauamé, apresenta anomalias de diversos elementos químicos, como chumbo, zinco, cádmio, bário, magnésio e cálcio, nas amostras de água e/ou nas de sedimento de corrente. Boa parte dessas anomalias deve estar ligada a atividades antrópicas, visto que estas amostras foram coletadas no interior da Fazenda Bamerindus (hoje desapropriada), onde, segundo informações locais, foi intenso até pouco tempo atrás o uso de defensivos agrícolas, pesticidas, praguicidas e adubos químicos. O igarapé Samaúma, portanto, é outra drenagem onde se faz necessário um detalhamento da amostragem e um monitoramento de prazo mais longo.

Uma atividade observada na região e que, por enquanto, tem impacto apenas pontual, é a extração de cascalho laterítico (piçarra) para recuperação de estradas secundárias. De qualquer maneira, anomalias de diversos elementos químicos foram detectadas logo a jusante de uma dessas áreas de extração, no igarapé Carrapato. Uma eventual expansão dessas atividades deve ser cuidadosamente monitorada, para que sejam evitadas degradações ambientais de qualquer natureza (assoreamento de drenagens, poluição de aquíferos, etc.).

## OBRAS CONSULTADAS

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 20**, de 18 de junho de 1986. Brasília: SEMA, 1986.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Portaria nº 1.469/2000**, de 29 de dezembro de 2000: aprova o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2001.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima**. Manaus: 2002.

CUNHA, F. G. et al. **Levantamento Geoquímico do Estado do Rio de Janeiro**. In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2000.

FENZL, Norberto. **Introdução à Hidrogeoquímica**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1988.

FREITAS, Marcelo Bessa de; BRILHANTE, Ogenis Magno; ALMEIDA, Liz Maria de. Importância da Análise de Água para a Saúde Pública em duas Regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.17, n.3, p.651-660, mai-jun, 2001.

FURASTÉ, Pedro Augusto<sup>1</sup>. **Normas Técnicas para o Trabalho Científico**. 11.ed. Porto Alegre: 2002.

LEVINSON, A. A. **Introduction to Exploration Geochemistry**. Canadá: Applied Publishing, 1974.

LICHT, O. A .B. **Prospecção Geoquímica: Princípios, Técnicas e Métodos**. Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

PATHAK, S. P.; KUMAR, S. et al. Potability of water sources in relation to metal and bacterial contamination in some northern and northern-eastern districts of India. **Environmental Monitoring and Assessment**, n.33, p.151-160, 1994.

---

<sup>1</sup> Obra utilizada como referência para a formatação deste trabalho.

PRATER, B.; ANDERSON, M. A. A. 96-Hour Bioassays of Otter Creek **Jour. Water Pollution Control Federation**, p.2099-2106, 1977.

REIS, Nelson Joaquim; Faria, Mário Sérgio Gomes de. **Geologia e Recursos Minerais**. In: Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima. Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2002.

SANTOS, Almany Costa. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, Fernando Carneiro; MANOEL FILHO, João (coord.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM/UFPE, 1997.

SZIKSZAY, Maria. Geoquímica das Águas. **Boletim IG**, nº. 5, São Paulo: 1993.

Consulta a internet:

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB

Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> . Acesso em 18 set. 2002.

# **ANEXOS**

# **ANEXO A**

## **RESULTADOS ANALÍTICOS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS MEDIDOS NO CAMPO**

**LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS - LAMIN**  
**ANÁLISES DE ÁGUA - PERÍODO DE CHEIA**

**Data: 17/08/01**

Método Elemento No. de campo	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	SOMA DOS
	Al mg/L	Ba mg/L	Ca mg/L	Fe mg/L	Li mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Mo mg/L	Pb mg/L	Sc mg/L	Si mg/L	Sr mg/L	Zn mg/L	CÁTIONS
JM-A-001	L	0,005	0,15	0,048	0,001	0,06	0,010	L	0,012	L	3,41	0,001	L	3,69
JM-A-002	L	0,009	0,26	0,091	0,001	0,14	0,007	L	0,013	0,006	4,38	0,003	0,004	4,91
JM-A-003	L	0,004	0,44	0,127	L	0,11	0,011	L	0,009	0,008	4,75	0,005	L	5,46
JM-A-004	L	0,010	0,27	0,087	0,001	0,16	0,010	L	0,008	0,006	4,70	0,004	0,001	5,25
JM-A-005	L	0,008	0,30	0,140	0,001	0,17	0,013	L	0,010	0,008	6,07	0,002	L	6,73
JM-A-006	L	0,009	0,29	0,111	0,001	0,16	0,019	L	0,012	0,008	4,93	0,002	L	5,53
JM-A-007	L	0,010	0,22	0,106	0,001	0,14	0,008	L	L	0,007	6,11	0,002	0,001	6,61
JM-A-008	0,2	0,012	0,35	0,163	0,002	0,22	0,009	L	L	0,007	6,80	0,004	L	7,75
JM-A-009	L	0,010	0,14	0,048	0,001	0,12	0,006	L	0,021	0,008	5,69	0,002	L	6,04
JM-A-010	L	0,005	0,02	0,024	0,001	0,01	0,002	0,006	0,012	L	2,59	L	L	2,67
JM-A-011	L	0,010	0,21	0,082	0,001	0,12	0,007	0,005	0,009	0,007	3,72	0,003	0,001	4,17
JM-A-012	L	0,012	0,31	0,161	0,001	0,24	0,011	L	0,018	0,006	7,51	0,004	L	8,27
JM-A-013	L	0,019	0,62	0,336	0,002	0,43	0,020	L	0,014	0,006	10,63	0,007	0,013	12,09
JM-A-014	L	0,007	0,09	0,036	0,001	0,05	0,008	L	0,006	0,005	5,06	0,002	L	5,27
JM-A-015	L	0,007	0,17	0,056	L	0,09	0,009	0,008	L	0,005	2,98	0,002	L	3,33
JM-A-016	L	0,008	0,19	0,090	0,001	0,11	0,005	L	L	0,005	3,64	0,003	L	4,05
JM-A-017	L	0,006	0,17	0,058	0,001	0,09	0,004	0,006	0,009	L	3,68	0,002	L	4,02
JM-A-018	L	0,012	0,29	0,191	0,001	0,17	0,008	L	0,014	L	7,19	0,006	L	7,88
JM-A-019	L	0,024	0,80	0,319	0,002	0,48	0,038	L	0,011	L	8,39	0,012	0,003	10,07
JM-A-020	L	0,016	0,92	0,275	0,001	0,66	0,023	0,006	L	0,006	9,17	0,011	L	11,08
JM-A-021	L	0,016	0,54	0,207	0,001	0,46	0,020	0,005	L	L	7,88	0,007	0,008	9,14
JM-A-022A	0,2	0,024	1,24	0,284	0,001	0,47	0,007	0,005	0,006	L	6,66	0,017	L	8,93
JM-A-22B	0,2	0,024	1,27	0,320	L	0,47	0,005	0,005	0,006	0,008	6,50	0,017	L	8,82
JM-A-022C	0,1	0,026	1,09	0,236	0,001	0,40	0,006	0,008	0,017	0,008	6,84	0,015	L	8,80
JM-A-023	L	0,003	0,03	0,034	L	0,02	0,004	L	L	0,008	4,43	L	L	4,54

L - Valores abaixo do limite de determinação do método.

Obs.: Também foram analisados os elementos As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Se, Sn, Ti, V e W, porém as concentrações, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do limite de determinação.



**LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS - LAMIN**  
**ANÁLISES DE ÁGUA - PERÍODO DE CHEIA**

**Data: 20.09.01**

Método	Cromatografia	Cromatografia	Cromatografia	Cromatografia	SOMA DOS	CÁTIONS +
Elemento No. de campo	F <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/L)	ÂNIIONS	ÂNIIONS
JM-A-001	L	0,45	0,1	0,2	0,75	4,44
JM-A-002	0,01	0,82	0,1	0,2	1,13	6,04
JM-A-003	L	1,00	0,1	0,9	2,00	7,46
JM-A-004	L	0,81	0,1	0,1	1,01	6,26
JM-A-005	0,01	0,88	L	0,2	1,09	7,82
JM-A-006	0,02	0,85	0,1	0,1	1,07	6,6
JM-A-007	0,01	1,18	0,1	0,2	1,49	8,1
JM-A-008	0,02	0,95	0,1	0,1	1,17	8,92
JM-A-009	L	1,10	0,1	0,1	1,30	7,34
JM-A-010	L	0,63	0,1	0,1	0,83	3,5
JM-A-011	L	0,77	0,2	0,1	1,07	5,24
JM-A-012	0,01	0,73	0,1	0,1	0,94	9,21
JM-A-013	0,03	0,87	0,2	0,1	1,20	13,29
JM-A-014	L	0,84	L	0,1	0,94	6,21
JM-A-015	L	0,72	L	0,1	0,82	4,15
JM-A-016	0,01	0,83	L	0,1	0,94	4,99
JM-A-017	0,01	0,77	L	L	0,78	4,8
JM-A-018	0,02	0,46	L	0,1	0,58	8,46
JM-A-019	0,02	0,85	0,1	0,1	1,07	11,14
JM-A-020	0,02	0,87	0,1	0,1	1,09	12,17
JM-A-021	0,02	0,76	L	0,1	0,88	10,02
JM-A-022A	0,03	1,00	0,9	0,3	2,23	11,16
JM-A-22B	0,06	0,92	0,9	0,4	2,28	11,1
JM-A-022C	0,03	1,17	0,9	0,2	2,30	11,1
JM-A-023	L	0,98	0,1	0,3	1,38	5,92

L - Valores abaixo do limite de determinação do método.

Obs.: Também foram analisados os íons NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Br<sup>-</sup> e PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, porém as concentrações, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do limite de determinação.

**LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS - LAMIN**  
**ANÁLISES DE ÁGUA - PERÍODO DE VAZANTE**

**Data: 25.03.02**

Método	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	SOMA DOS
Elemento No. de campo	Al mg/L	Ba mg/L	Ca mg/L	Fe mg/L	Li mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Pb mg/L	Si mg/L	Sr mg/L	Zn mg/L	CÁTIONS
JM-A01A	0,2	0,003	L	0,029	0,001	0,01	0,002	0,009	3,87	L	L	4,10
JM-A02A	0,3	0,007	0,34	0,062	0,001	0,12	0,015	L	4,89	0,006	L	5,76
JM-A03A	L	0,004	0,70	0,137	0,001	0,13	0,018	L	5,28	0,007	L	6,28
JM-A04A	L	0,007	0,21	0,085	0,001	0,11	0,012	L	4,87	0,003	L	5,29
JM-A05A	L	0,007	0,27	0,038	0,001	0,14	0,003	L	5,23	0,002	L	5,69
JM-A06A	L	0,008	0,39	0,174	0,001	0,19	0,037	L	4,02	0,003	L	4,82
JM-A07A	0,2	0,010	0,81	0,039	0,001	0,13	0,005	0,030	5,09	0,004	0,008	6,37
JM-A08A	0,4	0,011	0,29	0,087	0,001	0,20	0,009	L	8,50	0,003	L	9,46
JM-A09A	L	0,009	0,05	0,063	0,001	0,10	0,005	L	4,65	0,001	L	4,88
JM-A10A	L	0,003	L	0,013	0,001	0,01	0,001	0,005	3,89	L	L	3,92
JM-A11A	L	0,008	0,09	0,073	0,001	0,07	0,025	L	4,49	0,002	L	4,75
JM-A12A	L	0,011	0,37	0,210	0,001	0,26	0,017	L	6,92	0,004	L	7,79
JM-A13A	0,2	0,028	1,16	0,657	0,002	0,77	0,052	L	12,95	0,013	L	15,78
JM-A14A	L	0,005	L	0,050	0,001	0,02	0,007	L	4,21	0,001	L	4,29
JM-A15A	L	0,006	0,06	0,057	0,001	0,05	0,007	L	3,81	0,002	L	3,99
JM-A16A	0,3	0,012	0,47	0,081	0,001	0,20	0,088	L	4,77	0,006	0,003	5,89
JM-A17A	1,1	0,017	0,53	0,165	0,001	0,26	0,556	L	5,61	0,007	0,001	8,22
JM-A18A	0,7	0,016	0,53	0,201	0,001	0,24	0,010	L	8,56	0,009	0,001	10,29
JM-A19A	1,0	0,025	1,14	0,272	0,001	0,62	0,098	L	10,35	0,016	0,001	13,53
JM-A20A	1,0	0,024	1,58	0,573	0,003	1,03	0,024	L	14,39	0,019	0,003	18,61
JM-A21A	1,0	0,023	0,81	0,049	0,001	0,65	0,031	0,011	11,72	0,011	0,004	14,31
JM-A22D	0,6	0,025	1,88	0,107	0,001	0,70	0,007	L	7,25	0,024	L	10,55
JM-A22E	L	0,025	1,80	0,085	0,001	0,66	0,001	L	7,09	0,023	L	9,69
JM-A22F	0,2	0,027	1,88	0,066	0,001	0,67	0,005	0,008	6,95	0,023	L	9,86
JM-A23A	0,3	0,003	L	0,020	0,001	0,01	0,001	L	3,61	L	0,001	3,94
EM-A01	L	0,024	1,64	0,079	0,001	0,59	0,003	L	6,55	0,021	0,001	8,91
EM-A02	0,2	0,010	0,20	0,085	0,001	0,08	0,026	0,008	4,58	0,003	0,003	5,20

L - Valores abaixo do limite de determinação do método.

Obs.: Também foram analisados os elementos As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Sc, Se, Sn, Ti, V e W, porém as concentrações, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do limite de determinação.

**LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS - LAMIN**  
**ANÁLISES DE ÁGUA - PERÍODO DE VAZANTE**

**Data 13.03.02**

Método	Cromatografia	Cromatografia	Cromatografia	Cromatografia	SOMA DOS	CÁTIONS +	Volumetria
Elemento No. de campo	F (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/L)	ÂNIONS	ÂNIONS	Mat.Orgânica (mg/L)
JM-A01A	0,01	0,28	0,3	0,3	0,88	4,98	L
JM-A02A	0,02	0,33	0,1	0,7	1,15	6,91	5
JM-A03A	0,02	0,33	0,1	1,9	2,35	8,63	5
JM-A04A	0,03	0,32	L	0,2	0,55	5,84	15
JM-A05A	0,03	0,44	0,1	0,4	0,97	6,66	10
JM-A06A	0,03	0,40	0,3	0,1	0,83	5,65	15
JM-A07A	0,04	0,61	0,1	0,7	1,45	7,82	L
JM-A08A	0,08	0,37	0,3	0,3	1,05	10,51	5
JM-A09A	0,04	0,40	0,2	0,1	0,74	5,62	5
JM-A10A	0,01	0,62	0,2	0,3	1,13	5,05	10
JM-A11A	0,02	0,37	L	0,2	0,59	5,34	25
JM-A12A	0,04	0,28	0,2	0,1	0,62	8,41	20
JM-A13A	0,10	0,62	0,2	0,1	1,02	16,8	15
JM-A14A	0,02	0,26	0,3	0,1	0,68	4,97	L
JM-A15A	0,02	0,21	L	0,1	0,33	4,32	L
JM-A16A	0,02	0,28	0,1	L	0,40	6,29	L
JM-A17A	0,03	0,17	0,2	L	0,40	8,62	5
JM-A18A	0,05	1,01	0,3	0,1	1,46	11,75	L
JM-A19A	0,07	0,67	0,2	L	0,94	14,47	5
JM-A20A	0,14	1,00	0,2	0,1	1,44	20,05	15
JM-A21A	0,10	2,01	0,1	L	2,21	16,52	10
JM-A22D	0,06	0,42	0,1	0,2	0,78	11,33	5
JM-A22E	0,05	0,32	0,1	0,2	0,67	10,36	L
JM-A22F	0,05	0,35	0,1	0,2	0,70	10,56	5
JM-A23A	0,01	0,65	0,2	0,3	1,16	5,1	L
EM-A01	0,05	0,40	0,3	0,3	1,05	9,96	L
EM-A02	0,02	0,65	0,2	0,2	1,07	6,27	5

L - Valores abaixo do limite de determinação do método.

Obs.: Também foram analisados os ânions NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Br<sup>-</sup> e PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, porém as concentrações, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do limite de determinação.

**LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS - LAMIN**  
**ANÁLISE DE ELEMENTOS TRAÇOS EM SEDIMENTOS DE CORRENTE**  
**PERÍODO DE CHEIA**

**Data: 28/08/01**

Método	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES
Elemento No. de campo	% Al	ppm As	ppm B	ppm Ba	ppm Be	% Ca	ppm Cd	ppm Co	ppm Cr	ppm Cu	ppm La	ppm Li	% Mg	ppm Mn	ppm Mo
JM-S-001	0,13	L	L	6,6	L	0,02	0,2	1,1	6	3	4	0,3	0,01	15	L
JM-S-002	0,05	L	2,0	11,7	L	L	L	4,1	6	1	3	0,2	L	116	0,3
JM-S-003	0,27	L	L	2,2	L	L	0,3	0,5	20	3	L	0,2	L	12	0,3
JM-S-004	0,08	L	L	9,4	L	L	L	1,2	5	1	6	0,3	L	26	0,3
JM-S-005	0,22	L	L	54,2	0,2	0,08	0,2	11,3	16	10	5	1,4	0,08	298	0,4
JM-S-006	0,51	L	L	119,2	0,3	0,32	0,2	8,8	14	11	11	1,5	0,06	644	L
JM-S-007	0,08	L	0,5	8,9	L	L	L	0,4	7	L	5	0,1	L	8	0,5
JM-S-008	0,09	L	0,7	13,2	L	L	L	0,4	8	1	5	0,3	L	15	0,6
JM-S-009	0,09	L	1,3	7,9	L	L	L	0,2	7	L	L	0,2	L	8	0,5
JM-S-010	0,06	L	L	0,7	L	L	L	0,3	9	L	L	L	L	5	0,5
JM-S-011	0,07	L	L	6,7	L	L	L	0,6	7	L	6	0,2	L	15	0,3
JM-S-012	0,12	L	L	15,0	0,2	L	0,1	1,7	13	3	14	0,4	0,02	24	0,5
JM-S-013	0,26	L	L	33,3	0,4	0,01	0,3	5,1	15	4	23	1,6	0,07	72	L
JM-S-014	0,10	L	1,1	7,9	L	L	L	1,1	5	L	9	0,3	L	40	0,3
JM-S-015	0,05	L	0,6	3,9	L	L	L	0,3	5	L	20	0,1	L	6	0,3
JM-S-016	0,06	L	1,6	2,6	L	L	L	0,4	10	L	5	L	L	27	0,4
JM-S-017	0,63	L	L	17,5	0,4	0,02	L	1,3	12	6	9	1,0	L	23	0,5
JM-S-018	0,22	L	L	125,7	1,1	0,04	0,6	8,0	18	12	43	0,6	0,08	134	0,4
JM-S-019	0,18	L	L	27,4	0,2	0,02	0,2	5,9	16	3	29	0,8	0,04	222	0,4
JM-S-020	0,14	L	0,7	21,0	0,2	0,01	L	3,3	13	2	8	1,0	0,04	126	0,3
JM-S-021	0,31	0,8	L	51,1	0,6	0,03	0,3	11,8	26	7	22	3,2	0,09	410	0,4
JM-S-022A	1,50	L	L	163,9	1,2	0,12	0,8	14,3	43	18	21	10,3	0,16	780	L
JM-S-022C	0,72	L	L	87,3	0,7	0,05	0,4	5,7	21	7	15	4,5	0,08	290	L
JM-S-023	0,33	L	1,4	4,0	L	L	L	0,4	9	L	4	0,3	L	7	0,3

**LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS - LAMIN**  
**ANÁLISE DE ELEMENTOS TRAÇOS EM SEDIMENTOS DE CORRENTE**  
**PERÍODO DE CHEIA**

Data: 28/08/01

Método	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	ICP/AES	FRX	FRX	FRX
Elemento No. de campo	ppm Ni	ppm P	ppm Pb	ppm Sc	ppm Sn	ppm Sr	ppm Ti	ppm V	ppm Y	ppm W	ppm Zn	ppm Nb	ppm Zr	ppm Rb
JM-S-001	1,4	17	2,9	1,7	L	1,8	53	20	2,5	L	4,8	70	2834	28
JM-S-002	3,1	25	1,4	0,4	L	0,8	28	7	1,2	L	5,8	44	305	38
JM-S-003	1,9	20	2,2	2,7	L	0,3	80	36	0,5	L	5,0	68	2175	27
JM-S-004	3,0	17	1,3	0,6	L	0,7	54	5	1,7	L	2,8	52	1540	36
JM-S-005	9,7	27	2,5	2,9	L	2,4	367	31	3,2	L	22,9	51	883	37
JM-S-006	5,7	40	2,7	3,3	L	7,0	6	28	6,2	L	11,6	49	1047	29
JM-S-007	3,6	10	2,8	0,6	L	0,3	107	2	1,0	L	1,8	69	1647	32
JM-S-008	4,0	23	2,8	0,5	L	0,6	43	6	1,4	L	2,7	67	2496	34
JM-S-009	6,1	12	1,6	0,3	L	0,3	37	1	0,4	L	2,4	58	599	37
JM-S-010	4,7	7	1,6	0,4	L	0,1	98	2	0,2	L	2,4	69	636	34
JM-S-011	3,3	23	1,8	0,4	L	0,5	48	5	1,7	L	2,5	60	1505	41
JM-S-012	6,2	33	2,8	1,0	L	0,7	113	11	3,8	0,5	6,9	52	644	53
JM-S-013	6,7	55	3,9	2,1	L	1,5	238	20	6,8	0,8	18,4	45	778	68
JM-S-014	2,1	19	2,1	0,7	L	0,6	57	4	1,9	L	2,2	62	1142	38
JM-S-015	2,3	29	3,2	0,5	L	0,3	79	1	4,2	L	1,7	85	3901	35
JM-S-016	3,2	24	1,1	2,2	L	0,2	18	1	1,5	L	2,0	59	1370	38
JM-S-017	4,5	233	4,0	0,4	L	2,1	14	11	2,9	L	5,7	95	2855	46
JM-S-018	10,3	168	6,1	2,8	L	10,1	169	41	20,2	0,8	27,2	145	3427	32
JM-S-019	6,6	80	6,3	1,5	L	2,3	266	14	6,1	L	8,6	61	2541	47
JM-S-020	5,8	33	2,5	0,9	L	1,6	97	9	2,2	L	6,3	48	763	45
JM-S-021	8,6	59	12,8	2,0	L	4,0	135	29	7,8	0,5	17,6	40	365	78
JM-S-022A	11,4	618	8,9	6,4	0,8	16,9	299	51	13,4	1,6	57,6	52	667	85
JM-S-022C	5,4	271	6,5	3,3	L	7,4	211	26	8,1	0,8	29,7	61	1426	81
JM-S-023	3,0	28	1,9	1,3	L	0,4	108	11	1,2	L	2,2	88	2285	38

**LABORATÓRIO DE ANÁLISES MINERAIS - LAMIN**  
**ANÁLISE DOS ÓXIDOS MAIORES EM SEDIMENTOS DE CORRENTE**  
**PERÍODO DE CHEIA**

Data: 03/09/01

Método	Color.	AA	AA	AA	AA	AA	AA	Volum.	Volum.	Color.	AA	Grav.	Grav.
Óxido No. de campo	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	P.Fogo	M.Org.
JM-S-001	91,4	2,4	L	0,05	0,12	0,11	0,93	2,2	0,19	0,02	L	1,9	1,2
JM-S-002	95,8	1,4	L	0,05	0,11	0,58	0,21	0,96	L	0,02	L	0,52	0,37
JM-S-003	90,4	3,3	L	L	0,05	L	0,93	2,6	0,26	0,02	L	2,6	2,2
JM-S-004	95,8	1,4	L	0,05	0,10	0,15	0,42	0,51	0,12	0,02	L	0,77	0,43
JM-S-005	90,8	2,4	0,16	0,23	0,81	0,21	0,62	2,0	0,28	0,10	0,05	2,2	1,6
JM-S-006	78,5	6,6	0,21	0,05	0,27	L	0,73	3,0	0,77	0,05	0,09	9,1	6,4
JM-S-007	95,8	0,94	L	L	0,05	L	0,83	0,87	L	0,15	L	0,65	0,77
JM-S-008	95,3	0,94	L	L	0,05	L	0,73	0,43	0,26	0,08	L	1,9	1,7
JM-S-009	96,4	0,94	L	L	0,05	L	0,31	0,49	0,14	0,02	L	1,3	1,1
JM-S-010	97,3	0,71	L	L	0,05	L	0,83	0,61	L	0,12	L	0,44	0,56
JM-S-011	95,9	1,4	L	0,07	0,08	0,36	0,73	0,74	0,19	0,10	L	0,88	0,60
JM-S-012	94,9	1,9	L	L	0,08	0,61	0,52	1,2	0,19	0,02	L	0,91	0,65
JM-S-013	88,5	5,2	0,14	0,10	0,22	0,24	0,52	2,2	0,26	0,04	L	2,5	1,8
JM-S-014	95,8	1,4	L	L	0,05	0,19	0,62	0,59	0,19	0,07	L	1,0	0,77
JM-S-015	95,9	0,94	L	L	L	0,07	1,1	1,4	0,19	0,21	L	0,55	0,50
JM-S-016	97,7	0,47	L	L	L	L	0,31	0,36	0,26	0,26	L	1,30	1,20
JM-S-017	73,0	6,6	L	0,07	0,07	0,05	1,0	0,37	1,0	0,14	L	17,4	14,5
JM-S-018	82,4	4,7	0,13	0,10	0,17	1,60	1,20	5,40	0,28	0,11	L	3,00	1,80
JM-S-019	87,6	3,8	0,11	0,35	0,54	1,3	1,6	2,7	0,48	0,26	0,09	1,6	1,2
JM-S-020	93,4	1,9	0,07	0,14	0,11	0,48	0,42	1,3	0,26	0,14	L	1,4	0,96
JM-S-021	86,1	5,7	0,16	0,28	0,68	1,7	0,21	2,6	0,22	0,03	0,05	2,3	1,2
JM-S-022A	53,5	19,8	0,46	0,28	0,41	1,70	1,10	4,30	2,40	0,20	0,09	16,40	13,90
JM-S-022C	74,4	10,4	0,21	0,54	0,68	1,9	1,2	2,7	1,2	0,10	0,08	6,3	5,1
JM-S-023	90,6	3,3	L	L	0,41	L	1,0	1,2	0,33	0,14	L	2,5	3,4

L - Valores abaixo do limite de determinação do método.

**LABORATÓRIO BONDAR CLEGG BRASIL LTDA**  
**ANÁLISE DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS EM SEDIMENTOS DE CORRENTE**  
**PERÍODO DE VAZANTE**

Data: 08/08/02

MÉTODO ICP														
Elemento No. de campo	ppm Cu	ppm Pb	ppm Zn	ppm Ni	ppm Co	% Fe	ppm Mn	ppm Ba	ppm Cr	ppm V	ppm La	% Al	% Mg	% Ca
JM-S-01A	4	3	4	2	1	0,72	21	5	17	24	3	0,19	L	0,01
JM-S-02A	2	L	3	2	3	0,23	154	11	19	5	8	0,07	L	L
JM-S-03A	21	11	14	1	L	8,13	13	2	107	307	2	0,91	L	L
JM-S-04A	5	L	8	5	12	0,65	528	50	35	17	11	0,19	0,02	0,02
JM-S-05A	7	2	9	5	7	0,63	118	27	13	22	8	0,28	0,06	0,06
JM-S-06A	6	2	6	3	4	0,36	234	26	13	15	7	0,4	0,02	0,02
JM-S-07A	1	2	L	L	L	0,05	7	4	9	2	6	0,1	L	L
JM-S-08A	2	2	3	2	2	0,25	109	10	7	7	5	0,26	L	L
JM-S-09A	2	3	4	1	L	0,1	12	7	15	2	2	0,3	L	L
JM-S-10A	1	L	L	L	L	0,07	6	L	8	2	L	0,09	L	L
JM-S-11A	3	5	4	2	1	0,38	38	10	11	9	59	0,16	L	L
JM-S-12A	4	3	8	4	3	0,84	140	20	40	17	15	0,16	0,02	0,01
JM-S-13A	4	2	12	5	5	0,91	185	31	21	16	17	0,26	0,04	0,02
JM-S-14A	1	L	L	L	L	0,09	21	4	14	2	12	0,08	L	L
JM-S-15A	2	3	2	1	L	0,12	13	5	17	4	32	0,1	L	0,01
JM-S-16A	3	19	1	1	1	0,19	101	15	18	2	6	0,1	L	0,02
JM-S-17A	3	3	2	1	2	0,15	83	15	10	4	19	0,14	L	0,01
JM-S-18A	8	3	16	7	7	1,45	148	54	20	24	22	0,25	0,04	0,03
JM-S-19A	3	4	7	3	7	0,63	627	37	21	12	17	0,17	0,02	0,02
JM-S-20A	4	7	9	4	6	0,54	221	50	21	15	46	0,29	0,04	0,03
JM-S-21A	6	9	15	8	13	1,18	576	78	33	28	17	0,36	0,09	0,03
JM-S-22D	2	4	12	3	3	0,54	113	30	13	11	28	0,38	0,03	0,03
JM-S-22F	6	8	32	7	7	1,35	301	88	20	23	20	0,93	0,07	0,04
JM-S-23A	2	L	2	1	L	0,15	9	5	17	4	4	0,18	L	0,01
EM-S-02	2	L	6	2	2	1,35	50	13	19	8	6	0,12	L	L

L - Valores abaixo do limite de determinação do método.

**LABORATÓRIO BONDAR CLEGG BRASIL LTDA**  
**ANÁLISE DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS EM SED. DE CORRENTE**  
**PERÍODO DE VAZANTE**

Data: 08/08/02

<b>MÉTODO ICP</b>								
Elemento No. de campo	% K	ppm Sr	ppm Y	ppm Li	ppm Nb	ppm Sc	% Ti	ppm Zr
JM-S-01A	L	L	2	L	2	L	L	3
JM-S-02A	L	L	1	L	L	L	L	L
JM-S-03A	L	L	L	L	27	16	0,025	10
JM-S-04A	0,01	2	3	L	1	L	0,013	2
JM-S-05A	L	1	3	1	2	L	0,035	5
JM-S-06A	L	1	3	L	1	L	L	2
JM-S-07A	L	L	1	L	L	L	0,011	1
JM-S-08A	L	L	1	L	L	L	0,012	2
JM-S-09A	L	L	L	L	L	L	L	2
JM-S-10A	L	L	L	L	L	L	0,013	2
JM-S-11A	L	L	9	L	L	L	0,015	1
JM-S-12A	0,03	1	4	L	1	L	L	L
JM-S-13A	0,06	2	5	L	1	L	0,015	1
JM-S-14A	L	L	2	L	L	L	0,012	1
JM-S-15A	L	1	6	L	L	L	0,012	1
JM-S-16A	L	2	1	L	L	L	L	L
JM-S-17A	L	1	3	L	L	L	L	L
JM-S-18A	0,02	10	13	L	2	L	0,012	2
JM-S-19A	0,03	3	4	L	L	L	0,012	L
JM-S-20A	0,04	2	8	2	1	L	0,015	1
JM-S-21A	0,07	4	6	3	2	L	0,017	2
JM-S-22D	0,03	4	6	2	1	L	0,047	7
JM-S-22F	0,07	7	9	4	2	L	0,038	6
JM-S-23A	L	2	1	L	L	L	0,01	2
EM-S-02	0,01	L	3	L	L	L	L	1

L - Valores abaixo do limite de determinação do método.

Obs.: Também foram analisados os elementos Ag, Mo, Cd, Bi, As, Sb, Te, Sn, W, Na, Ga, Ta e S, porém as concentrações, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do limite de determinação.



## PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS MEDIDOS NO CAMPO

Estação	PERÍODO DE CHEIA			PERÍODO DE VAZANTE			
	pH	OD (mg/L)	Condutividade (mhos/cm)	pH	OD (mg/L)	Condutividade (mhos/cm)	Turbidez (UNT)
JM-A-001	6,1	3,4	0,0034	4,8	6,93	0,002	2
JM-A-002	6,0	3,3	0,0045	5,8	6,67	0,003	10
JM-A-003	6,0	3,0	0,0059	5,3	1,88	0,006	14
JM-A-004	7,0	3,7	0,0053	6,1	6,10	0,001	7
JM-A-005	6,1	3,5	0,0073	5,9	6,65	0,003	18
JM-A-006	5,9	3,5	0,0054	5,5	1,63	0,004	8
JM-A-007	6,1	4,1	X	5,6	4,46	0,004	13
JM-A-008	5,8	4,2	0,0082	6,3	3,90	0,008	5
JM-A-009	6,0	8,4	X	6,3	6,90	0,003	10
JM-A-010	5,8	2,9	0,0028	3,7	5,10	0,001	1
JM-A-011	6,7	3,1	0,0101	5,9	7,10	0,001	7
JM-A-012	6,2	3,3	0,0147	5,5	6,00	0,007	7
JM-A-013	6,3	4,6	0,0100	6,0	1,70	0,026	15
JM-A-014	6,3	3,0	0,0037	5,6	5,63	0,001	10
JM-A-015	5,6	3,5	0,0042	5,5	7,09	0,001	10
JM-A-016	5,9	3,3	0,0053	5,5	1,48	0,005	8
JM-A-017	6,0	3,0	0,0042	5,3	6,80	0,01	10
JM-A-018	6,2	3,2	0,0067	5,7	4,54	0,007	24
JM-A-019	6,2	3,2	X	6,2	3,40	0,023	11
JM-A-020	6,0	3,5	X	6,2	2,60	0,038	10
JM-A-021	6,1	3,6	X	4,5	5,10	0,032	30
JM-A-022A	6,1	3,3	0,0132	5,7	3,03	0,03	16
JM-A-22B	6,2	3,5	0,0129	5,9	2,72	0,03	16
JM-A-022C	6,3	3,2	0,0121	6,2	3,28	0,029	33
JM-A-023	6,1	3,4	X	5,2	5,54	0,001	7
EM-A-01	NE	NE	NE	5,8	5,95	0,025	10
EM-A-02	NE	NE	NE	6,3	5,51	0,001	8

NE - Medidas não efetuadas (locais não amostrados no período de cheia).

X - Medidas não efetuadas devido a problemas na aparelhagem.

## **ANEXO B**

# **MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DOS ELEMENTOS QUÍMICOS SELECIONADOS**

**ANEXO B1 – Mapa da distribuição do zinco em sedimentos de corrente na cheia**

**ANEXO B2 – Mapa da distribuição do cádmio em sedimentos de corrente na cheia**

**ANEXO B3 – Mapa da distribuição do vanádio em sedimentos de corrente na cheia**

**ANEXO B4 – Mapa da distribuição do alumínio em sedimentos de corrente na cheia**

**ANEXO B5 – Mapa da distribuição do cromo em sedimentos de corrente na vazante**

**ANEXO B6 – Mapa da distribuição do bário em sedimentos de corrente na vazante**

**ANEXO B7 – Mapa da distribuição do magnésio em sedimentos de corrente na vazante**

**ANEXO B8 – Mapa da distribuição do cálcio em água superficial na cheia**

**ANEXO B9 – Mapa da distribuição do bário em água superficial na vazante**

**ANEXO B10 – Mapa da distribuição do chumbo em água superficial na vazante**

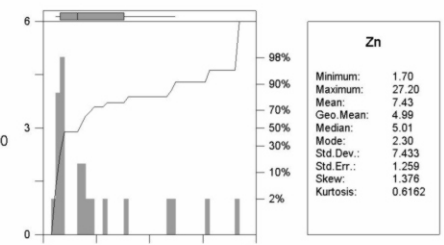
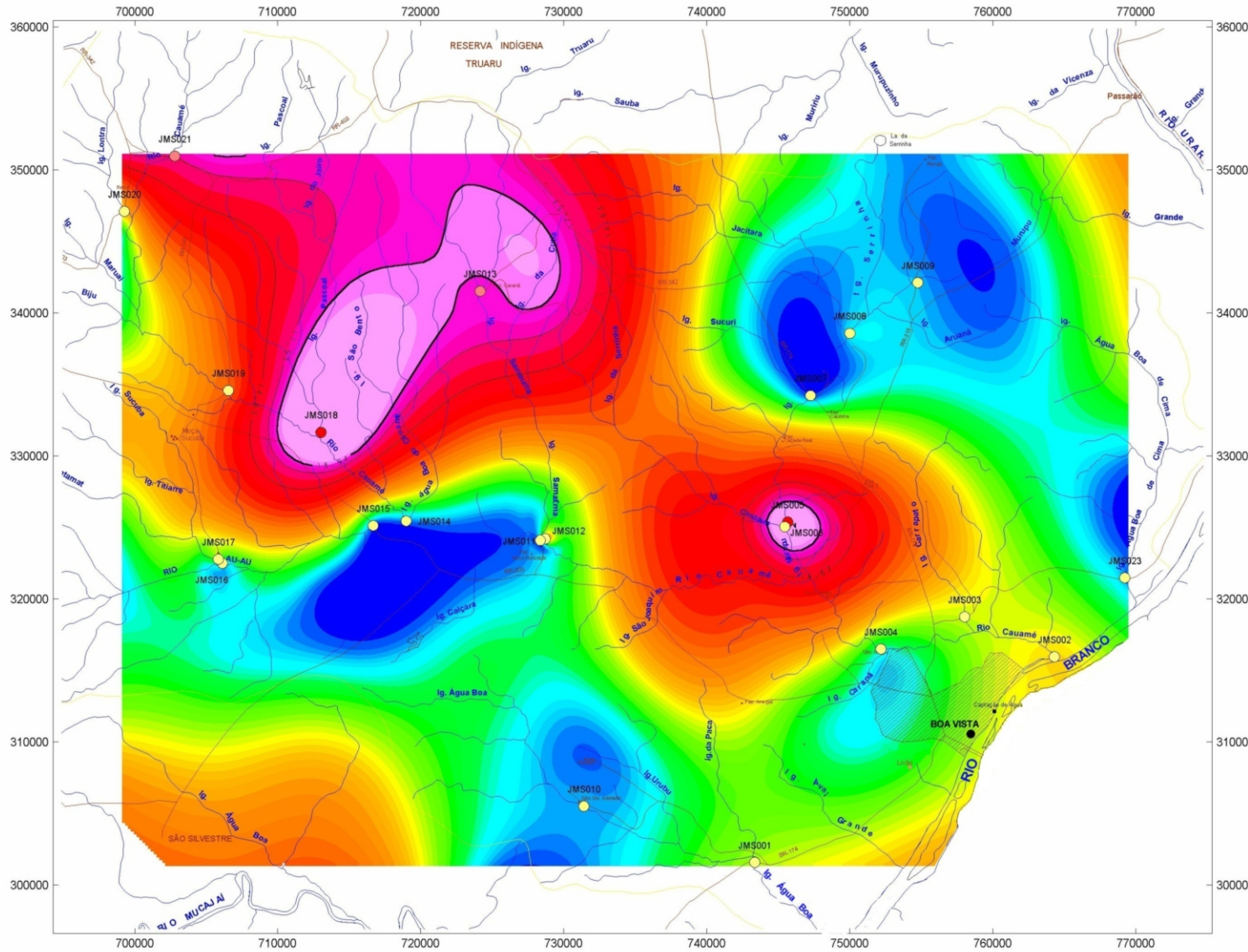
**ANEXO B11 – Mapa da distribuição do zinco em água superficial na vazante**

**ANEXO B12 – Mapa da distribuição do chumbo em água superficial na cheia**

**ANEXO B13 – Mapa da distribuição do alumínio em água superficial na vazante**

**ANEXO B14 – Mapa da distribuição do cloro em água superficial na cheia**

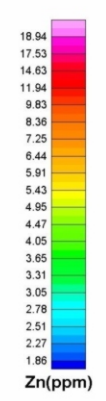
**ANEXO B15 – Mapa da distribuição de sulfato em água superficial na vazante**



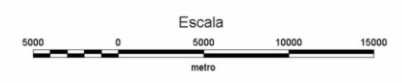
Zn	
Minimum:	1.70
Maximum:	27.20
Mean:	7.43
Geo. Mean:	4.99
Median:	5.01
Mode:	2.30
Std. Dev.:	7.433
Std. Err.:	1.259
Skewis:	1.376
Kurtosis:	0.6162

- Zn**
- > 22.28
  - 14.86 - 22.28
  - < 14.86

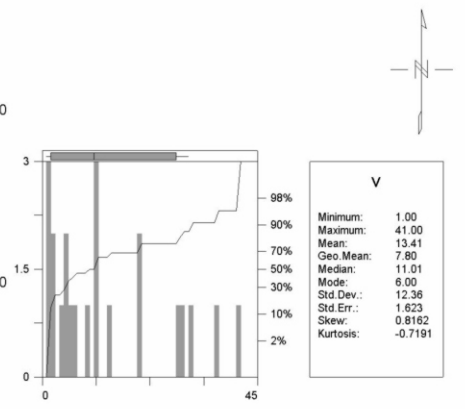
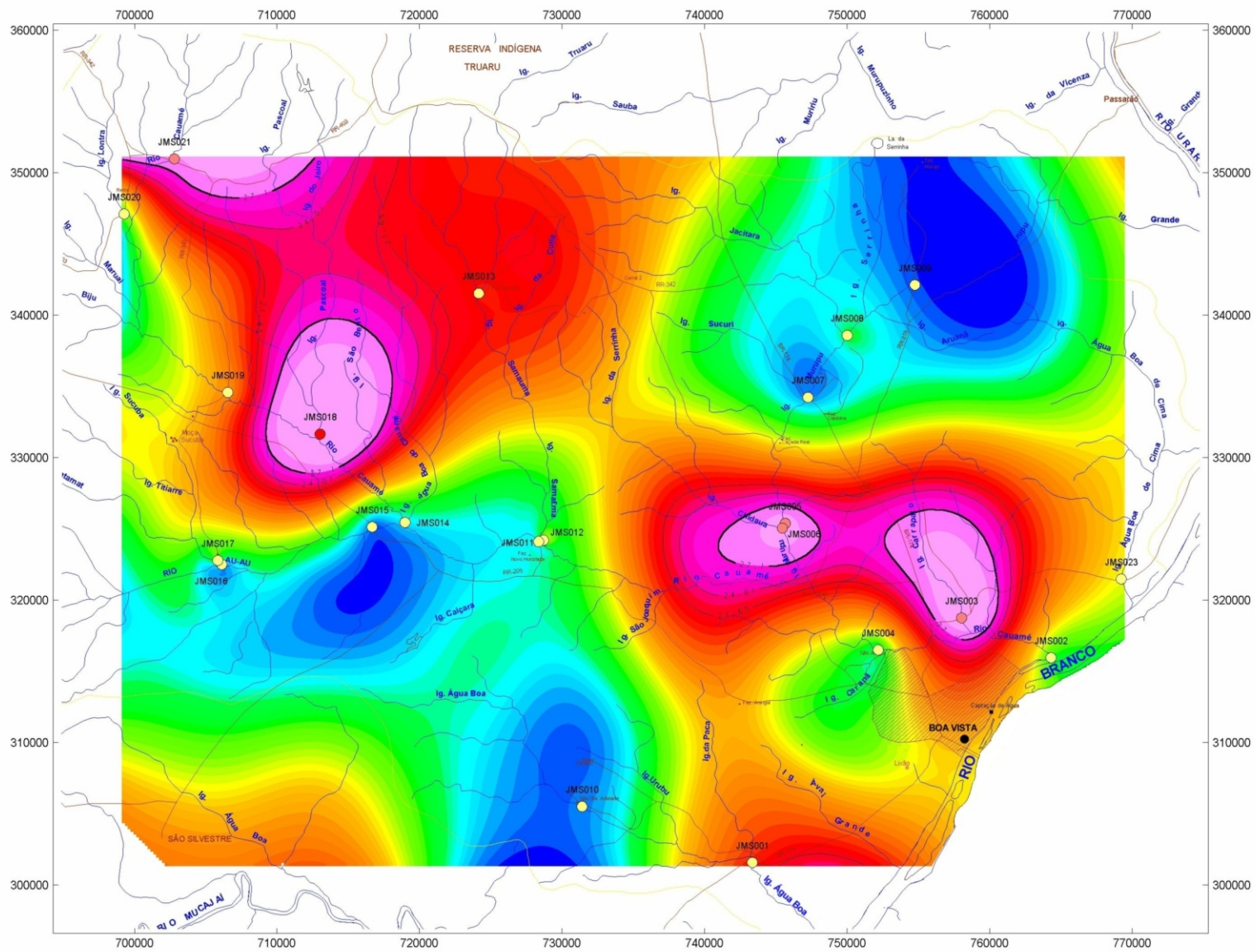
Pontos de amostragem e anomalias de 2a. e 3a. ordem e background



**ANEXO B1 - Mapa da Distribuição do Zinco em Sedimentos de Corrente no Período da Cheia**



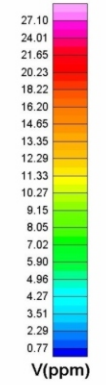




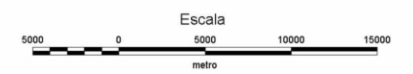
**V**

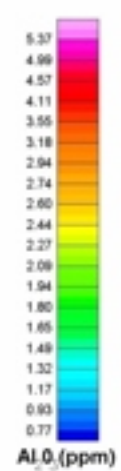
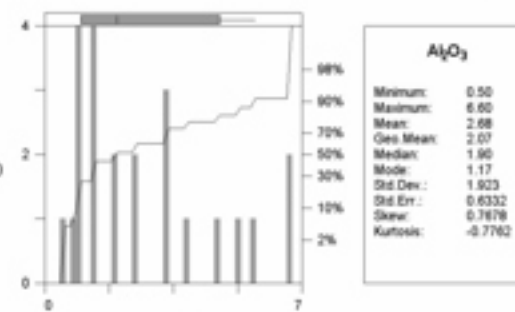
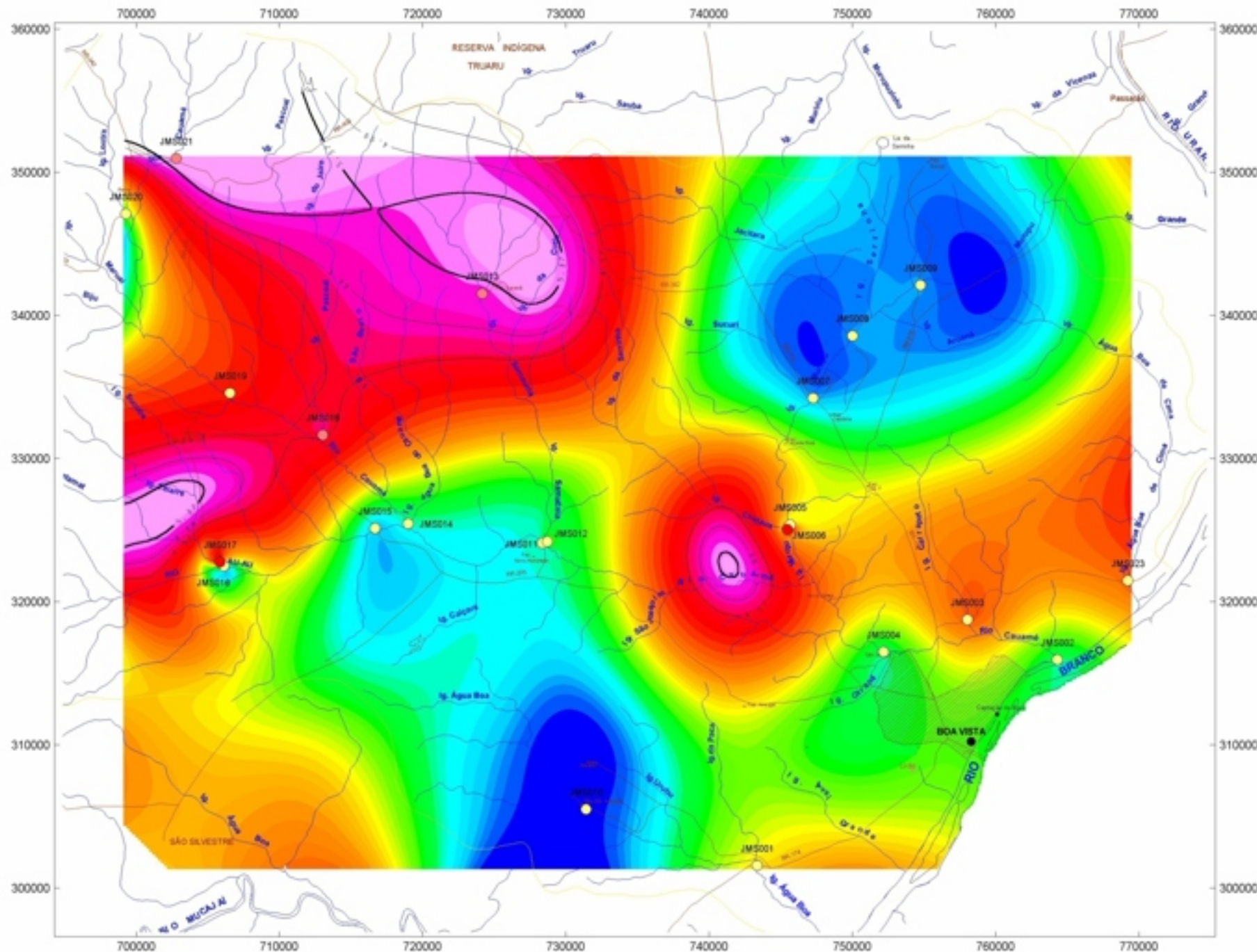
- > 38.11
- 25.76 - 38.11
- < 25.76

Pontos de amostragem e anomalias de 2a. e 3a. ordem e background

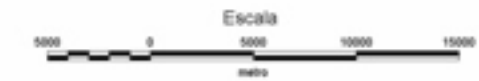


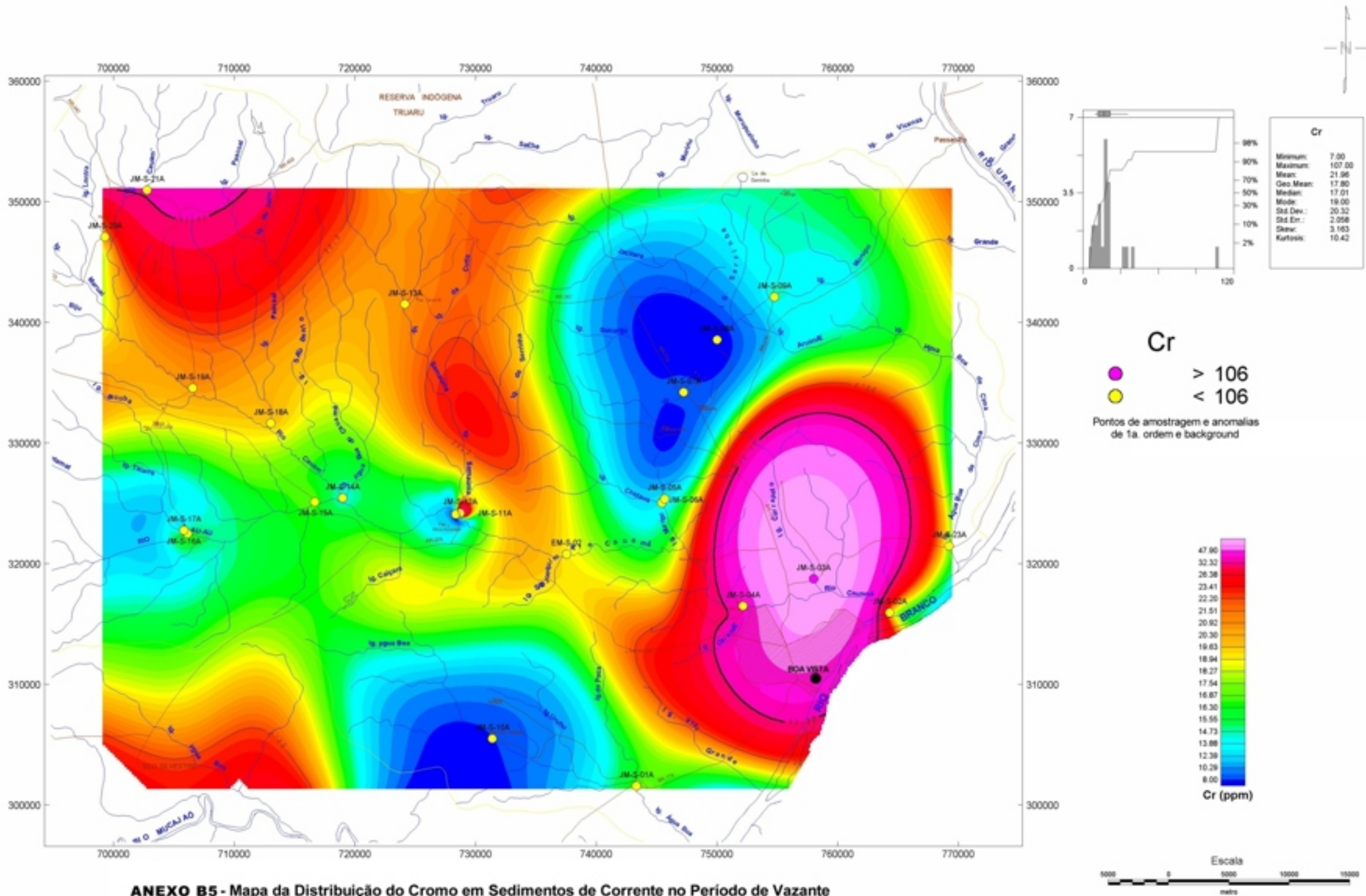
**ANEXO B3 - Mapa da Distribuição do Vanádio em Sedimentos de Corrente no Período da Cheia**





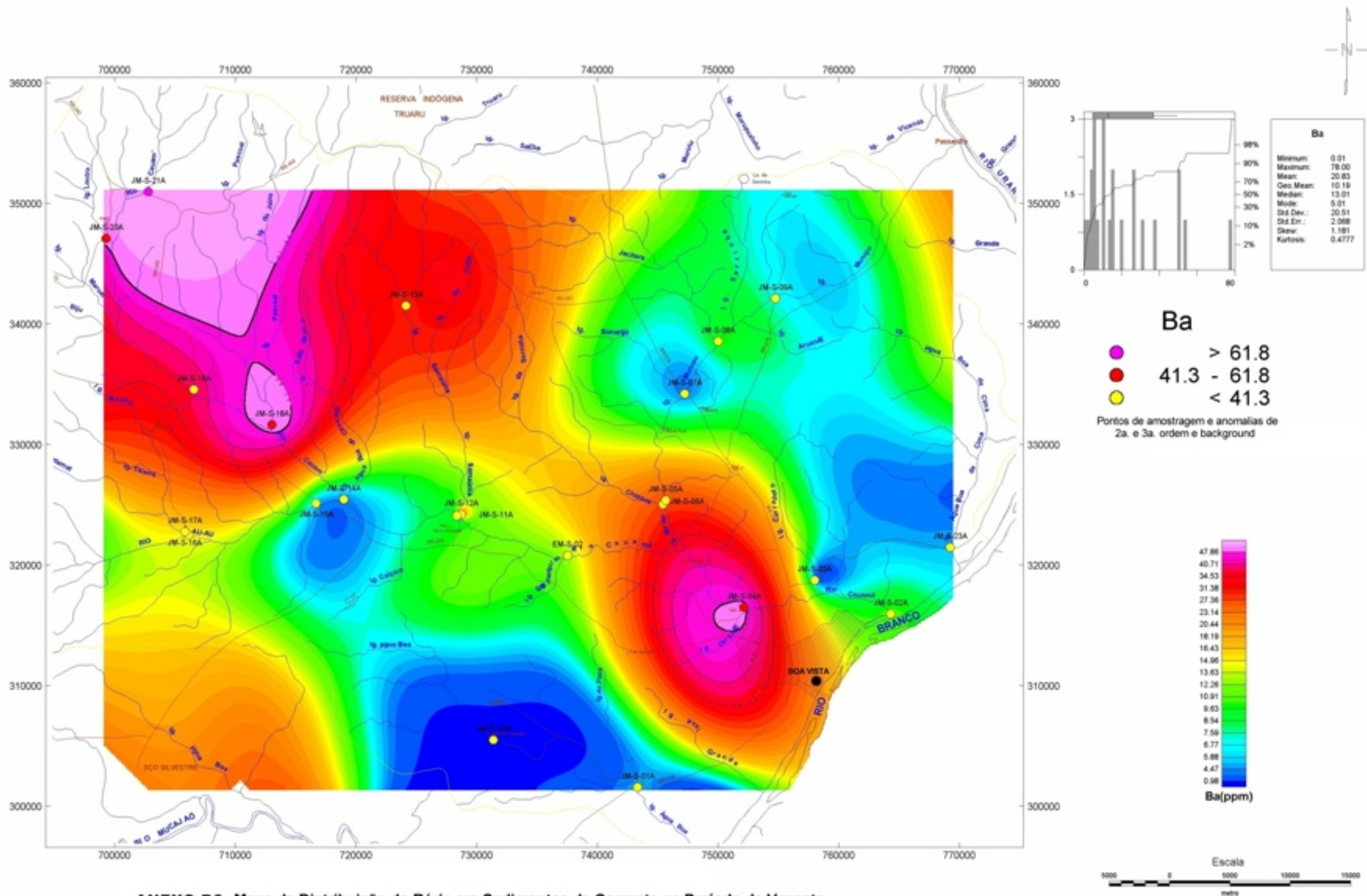
**ANEXO B4- Mapa da Distribuição do Óxido de Alumínio em Sedimentos de Corrente no Período da Cheia**



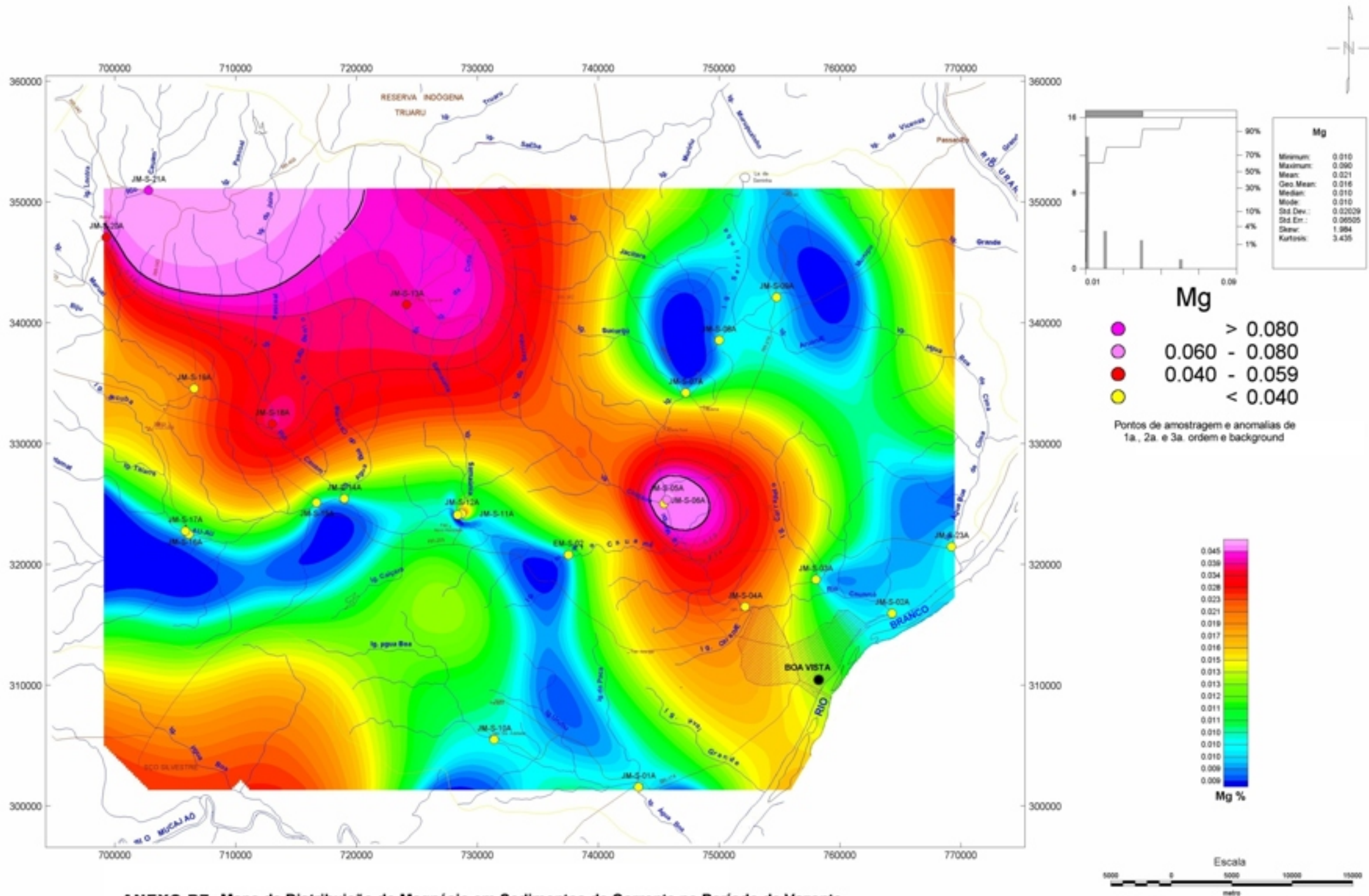


**ANEXO B5 - Mapa da Distribuição do Cromo em Sedimentos de Corrente no Período de Vazante**

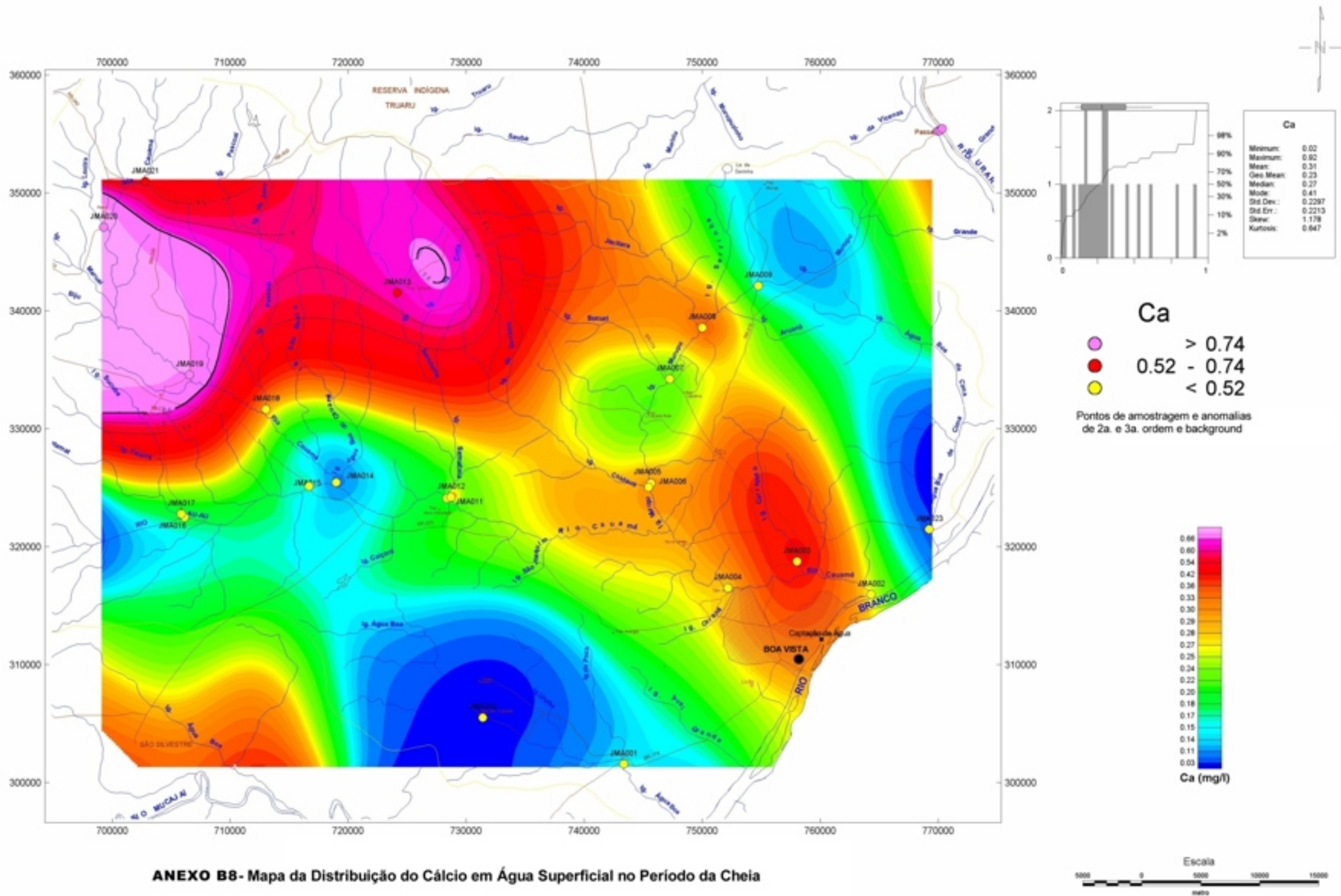




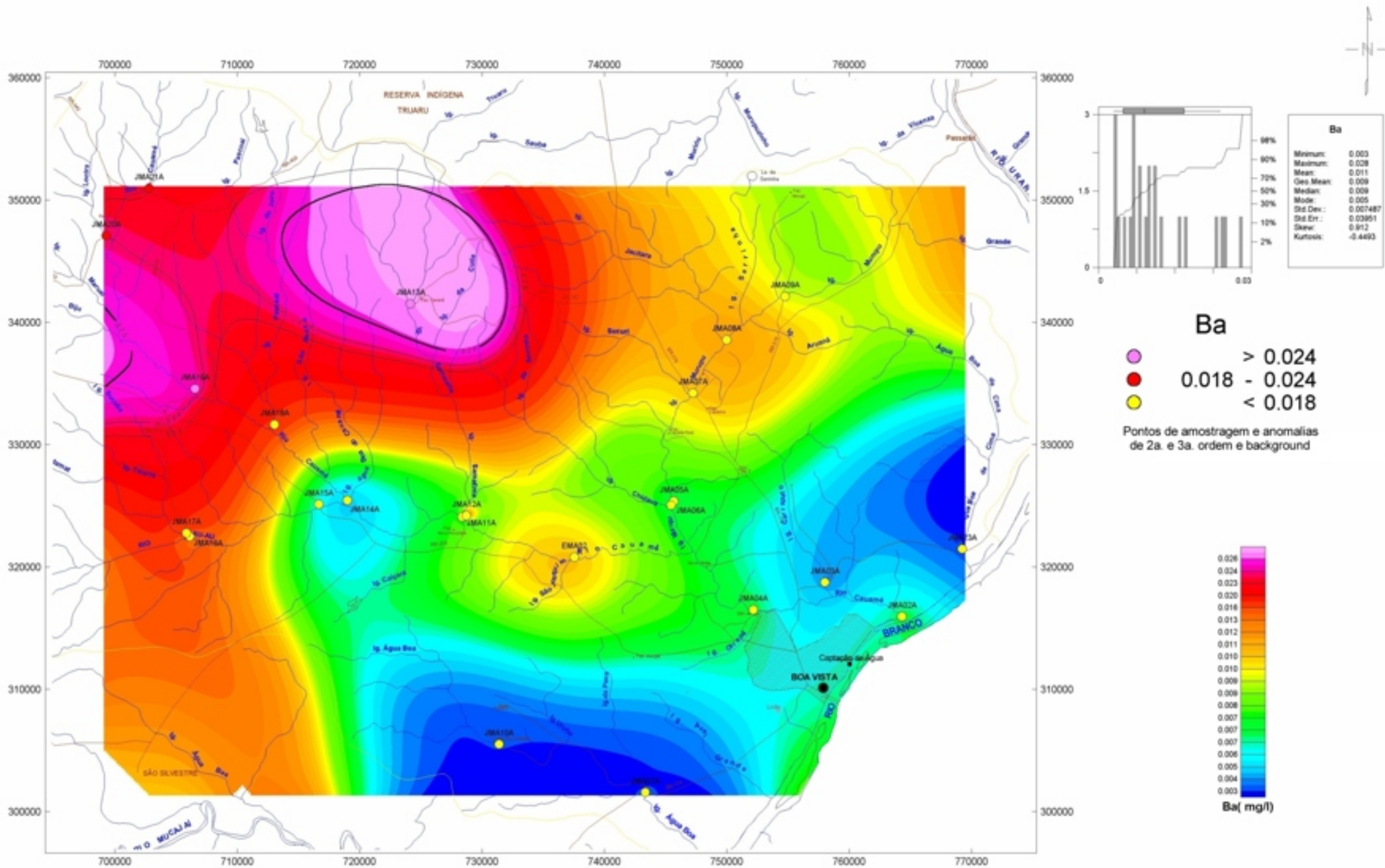
**ANEXO B6 - Mapa da Distribuição do Bário em Sedimentos de Corrente no Período de Vazante**



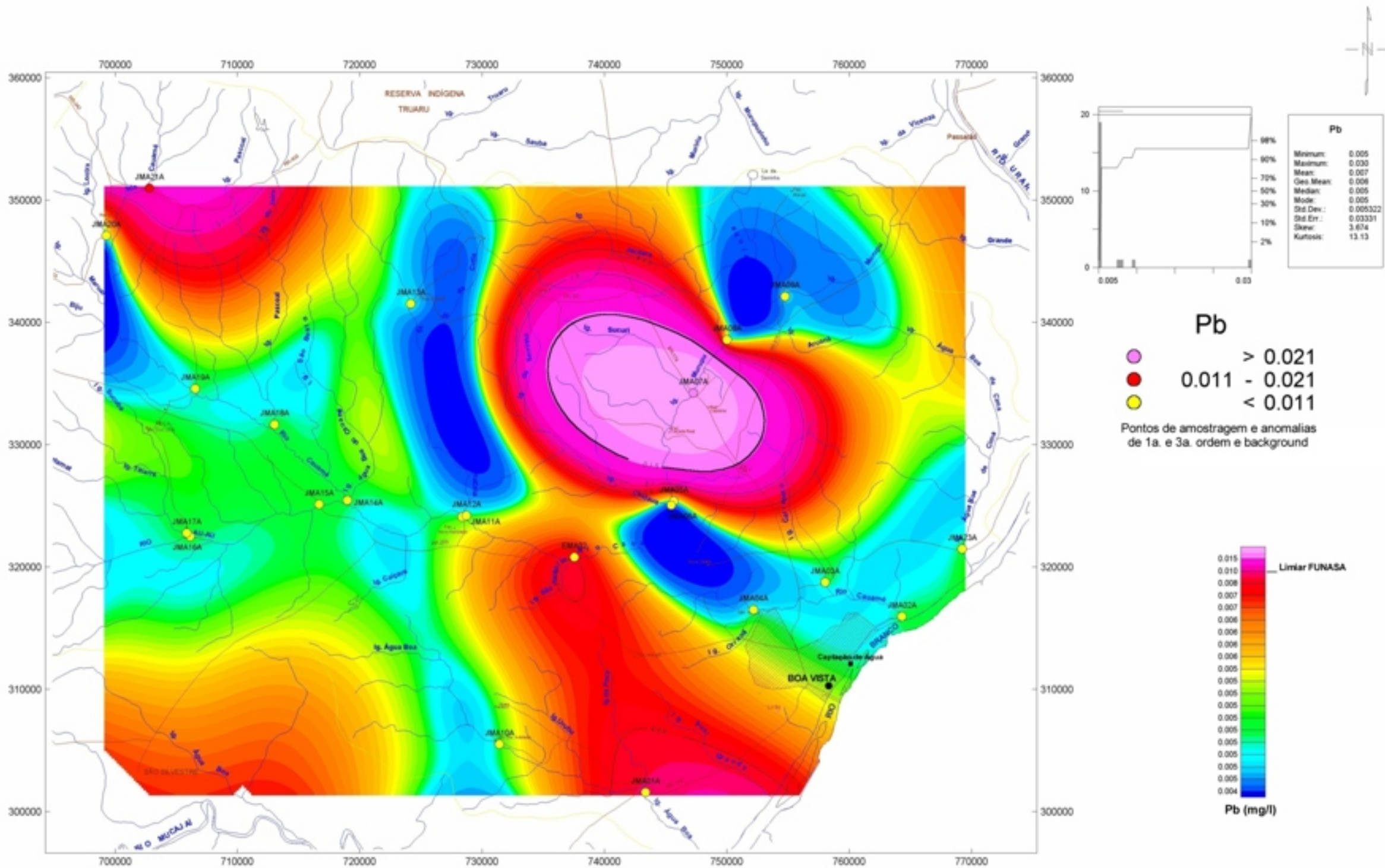
**ANEXO B7 - Mapa da Distribuição do Magnésio em Sedimentos de Corrente no Período de Vazante**



**ANEXO B8- Mapa da Distribuição do Cálcio em Água Superficial no Período da Cheia**



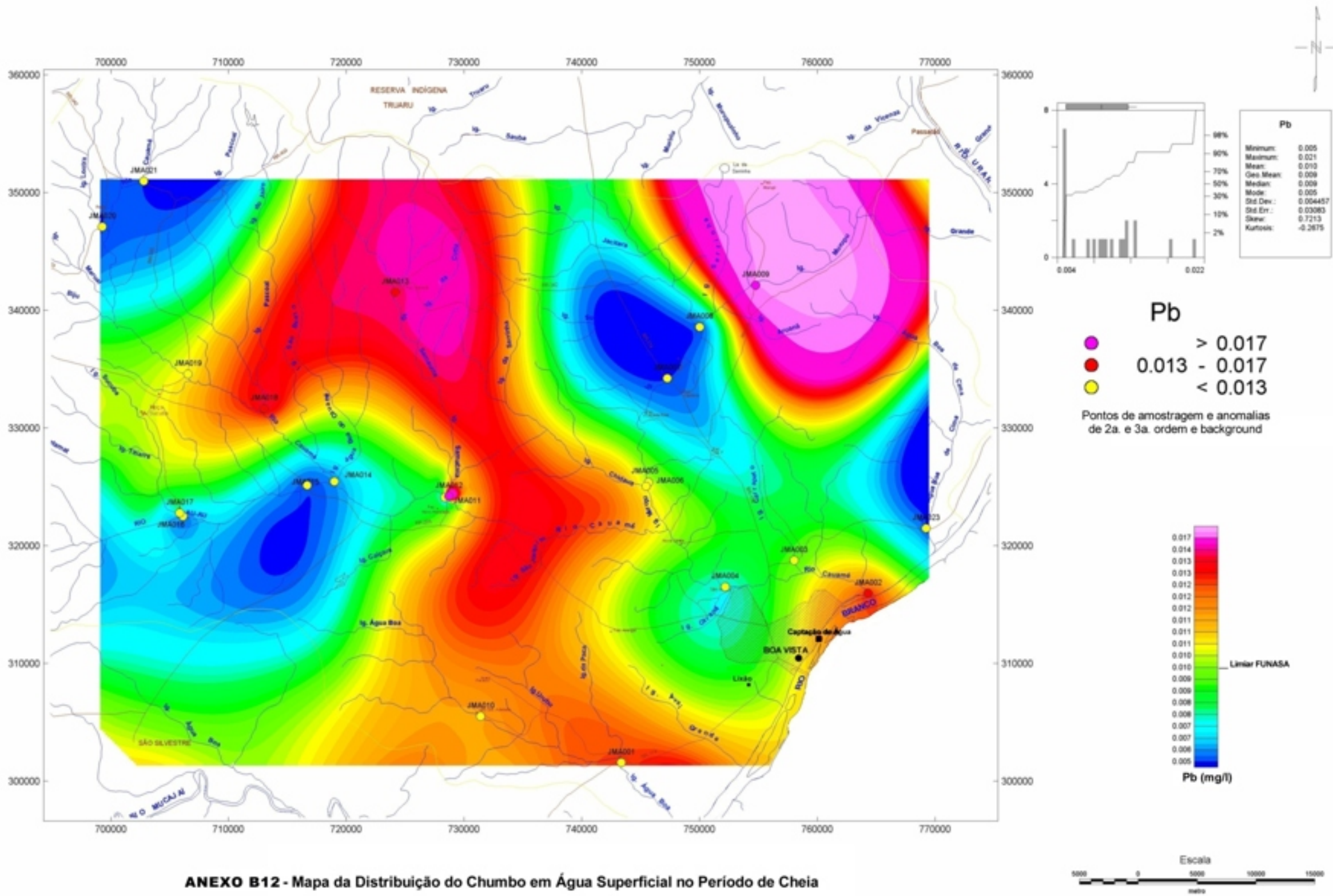
**ANEXO B9 - Mapa da Distribuição do Bário em Água Superficial no Período de Vazante**



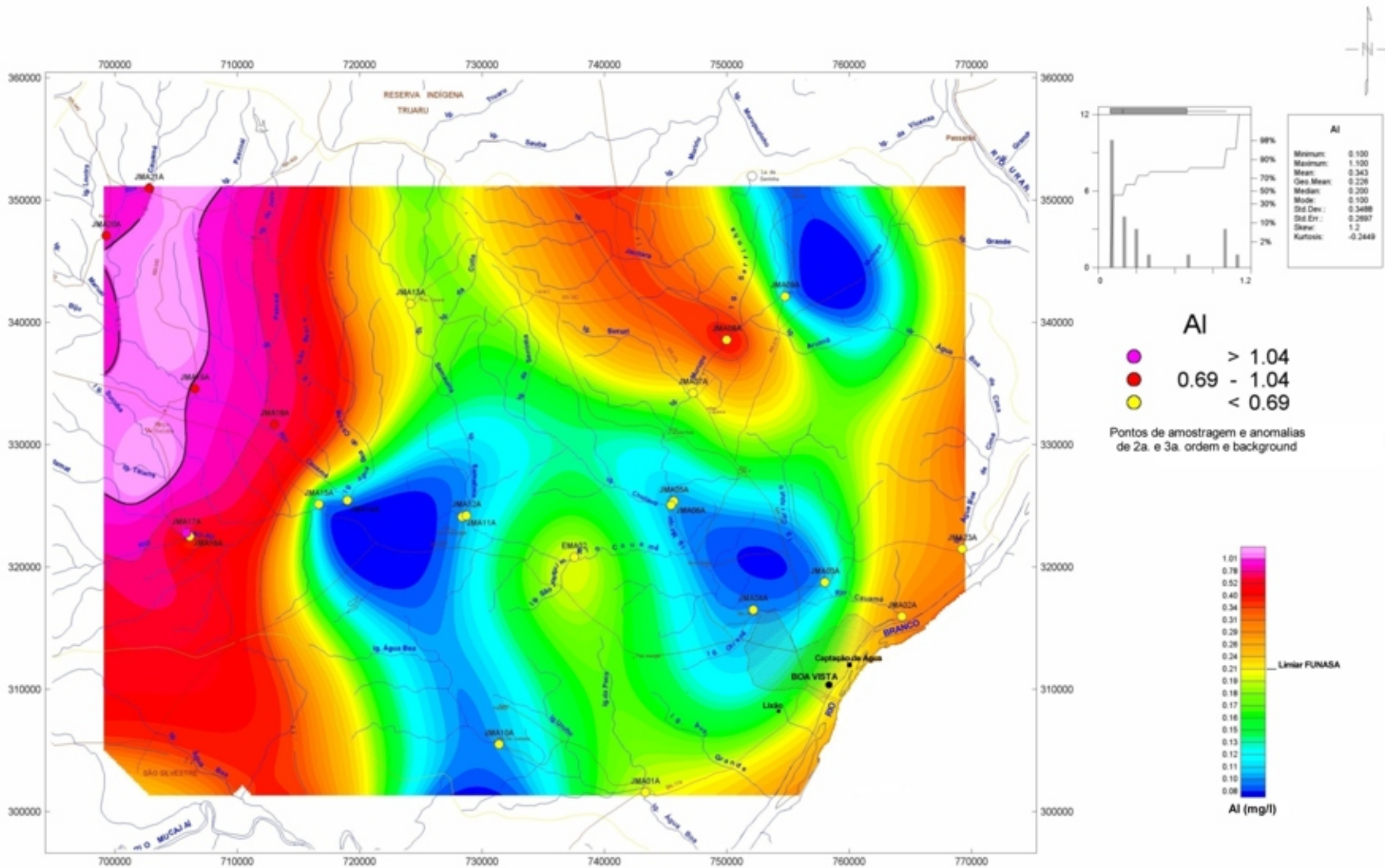
**ANEXO B10 - Mapa da Distribuição do Chumbo em Água Superficial no Período de Vazante**







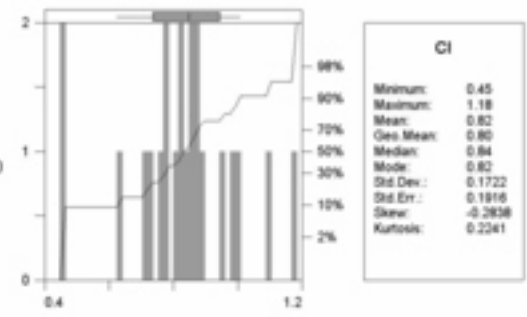
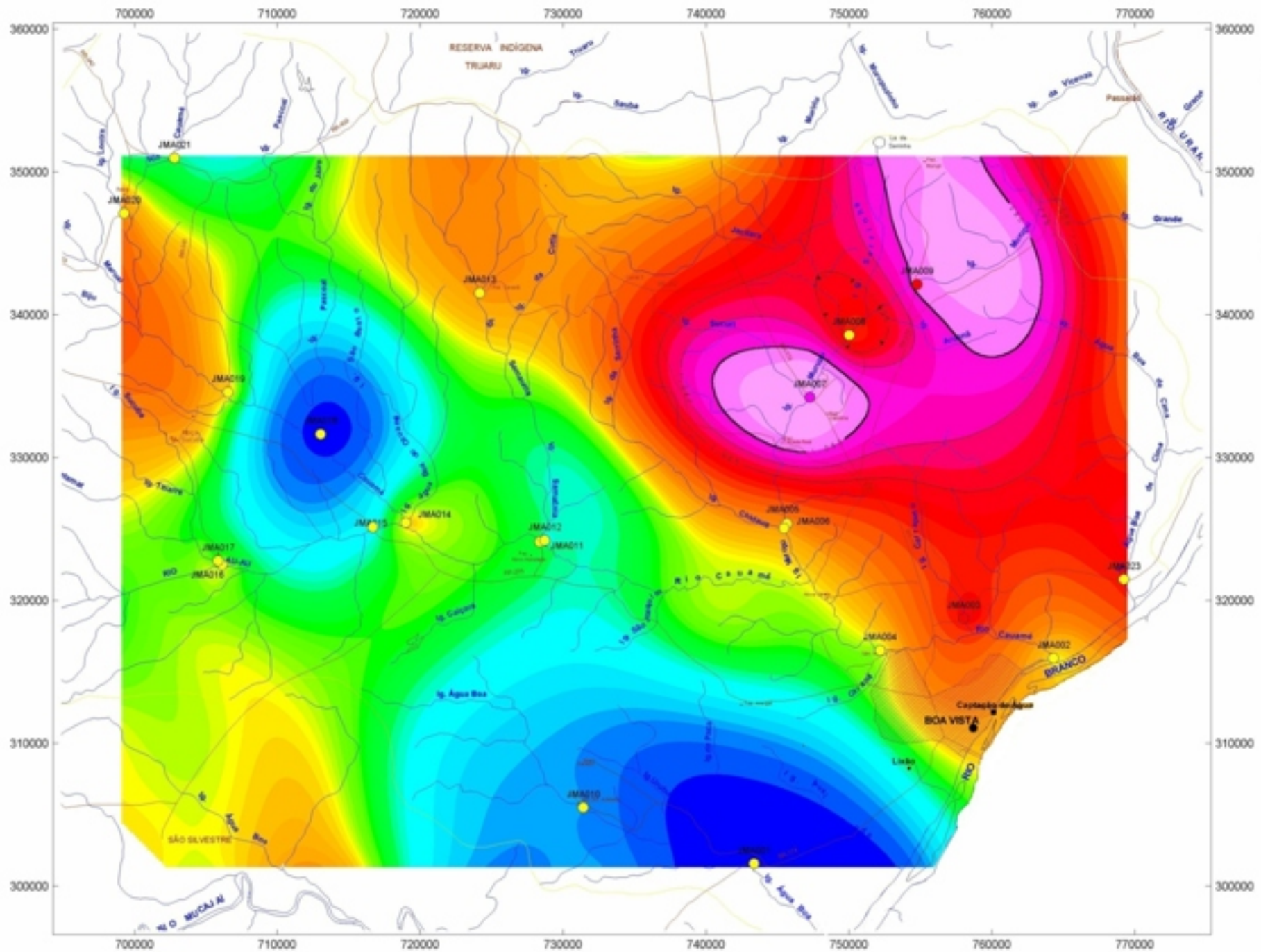
**ANEXO B12 - Mapa da Distribuição do Chumbo em Água Superficial no Período de Cheia**



**ANEXO B13- Mapa da Distribuição do Alumínio em Água Superficial no Período de Vazante**







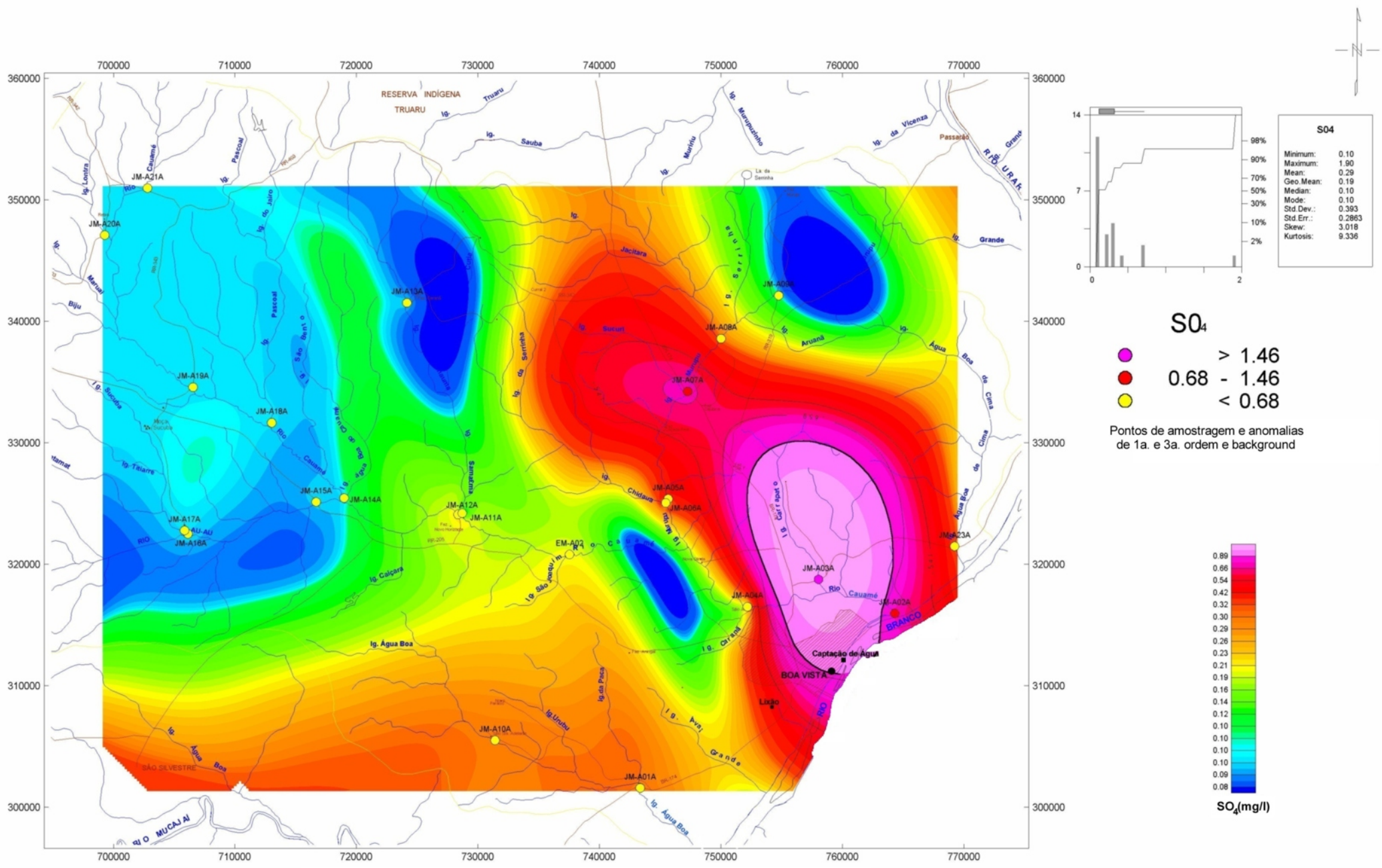
Cl	
Minimum:	0.45
Maximum:	1.18
Mean:	0.82
Geo. Mean:	0.80
Median:	0.84
Mode:	0.82
Std. Dev.:	0.1722
Std. Err.:	0.1816
Skew:	-0.2838
Kurtosis:	0.2241

- Cl**
- > 1.15
  - 0.99 - 1.15
  - < 0.99
- Pontos de amostragem e anomalias de 2a. e 3a. ordem e background

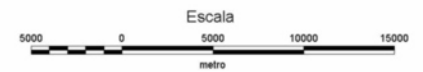


**ANEXO B14 - Mapa da Distribuição do Cloro em Água Superficial no Período de Cheia**



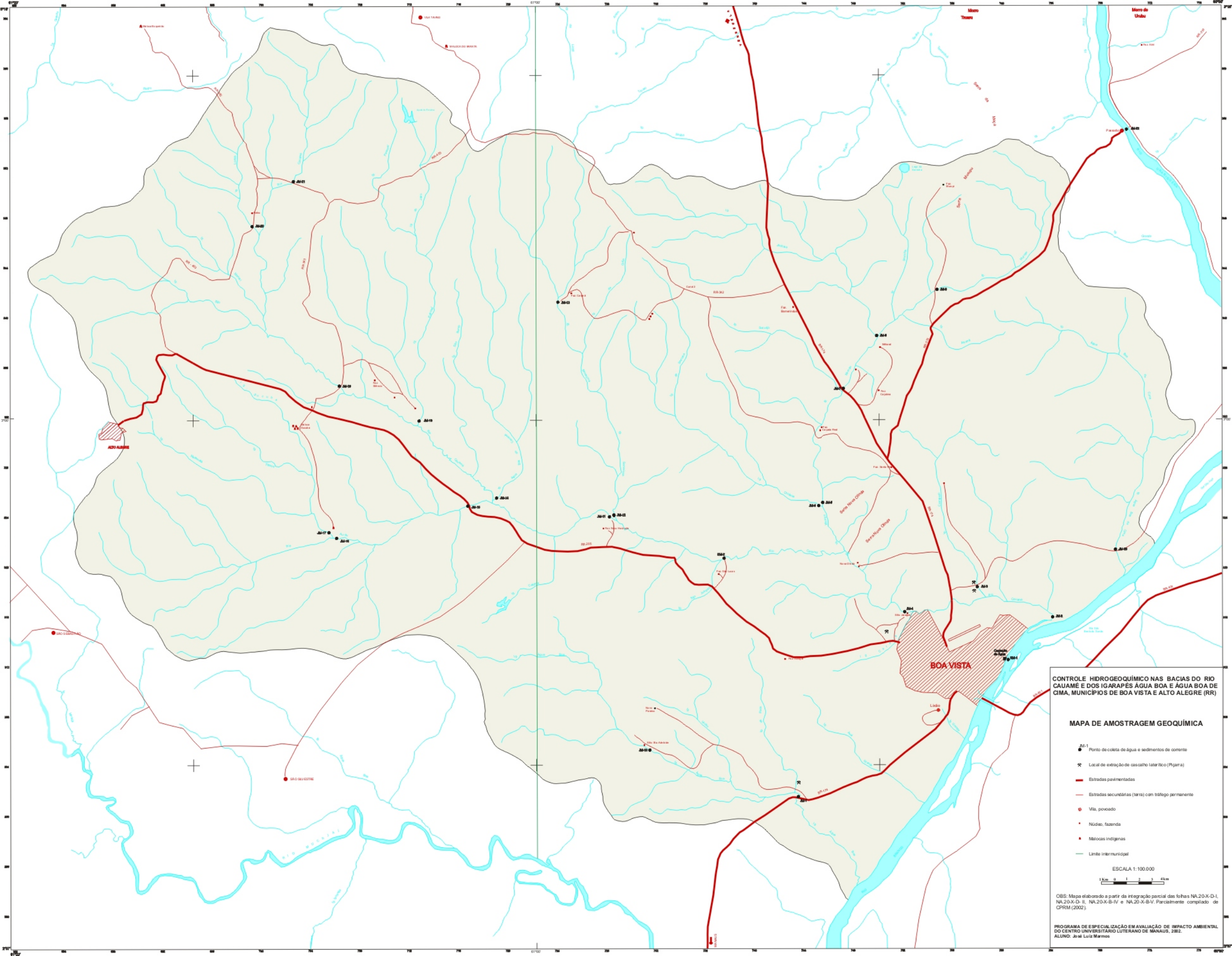


**ANEXO B15 - Mapa da Distribuição de Sulfato em Água Superficial no Período de Vazante**



# **ANEXO C**

## **MAPA DE AMOSTRAGEM GEOQUÍMICA**



**CONTROLE HIDROGEOQUÍMICO NAS BACIAS DO RIO CAUAMÉ E DOS IGARAPÉS ÁGUA BOA E ÁGUA BOA DE CIMA, MUNICÍPIOS DE BOA VISTA E ALTO ALEGRE (RR)**

**MAPA DE AMOSTRAGEM GEOQUÍMICA**

- BM-1
- Ponto de coleta de água e sedimentos de concreto
- ✕ Local de extração de cascalho laterítico (Pgarra)
- Estradas pavimentadas
- Estradas secundárias (terra) com tráfego permanente
- Vila, povoado
- Núcleo, fazenda
- Mlcoas indígenas
- Limite intermunicipal

ESCALA 1:100.000

1 Km 0 1 2 3 4 Km

OBS: Mapa elaborado a partir da integração parcial das folhas NA.20-X-D-I, NA.20-X-D-II, NA.20-X-B-IV e NA.20-X-B-V. Parcialmente compilado de CPRM (2002).

PROGRAMA DE ESPECIALIZAÇÃO EM AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DO CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE MANAUS, 2002.  
ALUNO: José Luiz Marmos