

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS NA AMAZÔNIA - INPA  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE - CLIAMB**

**VARIABILIDADE HIDROLÓGICA E O FLUXO DE ELEMENTOS-TRAÇO NA  
BACIA DO RIO NEGRO - AM**

**BRUNA GABRIELLA MATHEUS DE SOUZA VAZ**

Manaus, Amazonas

Março, 2023

**BRUNA GABRIELLA MATHEUS DE SOUZA VAZ**

**VARIABILIDADE HIDROLÓGICA E O FLUXO DE ELEMENTOS-TRAÇO NA  
BACIA DO RIO NEGRO - AM**

Orientador: Dr. Naziano Pantoja Filizola Junior

Proposta de Dissertação  
apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Clima e  
Ambiente do INPA/UEA  
como parte dos requisitos  
para obtenção do título de  
Mestre em Clima e Ambiente.

Manaus, Amazonas

Março, 2023

Catálogo na Publicação (CIP-Brasil)

---

M827v Vaz, Bruna

Variabilidade hidrológica e o fluxo de elementos-traço na bacia do Rio Negro - AM / Bruna Gabriella Matheus de Souza Vaz; orientador Naziano Pantoja Filizola Junior. - Manaus: [s.l.], 2023.

4.266 KB

115p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2023.

1. Variabilidade hidrológica . 2. Fluxo de Elementos-traço. 3. Bacia do Rio Negro. I. Filizola Junior, Naziano Pantoja. II. Título

CDD 551.48 811 3



---



ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA E UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS.

Aos 20 dias do mês de abril do ano de 2023, às 14:00 horas, de forma síncrona e remota, reuniu-se a Comissão Julgadora de Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Naziano Pantoja Filizola Junior (Presidente), a Profa. Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza (UEA), a Prof. Dr. Rogerio Ribeiro Marinho (UFAM), tendo como suplentes o Prof. Dr. Anderson da Silva Lages (INPA), sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a avaliação pública do trabalho de Dissertação de Mestrado de **Bruna Gabriela Matheus de Souza Vaz** intitulado: “Variabilidade hidrológica e o fluxo de elementos-traço na Bacia do Rio Negro - AM”, orientada pelo Prof. Dr. Naziano Pantoja Filizola Junior (UFAM).

O Presidente da Comissão Julgadora deu início à seção e informou os procedimentos do exame. O aluno fez a exposição do seu trabalho que foi avaliado pelos membros da Comissão Julgadora de Defesa Pública. A Comissão Julgadora, então, se reuniu e os membros emitiram os seguintes pareceres:

Nome	Parecer	
Dr. Naziano Pantoja Filizola Junior	(x) Aprovada ( ) Reprovada	 Documento assinado digitalmente NAZIANO PANTOJA FILIZOLA JUNIOR Data: 17/04/2023 18:49:18 -0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a>
Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza	(X) Aprovada ( ) Reprovada	
Dr. Rogerio Ribeiro Marinho	(X) Aprovada ( ) Reprovada	

Nada mais havendo a relatar, foi lavrada a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Julgadora.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, onde firmada está minha fé. Sem Ele a realização desse sonho não seria possível, pois nas incertezas e desafios no período de pandemia da COVID-19, e em meio a ansiedade, Ele foi minha âncora e minha paz.

Ao professor Dr. Naziano Filizola, por todo suporte e ensino desde o início, foi o melhor orientador que eu poderia ter, sua humildade e mansidão para ensinar são inspiradoras. São professores como o senhor que inspiram alunos a seguirem no meio acadêmico e da pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente do INPA/UEA, em especial à Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).

Aos professores do CLIAMB em especial ao professor Luiz Candido, Rita Andreoli, José Veiga, Antônio Manzi e Eliane Gomes, e aos professores Rogério Marinho, Keila Aniceto, Tereza Cristina, por todas as contribuições e correções.

À FAPEAM pelo financiamento desta pesquisa.

Aos meus familiares, em especial ao meu esposo Plácido por todo apoio, paciência e compreensão, você foi um verdadeiro suporte em todas as madrugadas que me dediquei a essa pesquisa, por ter corrigido e revisado cada frase ao meu lado. A minha mãe Jeanny e ao meu pai José por terem se alegrado comigo na aprovação e por uma vida inteira de investimento na minha vida.

Aos meus amigos do INPA, UEA e UFAM, em especial ao Regison Oliveira, Leylane Lima, Aíxa Lopes, Edivaldo Neto, Nayara Diniz e Edinaldo Severo por todo apoio, ajuda e ensino.

Gratidão a todos que direta ou indiretamente contribuíram para essa pesquisa. Gratidão a mim por não ter desistido desse sonho.

## RESUMO

A variabilidade e a dinâmica do fluxo dos elementos-traço dissolvidos (V, Ni, Rb, Cd, Ba, Pb, U, Cr, As, Ti, Zr, Sn) na Bacia do Rio Negro, foi avaliada em: variação espacial dos anos 1995 e 1996 e a variação temporal em duas estações do ORE-HYBAM: Caracaraí e Serrinha no período de 2003 a 2018. Essas duas estações exibiram mudanças em seus fluxos, de acordo com suas localidades, sendo em Caracaraí um padrão sazonal bem definido dos elementos e maior concentração, todavia pelo balanço de fluxo, observamos que em Serrinha, advém o maior fluxo dos elementos. Essa distinção pode ser explicada pelo fator de diluição, já que a vazão média em Serrinha ( $17.019,24 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ) é superior à vazão média de Caracaraí ( $3.306,88 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ). Elementos como Pb, U, Cr, Ti, Sn são controlados pela sazonalidade dos rios Negro e Branco, e apresentam regime unimodal, com altas concentrações durante a cheia e baixas concentrações durante o período de seca. Elementos que apresentam pouca variação com a vazão, são V, Ni, Rb e Ba. O Cd apresentou valores de concentração crescente, associado com aumento da vazão, sendo sua concentração máxima na cheia. Zr apresentou o pico máximo até dois meses após o pico de descarga, tendo concentração máxima na seca. Dentre os elementos, o As é fortemente influenciado pela diluição do rio em Serrinha, apresentando maiores concentrações na Seca. Em síntese, os resultados obtidos nessa pesquisa possibilitaram a compreensão sobre o fluxo de elementos-traço na bacia do Rio Negro.

**Palavras-Chave:** Elementos-traço; Bacia do Rio Negro; Geoquímica.

## ABSTRACT

Hydrological variability and the of the flux concentration of trace elements in the Negro River Basin

The variability and dynamics of the flux concentration of dissolved trace elements (V, Ni, Rb, Cd, Ba, Pb, U, Cr, As, Ti, Zr, Sn) in the Negro River Basin was evaluated in: spatial variation of the years 1995 and 1996 and the temporal variation in two stations of the ORE-HYBAM: Caracaraí and Serrinha in the period from 2003 to 2018. These two stations exhibited changes in their fluxes, according to their locations, being in Caracaraí a well-defined seasonal pattern of the elements and higher concentration, however by the flux balance, we observe that in Serrinha, comes the highest concentration flux of the elements. This distinction can be explained by the dilution factor, since the average flow rate at Serrinha ( $17,019.24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) is higher than the average flow rate at Caracaraí ( $3,306.88 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Elements like Pb, U, Cr, Ti, Sn are controlled by the seasonality of the Negro and Branco rivers, and present a unimodal regime, with high concentrations during flood and low concentrations during the dry period. Elements that present little variation with the flow are V, Ni, Rb and Ba. Cd showed increasing concentration values, associated with increasing flow, with its maximum concentration at flood. Zr presented the maximum peak up to two months after the peak discharge, having maximum concentration in the drought. Among the elements, As is strongly influenced by the dilution of the river at Serrinha, presenting higher concentrations in the drought. In summary, the results obtained in this research allowed us to understand the flux of trace elements in the Negro River basin.

**Keywords:** Trace elements; Negro River Basin; Geochemistry.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
2.1	<i>Geral:.....</i>	<i>18</i>
2.2	<i>Específico: .....</i>	<i>18</i>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
	<i>Bacia Hidrográfica Amazônica .....</i>	<i>19</i>
	<i>Classificação das águas superficiais da Bacia Amazônica .....</i>	<i>20</i>
	<i>Monitoramento de parâmetros físico-químicos em ambientes amazônicos .....</i>	<i>22</i>
	<i>Indicadores físicos e químicos da qualidade da água .....</i>	<i>22</i>
	<i>Temperatura.....</i>	<i>22</i>
	<i>Condutividade elétrica (CE) .....</i>	<i>23</i>
	<i>Potencial hidrogeniônico (pH).....</i>	<i>23</i>
	<i>Elementos-traço .....</i>	<i>24</i>
	<i>Elementos traço de caráter tóxico .....</i>	<i>25</i>
<b>4.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>27</b>
	<i>Bacia do Rio Negro .....</i>	<i>27</i>
4.1	<i>Fisiografia .....</i>	<i>28</i>
4.1.1	<i>Hidrologia.....</i>	<i>28</i>
4.1.2	<i>Geologia e geomorfologia .....</i>	<i>30</i>
4.1.3	<i>Solos.....</i>	<i>32</i>
4.1.4	<i>Vegetação.....</i>	<i>33</i>
4.1.5	<i>Climatologia .....</i>	<i>34</i>
<b>5.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
5.1	<i>Dados hidrológicos .....</i>	<i>35</i>
5.2	<i>Tratamento e análise de dados.....</i>	<i>36</i>
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
6.1	<i>Análise espacial das campanhas de 1995 e 1996.....</i>	<i>41</i>
	<i>Parâmetros físico-químico 1995 e 1996.....</i>	<i>43</i>
	<i>PH.....</i>	<i>43</i>
	<i>Condutividade .....</i>	<i>43</i>
	<i>Temperatura.....</i>	<i>44</i>
	<i>Análise longitudinal dos elementos traço da campanha de 1995 .....</i>	<i>45</i>
	<i>Análise longitudinal dos elementos traço da campanha de 1996 .....</i>	<i>47</i>
6.2	<i>Variação temporal de Caracaraí e Serrinha .....</i>	<i>49</i>
	<i>Parâmetros físico-químico Caracaraí e Serrinha.....</i>	<i>51</i>



PH.....	51
Condutividade .....	53
Temperatura.....	54
<b>6.3 Elementos-traço .....</b>	<b>55</b>
6.3.1 <i>Análise diária da vazão associada a concentração do elemento traço .....</i>	<i>55</i>
6.3.2 <i>Média mensal da vazão associada a concentração do elemento traço .....</i>	<i>59</i>
<b>6.4 Análise de correlação .....</b>	<b>65</b>
6.4.1 <i>Correlação de Pearson .....</i>	<i>65</i>
6.4.2 <i>Correlação Linear .....</i>	<i>66</i>
<b>6.5 Fluxo de elementos-traço.....</b>	<b>67</b>
<b>6.6 Balanço de massa.....</b>	<b>70</b>
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>88</b>
<i>ANEXO I – Fluxograma dos materiais e métodos da pesquisa.....</i>	<i>88</i>
<i>ANEXO II-A – Tabela das Estações fluviométricas da bacia do Rio Negro definidas para o estudo *Estação do Ore Hybam e ANA.....</i>	<i>89</i>
<i>ANEXO II-B – Tabela do período do início e final da série histórica e da quantidade de dados disponíveis. I.S. = Início da série histórica; F.S. = Fim da Série histórica; Q.T.D. = Quantidade Total de dados; SD = Parâmetro sem Dados disponíveis; .....</i>	<i>90</i>
<i>ANEXO II-C – Tabela do período do início e final da série histórica e da quantidade de dados disponíveis. I.S. = Início da série histórica; F.S. = Fim da Série histórica; Q.T.D. = Quantidade Total de dados; SD = Parâmetro sem Dados disponíveis.....</i>	<i>91</i>
<i>ANEXO III – Tabela dos dados disponíveis das campanhas Ore Hybam.....</i>	<i>92</i>
<i>ANEXO IV-A – Tabela de Dados de Máximas, Médias e Mínimas da rede ORE HYBAM e ANA. .</i>	<i>93</i>
<i>ANEXO IV-B – Tabela de Dados de Máximas, Médias e Mínimas da rede ORE HYBAM e ANA. .</i>	<i>94</i>
<i>ANEXO V-A – Análise espacial do pH, campanhas de 1995 e 1996.....</i>	<i>96</i>
<i>ANEXO V-B – Análise espacial da Temperatura, campanhas de 1995 e 1996.....</i>	<i>97</i>
<i>ANEXO V-C – Análise espacial da Condutividade, campanhas de 1995 e 1996. ....</i>	<i>98</i>
<i>ANEXO VI-A – Elementos-traço – Concentração de As, Ba, Cd e Cr na estação Serrinha .....</i>	<i>99</i>
<i>ANEXO VI-B – Elementos-traço – Concentração de Ni, Pb, Rb e Sn na estação Serrinha .....</i>	<i>100</i>
<i>ANEXO VI-C – Elementos-traço – Concentração de Ti, U, V e Zr na estação Serrinha .....</i>	<i>101</i>
<i>ANEXO VII-A – Elementos-traço – Concentração de As, Ba, Cd e Cr na estação Caracaráí .....</i>	<i>102</i>
<i>ANEXO VII-B – Elementos-traço – Concentração de Ni, Pb, Rb e Sn na estação Caracaráí.....</i>	<i>103</i>
<i>ANEXO VII-C – Elementos-traço – Concentração de Ti, U, V e Zr na estação Caracaráí .....</i>	<i>104</i>
<i>ANEXO VIII-A – Elementos-traço – Concentração de As, Cd, Ni, Ba, Cr e Pb na estação Caracaráí.....</i>	<i>105</i>
<i>ANEXO VIII-B – Elementos-traço – Concentração de Rb, Ti, V, Sn, U e Zr na estação Caracaráí.....</i>	<i>106</i>

<b>ANEXO IX-A – Elementos-traço – Concentração de As, Cd, Ni, Ba, Cr e Pb na estação Serrinha.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO IX-B – Elementos-traço – Concentração de Rb, Ti, V, Sn, U e Zr na estação Serrinha.....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO X-A – Elementos-traço – Correlação Linear de As, Cd, Ni, Ba, Cr e Pb na estação Caracará.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO X-B – Elementos-traço – Correlação Linear de Rb, Ti, V, Sn, U e Zr na estação Caracará.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO XI-A – Elementos-traço – Correlação Linear de As, Cd, Ni, Ba, Cr e Pb na estação Serrinha.....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO XI-B – Elementos-traço – Correlação Linear de Rb, Ti, V, Sn, U e Zr na estação Serrinha.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO XII-A – Fluxo de Elementos-traço [Qs] – As, Cd, Ba e Cr nas estações de Serrinha e Caracará.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO XII-B – Fluxo de Elementos-traço [Qs] – Ni, Rb, Pb e Sn nas estações de Serrinha e Caracará.....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO XII-C – Fluxo de Elementos-traço [Qs] – Ti, V, U e Zr nas estações de Serrinha e Caracará.....</b>	<b>115</b>

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

<b>%</b>	-	Porcentagem
<b>MED</b>	-	Média
<b>µL</b>	-	Microlitro
<b>µm</b>	-	Micrometro
<b>µS</b>	-	Microsiemens
<b>ABNT</b>	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>Al</b>	-	Alumínio
<b>ANA</b>	-	Agência Nacional de Águas
<b>APA</b>	-	Área de Proteção Ambiental
<b>APC</b>	-	Análise de Componentes Principais
<b>APHA</b>	-	American Public Health Association
<b>ARIE</b>	-	Área de Relevante Interesse Ecológico
<b>ARPA</b>	-	Áreas Protegidas da Amazônia
<b>As</b>	-	Arsênio
<b>Ba</b>	-	Bário
<b>Cd</b>	-	Cádmio
<b>CE</b>	-	Condutividade Elétrica
<b>CETESB</b>	-	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
<b>CNRH</b>	-	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
<b>CONAMA</b>	-	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>Cr</b>	-	Crômio
<b>Cu</b>	-	Cobre
<b>Fe</b>	-	Ferro
<b>HIBAM</b>	-	Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica
<b>HYBAM</b>	-	Geodynamical, hydrological and biogeochemical control of erosion, alteration and material transport in the Amazon basin
<b>INPA</b>	-	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
<b>km</b>	-	Quilômetro
<b>km<sup>2</sup></b>	-	Quilômetro quadrado

<b>m<sup>3</sup></b>	- Metro cúbico
<b>MMA</b>	- Ministério do Meio Ambiente
<b>Mn</b>	- Manganês
<b>mV</b>	- Milivolts
<b>Ni</b>	- Níquel
<b>ORE</b>	- Observatoire de Recherche en Environnement
<b>Pb</b>	- Chumbo
<b>PCA</b>	- <i>Principal Component Analysis</i>
<b>pH</b>	- Potencial hidrogeniônico
<b>ppb</b>	- Parte por bilhão
<b>ppm</b>	- Parte por milhão
<b>Se</b>	- Selênio
<b>SNUC</b>	- Sistema Nacional de Unidades de Conservação
<b>T</b>	- Temperatura
<b>Ti</b>	- Titânio
<b>U</b>	- Urânio
<b>UC</b>	- Unidades de Conservação
<b>UNESCO</b>	- <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
<b>US</b>	- Uso Sustentável
<b>USEPA</b>	- <i>United States Environmental Protection Agency</i>
<b>V</b>	- Vanádio
<b>Zn</b>	- Zinco

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação de alguns elementos de acordo com a toxicidade na fauna e na flora. ....	26
Figura 2: Mapa da Localização das Estações que foram estudadas na Bacia do Rio Negro. ....	28
Figura 3: A Bacia Amazônica com suas 4 principais unidades morfoestruturais (1 – Cadeia Andina; 2 – Escudo das Guianas; 3 – Escudo Brasileiro; e 4 – Planície Fluvial) e seus principais cursos d’água. ....	31
Figura 4: Trechos geomorfológicos do Rio Negro. ....	32
Figura 5: Tipos de solos da Bacia do Rio Negro. ....	33
Figura 6: Gráfico da vazão interanual de montante a jusante das estações (Cunuri, Taraqua, Missão Içana, Cucui, São Felipe, Jusante da Cachoeira do Caju, Jalauaca) – No ano de 1995 e 1996. ....	42
Figura 7: Mapa e gráfico de análise longitudinal da concentração dos elementos-traço (V, Ni, As, Rb, Cd, Ba, Pb e U) - Estações de 1995 ....	46
Figura 8: Mapa e gráfico de análise longitudinal da concentração dos elementos-traço (V, Ni, Rb, Cd, Ba, Pb e U) - Estações de 1996 ....	48
Figura 9: Gráfico da vazão e cota em médias anuais das estações Serrinha e Caracaraí.....	49
Figura 10: Gráfico da vazão e cota em médias mensais das estações Serrinha e Caracaraí.....	50
Figura 11: Gráfico da concentração do pH associado a vazão diária entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracaraí ....	52
Figura 12: Gráfico da concentração da Condutividade associado a vazão diária entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracaraí.....	53
Figura 13: Gráfico da concentração da Temperatura associado a vazão diária entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracaraí ....	55
Figura 14: Gráfico da concentração de Bário associado a vazão diária entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracaraí -Manaus/Amazonas ....	56
Figura 15: Gráfico da média mensal da concentração do Rubídio associado a vazão entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracaraí -Manaus/Amazonas ....	59

Figura 16: Gráfico da análise de correlação de Pearson dos elementos-traço das estações de Caracará e Serrinha.....	66
Figura 17: Gráfico da análise de correlação de Linear do elemento-traço Bário das estações de Caracará e Serrinha.....	67
Figura 18: Gráfico do fluxo do elemento-traço Rubídio das estações de Caracará e Serrinha.....	68
Figura 19: Gráfico do fluxo do elemento-traço Urânio das estações de Caracará e Serrinha.....	69
Figura 20: Gráfico em porcentagem do fluxo dos elementos-traço das estações de Caracará e Serrinha no período de 2003 a 2018. ....	73
Figura 21: Mapa gráfico da estimativa de balanço de massa dos elementos-traço (V, Ni, Rb, Cd, Ba, Pb, U, Cr, As, Ti, Zr, Sn) da bacia do Rio Negro.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipologia das águas amazônicas e suas principais características de diferenciação tal qual como são encontradas em seu estado natural. ....	21
Tabela 2: Classificação de alguns elementos de acordo com sua classe, proposta por Kawai et al. 2012. ....	25
Tabela 3: Estações fluviométricas da bacia do Rio Negro definidas para o estudo *Estação do Ore Hybam e ANA.....	39
Tabela 4: Análise espacial do parâmetros físico-químicas dos anos de 1995 e 1996. ....	44
Tabela 5: Tabela dos Elementos Analisados em 1995 em porcentagem de concentração.....	46
Tabela 6: Tabela dos Elementos Analisados em 1995 em porcentagem de concentração.....	48
Tabela 7: Análise de correlação de Pearson dos elementos-traço das estações de Caracará e Serrinha .....	65
Tabela 8: Tabela do fluxo de concentração dos Elementos traços em tonelada por ano de três estações, Paricatuba, Caracará e Serrinha.....	71

# 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural vital para a manutenção do clima e de ecossistemas em escala regional e global. Falar da sua relevância em diferentes ambientes e aspectos, inclusive na Amazônia, é compreender que a água é um recurso imprescindível para o aumento e sustentação da qualidade de vida no planeta, da conservação e do equilíbrio da biodiversidade e de suas relações de dependência entre os seres vivos e ambientes naturais (BACCI; PATACA, 2008; DUARTE, 2016). A América do Sul é considerada como o “continente das águas”, pois correspondem 30% de todo o escoamento que chega aos oceanos (STEVAUX et al., 2009), sendo a distribuição dos recursos hídricos disponíveis bastante heterogênea.

A bacia Amazônica tem mais de seis milhões de quilômetros quadrados e abriga a maior floresta tropical do mundo, sendo particularmente importante pela sua biodiversidade, pelo seu papel na ciclagem de água e carbono, e manutenção do clima (MARENCO et al., 2014). O Rio Amazonas nasce à 5.300 metros de altitude na montanha Nevado Mismi, nos Andes peruanos, e é reconhecido como o maior rio do mundo, tanto em extensão com 6.885 km como em volume d'água, sendo a área de drenagem do Rio Amazonas de 6 milhões de km<sup>2</sup> e sua descarga anual é de 5,5 bilhões m<sup>3</sup>, o que representa cerca de 20% do fluxo mundial de água doce para o oceano (MOLINIER et al., 1997). Dentre os rios que compõem a bacia amazônica, o Rio Negro é o segundo maior tributário em volume de água do Rio Amazonas e é considerado o sexto maior do mundo neste mesmo quesito (LATRUBESSE; STEVAUX; SINHA, 2005).

No perímetro urbano da cidade de Manaus é visível degradação dos recursos hídricos superficiais e os seus avanços, principalmente em direção Norte, onde áreas de florestas são removidas, tem provocado alterações na qualidade da água dos igarapés (FERREIRA et al., 2012). Processos como intemperismo, erosão e transporte dos elementos- traço no meio ambiente, têm sido alterados em larga escala pela atividade antrópica, podendo apresentar efeito de acumulação biológica

(bioacumulação<sup>1</sup> e biomagnificação<sup>2</sup>) (FÖRSTNER; WITTMANN, 1983; MUNIZ et al., 1996; SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE, 2006). Por consequência, estes acontecimentos põem em risco não somente o ambiente em si, mas ainda a saúde humana e a biodiversidade destes sistemas (BARBOUR et al., 1999).

A bioacumulação e biomagnificação podem ser responsáveis pelo aumento dos teores de elementos-traço a níveis altamente tóxicos para diferentes espécies da biota (TAVARES; CARVALHO, 1992). Os elementos-traço de origem natural, de modo geral, ocorrem como componentes traços de minerais detríticos, já os de origem antrópica, uma vez descarregados em águas superficiais, são transportados associados ao material em suspensão ou eventualmente sob a forma de coloides (FÖRSTNER; WITTMANN, 1983; SALOMONS; FÖRSTNER, 1984; SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE, 2006).

Diferentes autores têm avaliado a presença dos elementos químicos na bacia do Rio Amazonas (AUCOUR et al., 2003; MOQUET et al., 2016; SEYLER; BOAVENTURA, 2003; VIERS et al., 2005). Miranda et al. (2009), verificaram a presença de Ca, Mg, Al, Fe, Ba, Mn, Sr, Ti, Ag, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb e Zn nas águas do Rio Tapajós, no encontro com o Rio Amazonas, em frente a cidade de Santarém, e ainda, identificaram os elementos Al e Fe em altas concentrações (MIRANDA et al., 2009).

Seyler e Boaventura (2001) analisaram a concentração e a variabilidade temporal de V, Cr, Mn, Co, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, U no Rio Amazonas e seus afluentes principais (Negro, Madeira e Solimões) até a estação de Óbidos. Com este trabalho puderam constatar que As e Mn são elementos transportados por fluxos de inundação. Assim, se acredita que são oriundos dos períodos de cheia devido à lixiviação em solos ricos em laterita, que representa 80% dos solos da bacia Amazônica rica em Fe e Al (SEYLER; BOAVENTURA, 2001).

- 
1. Bioacumulação: ocorre quando um organismo é contaminado por elementos-traço (ou compostos tóxicos) que ficam retidos (não são expelidos pelo organismo). (GUILHERME et al., 2005)
  2. Biomagnificação: ocorre quando as espécies predadoras são contaminadas por elementos- traço (ou compostos tóxicos), pela ingestão de organismos previamente contaminados (pela bioacumulação). (GUILHERME et al., 2005)



A composição química e variabilidade do Rio Amazonas são de interesse por várias razões, incluindo (i) como uma importante fonte de substâncias dissolvidas e particuladas para o oceano Atlântico, (ii) como um estudo de caso para aprofundar o entendimento da geoquímica de elementos-traço em um grande sistema fluvial e (iii) como avaliação do potencial de contaminação das águas do rio (SEYLER; PINELLI; BOAVENTURA, 2003).

Além disso, a exposição aos elementos metálicos e semimetálicos, como As, Cd, Ni e Pb por exemplo, já ocorrem de forma natural em organismos vivos, no entanto, o contato com esses elementos em níveis elevados de concentração se tornam irremediáveis, pois segundo Klaassen (2008), cita que a toxicidade ocorre pelo aumento da concentração dessas substâncias, que normalmente são acumuladas no organismo e podem ocasionar câncer e entre outras doenças (KLAASSEN, 2008).

Entender e quantificar os elementos-traço no espaço e no tempo, como Cd, Cr, Ti, As, Rb, Ni, Pb, Ba, U, V, Sn, e Zr é de fundamental importância para que se possa compreender a variação dos mesmos na bacia do Rio Negro e contribuir com estratégias de adaptação às modificações existentes (e iminentes) sobre o sistema hidrológico, especialmente para o gerenciamento integrado de bacias.

Diante deste motivo, o presente estudo se propôs responder: “De que forma a variabilidade hidrológica influencia na variabilidade do fluxo de elementos-traço na bacia do Rio Negro-AM?”, já que a liberação de quantidades elevadas desses elementos-traço nos rios tropicais, é um problema e uma preocupação ambiental. O entendimento também pode fornecer uma base científica para o desenvolvimento antecipado de metodologias e técnicas de estudo na bacia amazônica (SEYLER; PINELLI; BOAVENTURA, 2003). Visto que o Rio Negro e áreas adjacentes foram designadas como Sítio Ramsar Regional no ano de 2018, esta região foi incluída na lista de áreas úmidas de importância internacional, com o objetivo de promover a conservação e o uso racional das áreas úmidas (BRASIL, 2018).

Portanto, neste contexto, a determinação do fluxo desses elementos nas águas se faz um aspecto importante a indicar e monitorar sob várias escalas no tempo e no

espaço e este estudo pretende colaborar neste processo na bacia hidrográfica do Rio Negro-AM, por meio dos trabalhos de campo executados pelos pesquisadores do programa Hybam (ver [www.sohybam.org](http://www.sohybam.org)). Tendo como objetivo caracterizar a variação espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos (pH, Condutividade Elétrica, Temperatura) e do fluxo dos seguintes elementos-traço (Cd, Cr, Ti, As, Rb, Ni, Pb, Ba, U, V, Sn e Zr), uma vez que dependendo dos teores e das condições físico-químicas ambientais, tais parâmetros permitem dar o contexto onde os elementos-traço se dispersam através das águas, pois os elementos escolhidos podem passar de micronutrientes à condição de elementos tóxicos aos seres humanos (CHAVES, 2008; GUILHERME, 1999; KAWAI et al., 2012; LARCHER, 2000; MARTINS et al., 2011). O período do presente estudo corresponde ao de maior quantidade de dados existentes, de 2003 a 2018, para uma melhor caracterização desse conteúdo nessa importantíssima sub-bacia hidrográfica da Bacia Amazônica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral:**

**Analisar a relação entre a variabilidade hidrológica e do fluxo de elementos traço na bacia do Rio Negro-AM.**

### **2.2 Específico:**

- a) Analisar a variação espaço-temporal dos parâmetros físicos e químicos – potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), temperatura (T), para sustentar a análise da variabilidade hidrológica e dos elementos-traço;
- b) Avaliar o comportamento do fluxo de elementos-traço e a variação espaço-temporal dos elementos traço – cádmio (Cd), cromo (Cr), titânio (Ti), arsênio (As), rubídio (Rb), níquel (Ni), chumbo (Pb), bário (Ba), urânio (U), vanádio (V), estanho (Sn) e zircônio (Zr) –, presentes nas amostras de água superficial, considerados como potencialmente tóxicos;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, os recursos hídricos superficiais disponíveis em abundância representam 11% do total mundial. Todavia, no país ocorre uma distribuição desigual da água, sendo que a bacia hidrográfica do Rio Amazonas detém 71,1% da vazão nacional (GIATTI; CUTOLO, 2012; TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2001). Desse modo, aproximadamente 80% da água superficial do país encontra-se na Região Hidrográfica Amazônica que, por outro lado, possui baixa densidade demográfica e pouca demanda por uso de água (ANA, 2017; GIATTI; CUTOLO, 2012; TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2001).

#### **Bacia Hidrográfica Amazônica**

A bacia Amazônica se estende por 6 milhões de km<sup>2</sup> e tem uma vazão média de 209 mil m<sup>3</sup>/s (isso inclui os períodos de cheias e secas), fornecendo até 20% de toda a água do rio descarregada no oceano (MOLINIER et al., 1997). Localizada entre o planalto das Guianas (ao norte) e o Planalto Central Brasileiro (ao sul), abrangendo uma área de 6,5 milhões de km<sup>2</sup>, esta bacia drena águas de seis países além do Brasil (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2001). É a maior bacia hidrográfica do planeta de dimensões continentais, essa bacia está situada na zona intertropical, recebendo precipitações médias anuais de 2460 mm (ABDO et al., 1997). E com o aporte do fluxo da matéria em suspensão na ordem de 600 a 800 milhões de toneladas por ano com contribuição de aproximadamente 17% na vazão de água doce para os oceanos (FILIZOLA, 2003; FILIZOLA; GUYOT, 2009; GUYOT; FILIZOLA; LARAQUE, 2005).

Dos dez grandes rios tropicais em termo de vazão no mundo, quatro localizam-se na bacia Amazônica (Amazonas, Negro, Madeira e Japurá). Estes grandes rios apresentam complexas planícies de inundação e apresentam padrão de drenagem multicanal (*anabanching*), (MARINHO, 2019). Os regimes pluviométricos na Bacia Amazônica mostram forte oposição entre os trópicos norte e sul, com um período chuvoso em junho, julho e agosto – JJA no Norte e em dezembro, janeiro, fevereiro - DJF no Sul, devido ao aquecimento alternado de cada hemisfério e às monções americanas (ESPINOZA VILLAR et al., 2009a). Ao sul da bacia apresenta os níveis

máximos de vazão nos meses de março a maio e as mínimas de agosto a outubro, mas, ao norte da bacia, correspondente a bacia do Rio Negro, os maiores índices de chuva acontecem nos meses de maio a julho, enquanto que ao Sul da bacia acontece de dezembro a março (ESPINOZA VILLAR et al., 2009a; FILIZOLA et al., 2002).

A temperatura média anual na região equatorial da planície amazônica varia entre 26°C e 28 °C, no entanto durante o inverno a parte meridional e ocidental da Amazônia atinge temperaturas mais baixas oriundas de frentes frias que ocasionalmente atingem a porção sul da bacia. A elevada temperatura resulta em uma evapotranspiração potencial na bacia da ordem de 3 mm dia<sup>-1</sup> entre os meses de janeiro e junho, com um incremento de até 4 mm dia<sup>-1</sup> entre julho e dezembro (NOBRE et al., 2009; SORÍ et al., 2017).

### **Classificação das águas superficiais da Bacia Amazônica**

Os corpos d'água amazônicos dispuseram de sua primeira classificação científica elaborada por Sioli na década de 1950. Sioli sugeriu uma classificação dos rios amazônicos de acordo com os parâmetros físico-químicos de suas águas, cujo o mesmo usou a cor da água, transparência, pH e condutividade elétrica para explicar as características limnológicas dos grandes rios amazônicos e correlacionou essas características às propriedades geológicas das bacias hidrográficas. Nos dias de hoje, essa classificação ainda é utilizada quando são considerados apenas os grandes rios da região hidrográfica, pois faz sentido mesmo do ponto de vista físico-químico pelo fato de, regionalmente, as características serem bem distintas quando associadas às cores dos grandes rios (JUNK et al., 2015; MMA, 2006; RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2020; SIOLI, 1956).

Os rios de água branca, como o Solimões e o Madeira, têm altos níveis de sólidos suspensos totais, devido à erosão mecânica da cadeia andina, um baixo conteúdo de matéria orgânica, são menos ácidos e possuem elevada turbidez, com o pH próximo a 7, e são relativamente ricas em Ca<sup>2+</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, com classificação de “águas carbonatadas” (JUNK, 1997; QUEIROZ et al., 2009; RICHEY et al., 1990; SIOLI, 1967).

Tabela 1: Tipologia das águas amazônicas e suas principais características de diferenciação tal qual como são encontradas em seu estado natural.

TIPO DE ÁGUA	RIO TÍPICO	ORIGEM DAS ÁGUAS	CONDUTIVIDADE DE (µS.cm <sup>-1</sup> )	pH	CARGA DE MES* (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Branca</b>	Solimões, Madeira, Juruá e Purus	Andina e sub-andina	>60	6,5 a 7	>100
<b>Clara</b>	Trombetas, Tapajós e Xingu	Escudos	6 a 5	5 a 6	<100
<b>Preta</b>	Negro, Uatumã e Urubu	Escudos, em solos arenosos	8	4 a 5,5	<10

Fonte: Adaptado de (FILIZOLA, 1999; MEADE et al., 1979; SIOLI, 1967, 1975) apud (MMA, 2006) \* MES – Material em Suspensão.

Já os rios de águas claras (Xingu, Tapajós e Trombetas) oriundas da Amazônia central, são caracterizados por uma alta produção de fitoplâncton, comparável à dos lagos de “várzeas”(JUNK, 1997; RICHEY et al., 1990). Além de terem áreas de captação nos relevos menos acidentados, ocasionando menor quantidade material em suspensão e aspecto límpido. Possuem transparência de 60 cm a 4 m (SIOLI, 1967). Apresentam composição química variável em função do substrato geológico, com pouca produção de matéria orgânica e pH entre 4,0 e 6,6 (SANTOS; RIBEIRO, 1988).

Por último, os rios de águas pretas são caracterizados por um alto nível de substâncias húmicas dissolvidas, responsáveis pela cor de “chá”, baixo pH entre 3,8 e 4,9, identificando águas ácidas e um baixo teor de material particulado em suspensão (MOREIRA-TURCQ et al., 2003; SIOLI, 1967). Nesses tipos de águas são registradas concentrações muito baixas de sólidos totais suspenso (aproximadamente 6 mg.L<sup>-1</sup>), comparadas com as outras três tributárias da Bacia amazônica, como os Rios Branco, Tapajós e Xingu (MOQUET et al., 2016).

## **Monitoramento de parâmetros físico-químicos em ambientes amazônicos**

Com o avanço da urbanização, novas áreas estão em fase de degradação das características originais das suas águas superficiais, que são os melhores parâmetros para medir a qualidade, o grau de impacto e, entender os mecanismos que controlam a concentração dos elementos químicos nos rios (HORBE et al., 2005; SHILLER, 1997). Vertentes relacionadas a padrões de variação espaço-temporal de parâmetros físicos e químicos e elementos-traço em ambientes aquáticos naturais, especificamente rios e riachos, são raramente estudados nesse sentido (KRUPEK; BRANCO; PERES, 2010).

O Rio Negro, objeto do presente estudo, tem amplitude de cota média anual de 10 metros, e como consequência pode ocorrer diluição de materiais transportados, mesmo com o efeito de barramento hidráulico pela aproximação com o encontro das águas junto ao Rio Solimões (LARAQUE; GUYOT; FILIZOLA, 2009).

Desse modo, tais estudos merecem atenção e necessitam de investigações que visem melhorar a compreensão de sua estrutura e dinâmica, antes que a ação antrópica possa interferir em seu equilíbrio (KRUPEK; BRANCO; PERES, 2008). Os parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água, os que são diretamente influenciados pelo uso do solo na bacia de drenagem são as concentrações de fósforo, nitrogênio, oxigênio dissolvido, clorofila  $\alpha$  e carbono orgânico dissolvido, dureza, cor, temperatura, alcalinidade, acidez, matéria orgânica, pH, turbidez, condutividade elétrica, potencial redox, sólidos totais, algas, micronutrientes inorgânicos e orgânicos (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008; SPERLING, 1996).

### **Indicadores físicos e químicos da qualidade da água**

#### **Temperatura**

A temperatura desempenha um papel fundamental de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos, tais como oxigênio dissolvido e condutividade elétrica (CETESB, 2016; SPERLING, 1996). Expressa medição da intensidade de calor, sendo seu gradiente o fenômeno

responsável pela transferência de calor em um meio. A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas) (FUNASA, 2014; SPERLING, 1996).

As variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. E a elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por ações antrópicas, bem como, despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas (CETESB, 2016; PINTO; OLIVEIRA; PEREIRA, 2010).

### **Condutividade elétrica (CE)**

A condutividade elétrica (CE) é a expressão numérica de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. Essa propriedade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon (CETESB, 2016).

Em média, as águas naturais apresentam teores de CE na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e em ambientes poluídos os valores podem chegar a 1000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (CETESB, 2016; FUNASA, 2014). A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes (CETESB, 2016). Assim sendo, a condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2016).

### **Potencial hidrogeniônico (pH)**

O potencial hidrogeniônico (pH) fornece a intensidade das condições de acidez ou a alcalinidade do meio líquido, por meio da medição da concentração de íons

hidrônio ( $H_3O^+$ ) (MOREIRA, 2019). As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais) (FUNASA, 2014).

O pH exerce influência direta e indireta sobre os ecossistemas aquáticos naturais. Pontualmente, em função dos efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies, indiretamente, por contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados, em condições específicas de pH, ou até mesmo sobre a solubilidade de nutrientes (ANTAS; MORAIS, 2011; CETESB, 2016).

### **Elementos-traço**

Os metais, especialmente metais-traço ou elementos-traço estão entre os contaminantes ambientais mais comuns e seu comportamento em diversos compartimentos ambientais merece destaque, principalmente por serem não degradáveis, permanecendo por longos períodos no ambiente, principalmente nos sedimentos e, portanto, representam ameaça potencial à biodiversidade bem como aos ecossistemas (COTTA; REZENDE; PIOVANI, 2006; OLIVEIRA; MARINS, 2011).

Elementos-traço são elementos químicos com densidade superior a  $5 \text{ mg.cm}^{-3}$  e número atômico maior que 20, estáveis e não degradáveis. A concentração desses elementos no solo encontra-se naturalmente devido a ação do intemperismo da rocha mãe e de outros processos pedogenéticos no material de origem do solo. Esses metais participam do arranjo cristalino de diferentes minerais, fundamentado pelo seu papel geoquímico e sua divisão durante a cristalização dos elementos mineralógicos da rocha (OLIVEIRA; MARINS, 2011; REBÊLO et al., 2020).

A geoquímica classifica os elementos como elementos maiores, menores e elementos traço, dependendo da disponibilidade em materiais geológicos (DISSANAYAKE; CHANDRAJITH, 1999). Do ponto de vista biológico, têm caráter tóxico, os seguintes elementos: Pb, Cd, Hg, As, Ti e U, enquanto que Co, Cu, Mn, Se e Zn são vistos como biologicamente essenciais (ALLOWAY, 1995). A maioria dos elementos-traço exerce um significativo papel biológico na construção de estruturas orgânicas e gerência os fluxos de nutrientes e de energia nos organismos (ANDRADE,



2003). Os metais de ocorrência natural nos ecossistemas aquáticos são provenientes da solubilização das rochas e sua lixiviação no solo. Suas concentrações em ambientes aquáticos naturais são de baixas concentrações (SPERLING, 1996).

O fluxo de elementos-traço em sistemas aquáticos superficiais é consequência da geoquímica das rochas de origem e solos da bacia hidrográfica (metais liberados pelo intemperismo); poluição antropogênica (derivada de resíduos ou da deposição atmosférica); e reações químicas (adsorção em partículas e outras superfícies e deposição nos sedimentos) (ESTEVES, 1998b; GUILHERME et al., 2005). Os metais-traço são normalmente elementos reativos e persistentes, que entrando nas águas dos rios e/ou estuários podem reagir com o material suspenso, com a matéria orgânica dissolvida e com ânions sendo, finalmente, depositados para o sedimento de fundo (NIENCHESKI; WINDOM; SMITH, 1994).

### Elementos traço de caráter tóxico

Elementos traço como Cd, Cr, Ti, As, Rb, Ni, Pb, Ba, U, V, Sn, e Zr, podem vir a constituir uma fonte potencial para a poluição ambiental, pelo fato dos elementos-traço serem encontrados no ambiente em baixas concentrações, sendo denominados de “elementos potencialmente tóxicos”, devido às propriedades prejudiciais que estes apresentam, tais como a bioacumulação (SANTANA, 2010).

De acordo com (KAWAI et al., 2012), existem três classes de metais, os conhecidos **elementos essenciais**, ou seja, a manutenção da vida depende deles; os **microcontaminantes** que possuem um grau de necessidade em nossa sociedade mas como sugere a nomenclatura, contaminam e os **essenciais e simultaneamente microcontaminantes** que possui as duas características, logo, é necessário a utilização consciente (Tabela 2).

Tabela 2: Classificação de alguns elementos de acordo com sua classe, proposta por Kawai et al. 2012.

CLASSE	ELEMENTOS
Elementos essenciais	sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e magnésio (Mg)

<b>Micro-contaminantes</b>	arsênio (As), chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Ag), alumínio (Al), titânio (Ti), estanho (Sn) e tungstênio (W)
<b>Essenciais e simultaneamente micro-contaminantes</b>	cromo (Cr), zinco (Zn), ferro (Fe), cobalto (Co), manganês (Mn) e níquel (Ni).

Vale destacar, que dependendo dos teores e das condições físico-químicas ambientais, tais elementos podem passar de micronutrientes à condição de elementos tóxicos aos seres humanos, a fauna e à flora, agindo como agentes contaminantes do solo, da água e também do ar (LARCHER, 2000; MARTINS et al., 2011). Elementos-traço como o As, Pb e Hg estão entre as três substâncias mais tóxicas, necessitando de prioridade de monitoramento e controle desses metais (GUILHERME, 1999). Em termos de toxicidade, os elementos podem ser classificados de acordo com três critérios: não-crítico; tóxico e muito tóxico (Figura 1).

**Tabela 2.1** – Classificação de alguns elementos de acordo com a toxicidade na fauna e flora.

<b>Toxicidade</b>	<b>Elementos</b>
Não crítico	Na, K, Mg, Ca, H, O, N, C, P, Fe, S, Cl, Br, F, Li, Rb, Sr, Si
Tóxico	Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, La, Os, Rh, Ir, Ru, Ba, Al
Muito tóxico	Be, Co, Ni, Zn, Cu, Sn, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi

Fontes: Forster e Wittmann (1983), McBride (1994) e Oliver, (1997).

Figura 1: Classificação de alguns elementos de acordo com a toxicidade na fauna e na flora.

Fonte: (CHAVES, 2008)

Porém, a definição de elementos-traço engloba metais, semi-metais e até mesmo não metais, tais como Se, sendo que alguns são biologicamente essenciais, tais como Co, Mn, Zn, Cu, B e Se, que podem ser tóxicos, quando a concentração destes elementos for superior aos níveis de tolerância dos seres vivos (MARTINS et al., 2011). Desta forma, outros fatores devem ser considerados e contextualizados para definir a real toxicidade desses elementos, tais como: concentração, tipo de organismos expostos, capacidade de assimilação dos metais, vias de exposição, entre outros (PEIJNENBURG; JAGER, 2003).

Visto que os elementos-traço podem estar sob a forma iônica, complexada (principalmente a moléculas orgânicas) e particulada (principalmente como componente de detritos, biomassa e minerais) o momento em que são inseridos no sistema aquático, os metais se distribuem no material em suspensão (biótico e abiótico), água superficial, água intersticial e sedimento de fundo (DORNFELD, 2002) (ESTEVES, 1998b; SOUSA, 2008). Os nichos interagem entre si por processos de adsorção-dessorção, solubilização, precipitação, sedimentação e difusão e todos influenciam a assimilação de metais pela biota (GUILHERME et al., 2005).

A literatura científica tem demonstrado que as águas superficiais dos rios Amazônicos apresentam relações entre a química da água e a geologia/mineralogia, bem como a pedologia associada às águas nas cabeceiras (MENEZES, 1999). Essa diferença no quimismo relacionada à qualidade das regiões de cabeceira faz com que os rios se tornem corpos hídricos quimicamente heterogêneos, pois refletem o ambiente geológico por onde passam (GIBBS, 1972; HORBE; OLIVEIRA, 2008; SIOLI, 1967). Rios de águas pretas, como o Rio Negro, possuem baixa concentração de íons (LEENHEER; SANTOS, 1980; SIOLI, 1967), porém o alto escoamento recebido pelo alto Rio Negro compensa parcialmente a baixa concentração, tornando os fluxos específicos de sólidos totais dissolvidos relativamente altos

## **4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **Bacia do Rio Negro**

A bacia do Rio Negro localiza-se entre as latitudes 3°13'S e 5°8'N e longitudes 72°57'W e 58°16'W, se expande pela Colômbia (10%), Venezuela (7%), Guiana (2%) e Brasil (81%), a Bacia Hidrográfica do Rio Negro abrange uma área de 696.810 km<sup>2</sup>. A parte superior da bacia atravessa planícies da Colômbia e o escudo das Guianas. Recebe o nome de Rio Negro a partir da confluência entre os rios Guainía (Colômbia) e Casiquiare (Venezuela) (FILIZOLA et al., 2011; MARINHO; RIVERA, 2019; MMA, 2006).

Com mais de 80% da bacia do Rio Negro sobre o território brasileiro (MARINHO, 2019), o Rio Negro é o mais importante rio de águas pretas do Brasil, sendo, o segundo principal tributário de descarga líquida para o Rio Amazonas, (LATRUBESSE; STEVAUX; SINHA, 2005) (Figura 2). Esta bacia envolve os estados do Amazonas e Roraima e corresponde a 11,3% da Bacia Amazônica, grande parte da bacia do Rio Negro é coberta com floresta tropical densa, apesar de existir áreas de Savanas na Colômbia e em Roraima, e contribui com 14% em termos de vazão de água. (ESPINOZA VILLAR et al., 2009a; FILIZOLA et al., 2011; FRANZINELLI; IGREJA, 2002; MARINHO; RIVERA, 2019; MMA, 2006).

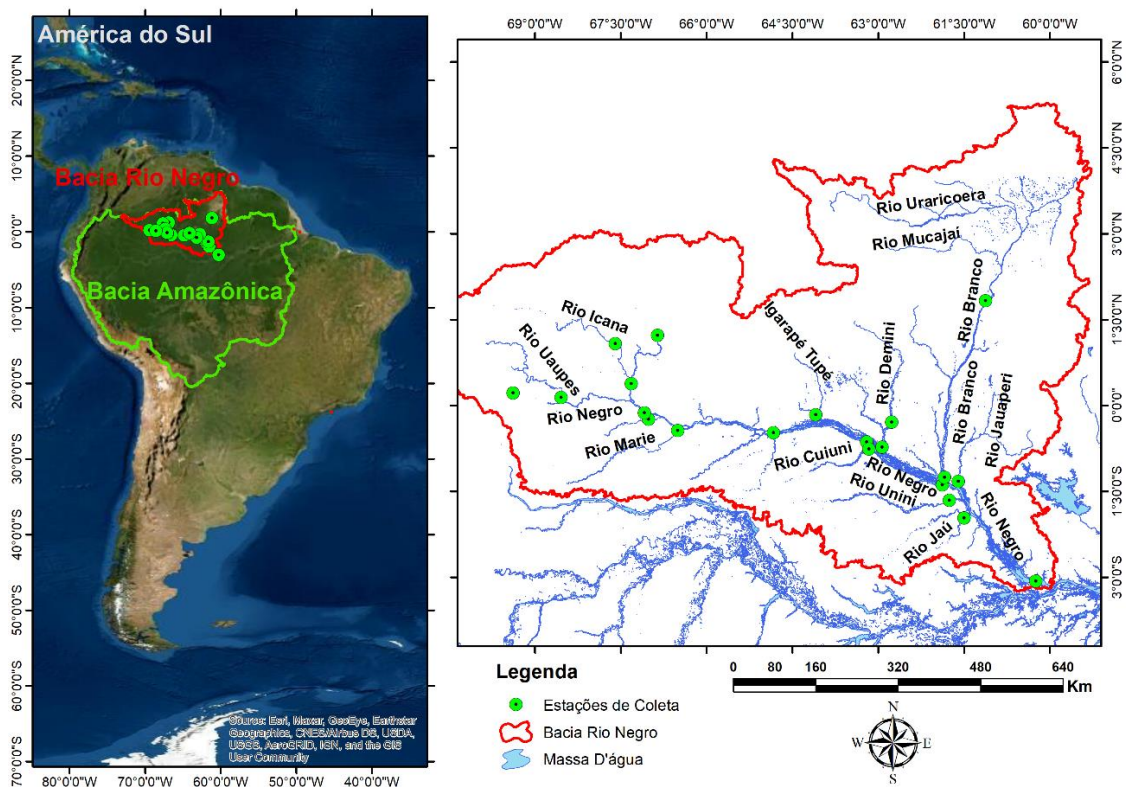


Figura 2: Mapa da Localização das Estações que foram estudadas na Bacia do Rio Negro.

Fonte: o autor.

## 4.1 Fisiografia

### 4.1.1 Hidrologia

A rede hidrográfica da bacia do Rio Negro desenvolve-se a partir da fronteira Brasil-Colômbia-Venezuela-Guiana até a confluência deste com o Rio Solimões,

próximo de Manaus. Seus formadores situam-se na serra do Junaí, região de confluência entre os Rios Guainía (Colômbia) e o canal de Casiquiare (Venezuela), canal este que conecta as bacias do Rio Negro e do Rio Orenoco. Os principais tributários do Rio Negro na margem direita são os Rios Içana, Uaupés, Curicuriari, Marié, Uneiuxi, Unini e Jaú. Já na margem esquerda destacam-se os Rios Cauaburi, Paduari, Demini, Branco e Jauaperi (Tabela 3). Sendo o Rio Branco o principal tributário de descarga líquida e sólida para o Rio Negro, e é o principal sistema fluvial do estado de Roraima, com maior densidade populacional em relação à bacia do Rio Negro (MARINHO, 2019; MARINHO; RIVERA, 2019).

O regime hidrológico do Rio Negro é do tipo Equatorial, caracterizado pela ocorrência de dois picos de descarga durante o ano. O primeiro pico ocorre nos primeiros três meses do ano, janeiro, fevereiro e março, representando um período fraco e de amplitude baixa, nem sempre evidenciado. O segundo e maior pico corresponde à inundação anual, que ocorre no período de maio a julho (FILIZOLA; GUYOT; GUIMARÃES, 2009).

O pH ácido característico neste rio é por conta da grande quantidade de ácidos húmicos dissolvido, que é decorrente de material orgânico, como raízes, folhas e madeira que apodrecem de forma lenta na água, e óxidos de ferro. Sendo pobre em sólidos em suspensão, transparente e tem uma cor marrom-avermelhada escura (“preta”) que deriva de substâncias húmicas lixiviadas de solos podzólicos (JUNK et al., 2015; RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2020). Em Anavilhanas o valor do pH é 4,88 e a condutividade elétrica varia de 9 a 13  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (MARINHO; RIVERA, 2019).

A água do curso inferior do Rio Negro tem velocidade muito baixa, chegando a ser represada em algumas épocas do ano durante o pico máximo do Solimões, dando aspecto de grande lago a esse trecho do rio (FRANZINELLI, 2011). Segundo, (LATRUBESSE, 2008) o Rio Negro possui um padrão de drenagem do tipo *anabanching*, um sistema multicanal com ilhas grandes (arquipélagos de Anavilhanas e Mariuá) estáveis que dividem o seu fluxo, com uma rede hidrográfica com grande variação de largura, sinuosidade e declividade.

A largura média do Rio Negro após a confluência com o Rio Uaupés é da ordem de 2 km, chegando a 20 km no arquipélago de Anavilhanas e a 10 km em frente a Manaus, enquanto que o Rio Branco possui largura média variando de 1 a 2 km a jusante de Caracaraí. Em grande parte de seu curso os canais dos rios Negro e Branco são predominantemente retilíneos com sinuosidade média variando de 1,00 a 1,05 (MARINHO, 2019). No baixo Rio Negro (a jusante da Foz do Rio Branco), as alturas das cotas estão controladas pelo efeito de barramento hidráulico do Rio Solimões que se estende por mais de 300 km a montante da confluência entre estes dois grandes rios (MEADE et al., 1991).

Segundo Martinez e Le Toan (2007), estima-se que 15% da bacia são ocupadas por água durante os períodos de cheia (MARTINEZ; LE TOAN, 2007). Estimativas de Melack e Hess (2010) apontam que a planície de inundação corresponde a uma área próximo de 118.000 km<sup>2</sup> (MELACK; HESS, 2010).

#### **4.1.2 Geologia e geomorfologia**

A geologia da bacia hidrográfica do Rio Negro compreende os sedimentos terciários, fortemente intemperizados, compostos de solos caulíníticos, grandes áreas de areias brancas (podzóis), que drenam o Escudo das Guianas (de idade pré-cambriana). O Escudo das Guianas ocupa uma extensa área da bacia do Rio Negro e de seus afluentes, é geologicamente pouco ativo em comparação com os Andes, possui rios com águas de menor concentração de sedimentos em suspensão e mais matéria orgânica sob a forma dissolvida, dando uma cor preta aparente (FILIZOLA; GUYOT, 2011; MOLINIER et al., 1995).

Em Filizola e Guyot (2009), uma contribuição de mais de 8 milhões toneladas ano de matéria suspensa foi estimada do Rio Negro para o Rio Amazonas (FILIZOLA; GUYOT, 2009). Apresenta teor muito baixo de minerais dissolvidos que resulta em uma condutividade elétrica de  $<20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . O conteúdo de metais alcalino terrosos é da mesma forma, muito baixo e normalmente contribui com mais de 50% do conteúdo catiônico total, no qual predomina o Na<sup>+</sup> e seus principais ânions são Cl<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Com valores de pH de 4-5, caracterizando que a água é ácida (JUNK et al., 2015; RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2020).

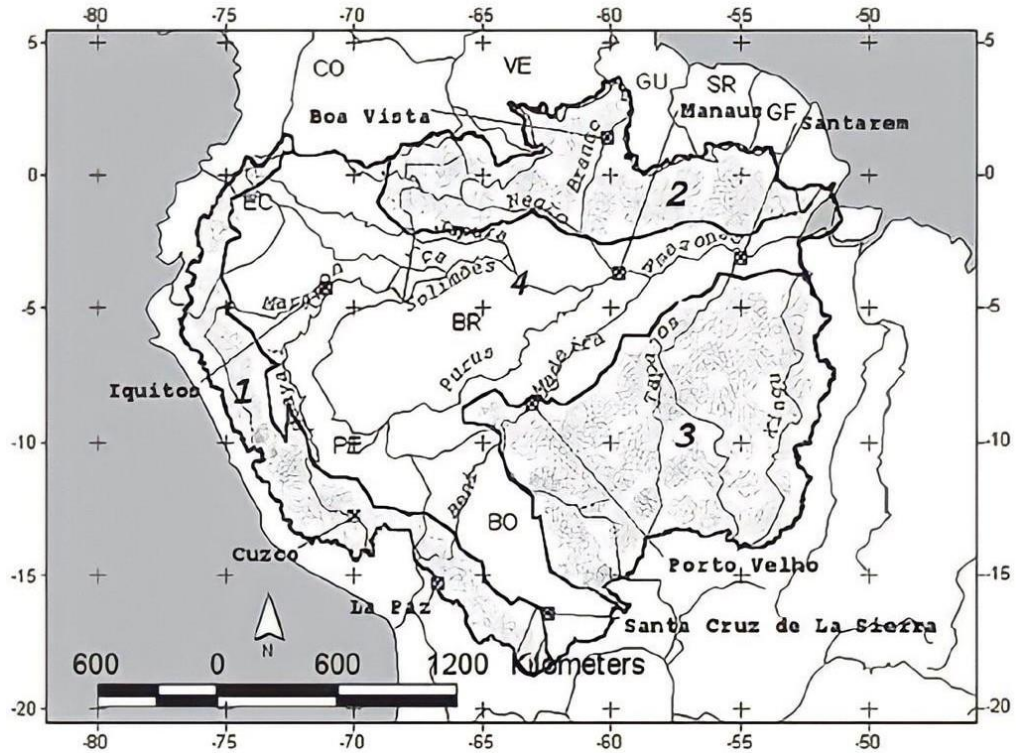


Figura 3: A Bacia Amazônica com suas 4 principais unidades morfoestruturais (1 – Cadeia Andina; 2 – Escudo das Guianas; 3 – Escudo Brasileiro; e 4 – Planície Fluvial) e seus principais cursos d’água.

Fonte: (FILIZOLA; GUYOT, 2011).

Uma divisão em trechos para o Rio Negro foi proposta por Latrubesse e Franzinelli (2005) em seis trechos tendo como base a variação no estilo geomorfológico e nos controles tectônicos (Figura 4). O trecho Ia e Ib (Figura ??) corresponde à parte superior da bacia, e é área fonte de grande parte dos sedimentos suspensos e do escoamento superficial, este último derivado de chuvas intensas nesta porção. O trecho II, apresenta um padrão de canal *anabranching*, sobre sedimentos aluviais que formam uma grande planície de idade Holocênica. No trecho III, se expõe um lineamento NW-SE, que segue até a confluência do Rio Branco, no arquipélago de Mariuá. O trecho IV, localiza-se entre a foz do Rio Branco e a região a montante do arquipélago de Anavilhanas, caracterizado por um segmento bastante estreito e com afloramentos de rochas ao longo do canal. O trecho V, atravessa rochas cretáceas da formação Alter do Chão, caracterizado principalmente pelo arquipélago de Anavilhanas. O trecho VI, se estende da região a jusante de Anavilhanas até a confluência com o Rio Solimões, em Manaus (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005).

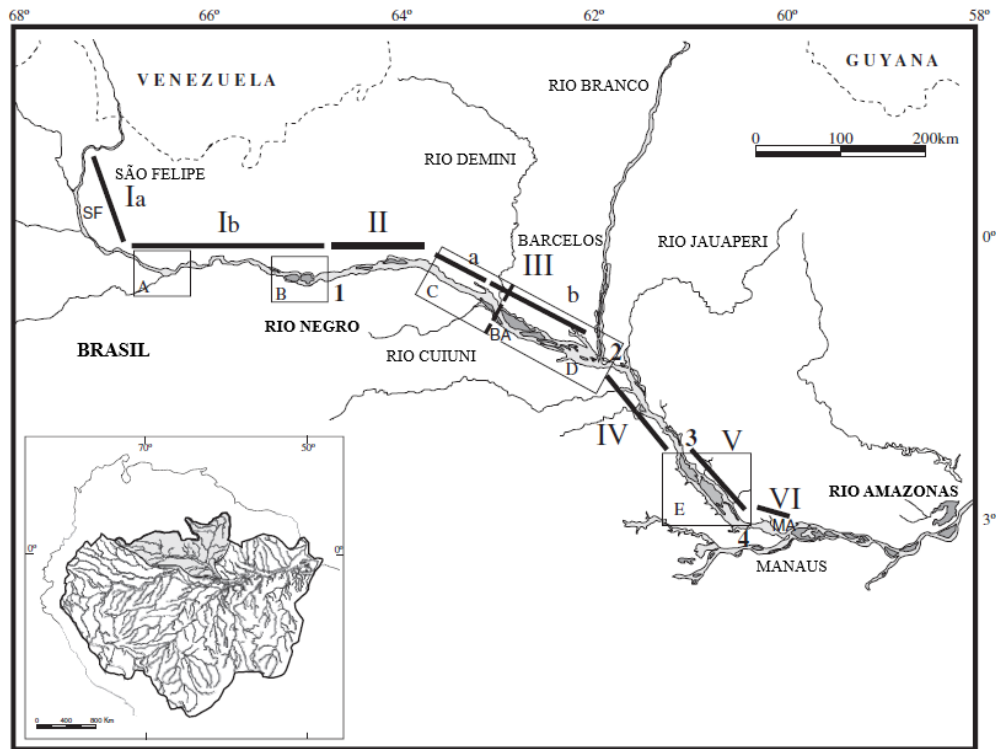


Figura 4: Trechos geomorfológicos do Rio Negro.

Fonte: Adaptado de (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005).

#### 4.1.3 Solos

Os solos da Amazônia, em sua maior parte são altamente intemperizados e pobres em nutrientes (MARENCO et al., 2014; QUESADA et al., 2012), resultado de vários ciclos de intemperismo, erosão e sedimentação (QUESADA et al., 2011).

Um solo característico da bacia é o Espodossolo (*Podzol*), situado principalmente na região do alto Rio Negro e Rio Branco, possui baixa fertilidade química devido a sua elevada acidez, apresenta grande quantidade de quartzo e são desprovidos de argila. Os solos ao longo da planície dos rios Negro e Branco são classificados como Gleissolos, apresentam coloração cinza e permanecem saturados por longos períodos (QUESADA et al., 2011).

Outros solos ocorrem quase exclusivamente nas proximidades dos escudos brasileiro e guianense, como Arenossolos, Lixissolos, Nitissolos, Histossolos e Podzóis (QUESADA et al., 2011). No alto Rio Negro, o solo foi caracterizado como Podzólico indiscriminado (ESCARIÃO, 2001), sendo, a maior parte da área constituída por



superfície aplainadas. O principal mecanismo responsável pelo aplainamento geral do terreno pode ter relação com a transformação dos Latossolos em areais brancas hidromórficas (MAFRA et al., 2002). De forma geral, os tipos de solos da Bacia do Rio Negro (Figura 5) são predominantemente Latossolo principalmente na margem esquerda.

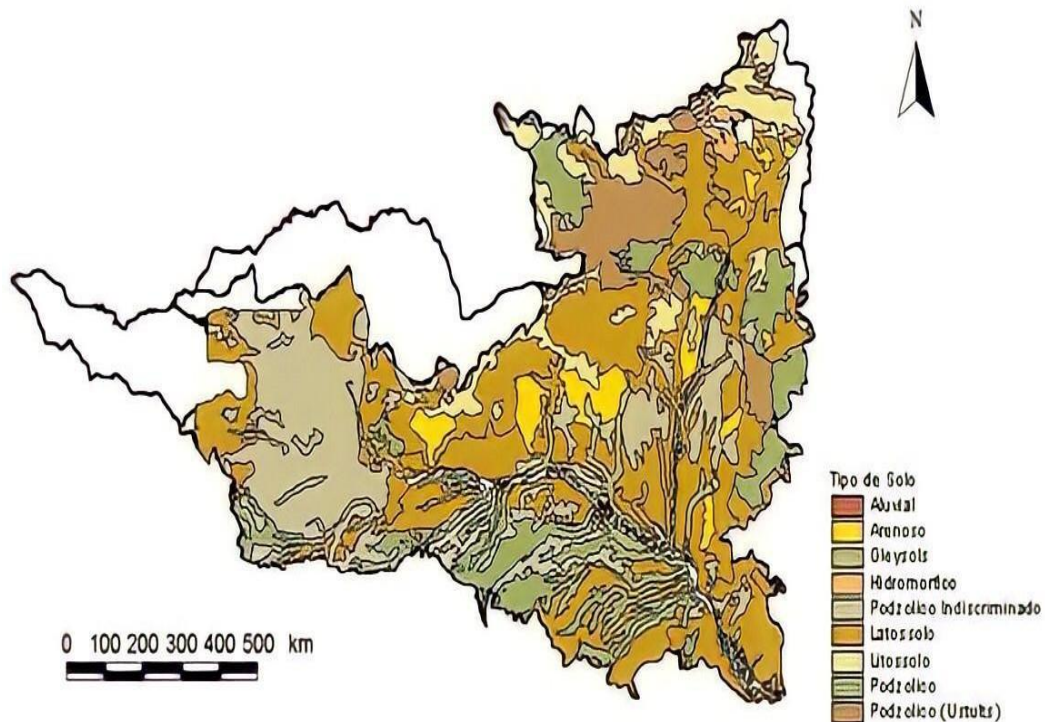


Figura 5: Tipos de solos da Bacia do Rio Negro.

Fonte: (ESCARIÃO, 2001).

#### 4.1.4 Vegetação

A floresta Amazônica é a maior floresta tropical do mundo, possuindo um papel importante na ciclagem de água e carbono e na conservação da biodiversidade do planeta (MARENCO et al., 2014; SAATCHI et al., 2007). Na região Amazônica ocorrem diversos tipos de vegetação. Na região do alto Rio Negro, grandes áreas são ocupadas pela Caatinga alta, contêm muitas espécies endêmicas. Nos escudos das Guianas, próximo à divisa do Brasil com a Venezuela e Guiana, onde são formadas por rochas areníticas a vegetação predominante é do tipo savana, é uma região antiga com serras altas (BRAGA, 1979).

#### 4.1.5 Climatologia

A climatologia na região Amazônica, é determinado por uma combinação de vários processos físicos e dinâmicos de grande escala, além de feições locais, que são responsáveis pela distribuição temporal e espacial da precipitação (SANTOS; LUCIO; SANTOS E SILVA, 2014). Na região a precipitação tem uma intensidade média anual de aproximadamente 2.300 mm, embora na fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela o total anual atinge 3.500 mm (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998). A bacia se comporta como um sumidouro de umidade da atmosfera, recebendo vapor d'água tanto do transporte de origem oceânica quanto da evapotranspiração produzida pela própria floresta tropical, ou seja, no balanço de água da região a precipitação é maior que a evapotranspiração (ROCHA et al., 2017; ROCHA; CORREIA; FONSECA, 2015). A sazonalidade no período chuvoso é controlada principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ESPINOZA VILLAR et al., 2009b).

No alto Rio Negro os meses mais chuvosos ocorrem no período entre maio e julho, sem uma estação seca bem definida, em função da posição mais ao norte da ZCIT (RONCHAIL et al., 2002). Na bacia do Rio Branco o regime de precipitação possui maior definição, com um volume maior entre abril e setembro, e estação seca ocorrendo entre outubro a março (EVANGELISTA; WANKLER; SANDER, 2012).

No baixo Rio Negro o período de maior incidência de precipitação ocorre entre os meses de fevereiro e abril. Mas em geral o período chuvoso da região ocorre entre meses de dezembro e fevereiro devido predominância do regime de monções, no entanto as precipitações podem se estender até seu período de transição no mês de abril (VERA et al., 2006).

A vazão do Rio Negro é relacionada às áreas que mais recebem precipitação dentro da bacia Amazônica, e a abundância de precipitação é fortemente relacionada à posição média da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esta zona, por sua vez é alimentada pelos ventos alísios de superfície e também pode ser caracterizada pela interação oceano-atmosfera, estabelecendo-se durante o verão austral no noroeste amazônico, distribuindo-se até o Atlântico Sul subtropical (MOLION; BERNARDO, 2002)

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram coletados do site ORE-HYBAM ([www.ore-hybam.org](http://www.ore-hybam.org)) entre os anos de 1995 a 2018. Na base de dados são listadas ao todo 119 estações na bacia do Rio Negro. Sendo 36 estações possuindo dados de vazão, 34 estações possuindo dados físico-químicos e 33 estações possuindo dados geoquímicos. Para estabelecer o período de estudo, foram analisadas as estações disponíveis na Bacia do Rio Negro, através de tabela de dados de base, afim de verificar qual o período e disponibilidade de dados em comum existia entre as estações. Com isso foram selecionados 22 pontos amostrais (Tabela 3 e Figura 2), seguiu o critério de compatibilidade entre as estações quanto ao seu período e dados geoquímicos.

### 5.1 Dados hidrológicos

Os dados dispostos na plataforma OREM-HYBAM advém de uma rede de medição com a coleta regular de amostras em diferentes países. Podem ser oriundos de processo de compartilhamento de dados com as redes convencionais (e.g. a Agência Nacional de Águas no Brasil) ou de uma rede própria de observadores. Os dados são coletados por um operador seguindo protocolo de amostragem e filtração de acordo com métodos internacionais reconhecidos (e.g. GEMS/Water, UNESCO-UNEP). Além das estações da rede, dados também foram obtidos a partir de amostragens realizadas durante campanhas de campo HYBAM cujos relatórios e dados também se encontram no mesmo sítio Internet.

Face ao acima exposto, foram utilizados os seguintes dados coletados da plataforma ORE-HYBAM:

- a) **Fluviométrico:** tais como cota (nível d'água) e vazão (descarga) líquida, que permitem a definição e atualização da curva de descarga. Assim a estação fluviométrica é essencial para estudos hidrológicos, de planejamento de uso dos recursos hídricos, auxilia nas previsões de cheias, no gerenciamento de bacias hidrográficas, da navegação, dentre outros aspectos. Esses dados são originalmente gerados pela ANA, mas revisados e compartilhados por técnicos

HYBAM;

- b) **Físico-químicos:** neste estudo foram considerados especificamente: Temperatura, Condutividade e pH.
- c) **Geoquímicos:** a pesquisa avaliou a presença e o comportamento do fluxo de elementos-traço presentes na base que podem ter caráter tóxico: cádmio (Cd), cromo (Cr), titânio (Ti), arsênio (As), rubídio (Rb), níquel (Ni), chumbo (Pb), bário (Ba), urânio (U), vanádio (V), estanho (Sn) e zircônio (Zr).

Face à coleta de dados e verificação dos períodos de dados existentes, foram selecionados dados entre os anos de 1995 a 2018, sendo o período de 2003 a 2018 o com maior volume de dados, caracterizando 15 anos de dados. Esse período com maior volume e frequência se deu em especial nas estações de Serrinha e Caracaraí, que são as estações principais da bacia do Rio Negro e consequentemente as de maior ênfase quanto à avaliação neste estudo.

## 5.2 Tratamento e análise de dados

Para caracterização e análise dos dados da Bacia do Rio Negro foram utilizados os dados de Cota (H), Vazão (Q), geoquímicos e físico-químicos. Para os dados Geoquímicos buscou determinar o fluxo e o balanço de massa dos elementos-traço.

Com isso, o presente estudo foi dividido em 7 estágios (Anexo I), descritos a seguir:

- **1º Etapa:** a pesquisa verificou a disponibilidade de dados de todas as estações da Bacia do Rio Negro na Base do Ore Hybam. Determinou a localização das estações que apresentavam os dados relevantes para o estudo quanto a: Cota (H), Vazão (Q), temperatura (T), condutividade elétrica (CE), pH e elementos-traço de caráter tóxico [cádmio (Cd), cromo (Cr), titânio (Ti), arsênio (As), rubídio (Rb), níquel (Ni), chumbo (Pb), bário (Ba), urânio (U), vanádio (V), estanho (Sn) e zircônio (Zr)];

- **2º Etapa:** os dados foram organizados a partir das planilhas brutas em uma lista com todas as estações e seus respectivos parâmetros a fim de verificar qual o período comum de dados existentes e o quantitativo de estações e de dados a ser utilizado;
- **3º Etapa:** foi construída uma planilha apenas com os dados a serem utilizados no estudo tomando-se as estações com mesmos elementos e num mesmo período comum;
- **4º Etapa:** para a análise dos regimes, foram calculados valores de mínimas, médias e máximas mensais de cada variável disponíveis por estações, e foram gerados gráficos dos parâmetros disponíveis, como séries históricas, e sazonalidade relacionando com a variável vazão (Q);
- **5º Etapa:** calculou-se o Fluxo de Elementos nas estações para cada período do ciclo, utilizando a equação em ton.dia<sup>-1</sup>:

$$QS = Q*[ET]*C$$

Filizola e Guyot (2009)

Onde:

Qs = Fluxo de matéria dissolvida/suspensa (ton.dia<sup>-1</sup>)

Q= Descarga líquida ou Vazão

[ET] = Concentração Elemento-Traço (mg.L<sup>-1</sup>)

C= Constante para ton.dia<sup>-1</sup>: 0,0864

- **6º Etapa:** calculou-se o balanço dos fluxos através da equação:

$$(QSa+Qsb+...+QSn) - Qsx = \xi$$

Filizola e Guyot (2011)

Onde:

QSa = é o fluxo do elemento-traço medido em ponto “a” a montante do ponto “x” num determinado curso d’água A;

$QS_b$  = é o fluxo de elemento-traço medido em ponto “b” a montante do mesmo ponto “x”, porém, nesse caso, localizado em um curso d’água B;

$QS_n$  = é o fluxo do elemento-traço medido em ponto “n” a montante do mesmo “x”, porém no enésimo curso d’água;

$QS_x$  = é o fluxo do elemento-traço num ponto “x” num curso d’água X a jusante dos demais;

$\xi$  = é um valor que poderá ser positivo ou negativo, dependendo do efeito ocorrido no local do estudo.

- **7º Etapa:** construíram-se mapas e gráficos representativos dos regimes de fluxo e dos balanços para os elementos-traço em cada estação e período do estudo, para compreender o comportamento individual na bacia do Rio Negro. Ademais foram realizadas correlações entre a concentração dos elementos com os regimes de vazão para as estações de Serrinha e Caracaraí, na busca de avaliar os comportamentos face ao regime hidrológico. Especialmente os dados das campanhas de campo foram utilizados para avaliar a variabilidade de montante para jusante dos mesmos.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma melhor compreensão e exposição dos resultados e discussão, os tópicos desse estudo foram divididos em 4 partes:

- **Análise espacial 1995 e 1996:** sazonalidade hidrológica associada aos parâmetros físico-químicos e elementos-traço.
- **Variação temporal de Caracaraí e Serrinha:** avaliação de nível e vazão das águas das estações de Caracaraí e Serrinha em relação a distribuição da concentração dos elementos-traço e parâmetros físico químicos em água superficial.
- **Análise de Correlação:** correlações entre a concentração dos elementos com a vazão para as estações de Serrinha e Caracaraí.
- **Fluxo de elementos-traço:** cálculo e avaliação do fluxo e do balanço de massa.

Com este estudo, foi possível analisar os dados físico-químicos e a concentração dos elementos traço para os anos de 1995 e 1996 de montante a jusante, e caracterizar a variação espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos e do fluxo de elementos-traço na Bacia hidrográfica do Rio Negro-AM, a partir dos dados disponíveis no ORE-HYBAM no período compreendido entre os anos de 2003 e 2018. Dessa forma, buscou determinar os parâmetros físicos e químicos para caracterização e avaliar a presença e o comportamento do fluxo de elementos-traço, a fim de compreender seu funcionamento na Bacia do Rio Negro. A avaliação da variação espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos e elementos-traço, possibilitou visualizar de forma macro o comportamento desses parâmetros e elementos na bacia.

O produto da primeira etapa detalhada anteriormente, é dado na tabela 3, com as estações definidas bem como seu código, o rio em que a mesma se encontra e suas coordenadas geográficas:

Tabela 3: Estações fluviométricas da bacia do Rio Negro definidas para o estudo \*Estação do Ore Hybam e ANA.

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
14860090	Caco de Prata	Unini	-1,66450	-61,75270
14710000	Caracará*	Branco	1,82139	-61,12361
14480090	Confl_Branco	Negro	-1,39630	-61,87700
14870090	Confl_Carabinani	Jau	-1,97270	-61,49610
14820090	Confl_Negro Branco	Branco	-1,26030	-61,84000
14450090	Confl_Negro Demini	Demini	-0,73750	-62,92940
14880090	Confl_Negro Jau	Jau	-1,97190	-61,49830
14850090	Confl_Negro Jauaperi	Jauaperi	-1,33610	-61,59690
14375990	Confl_Negro Marie	Rio Marie	-0,44630	-66,49950
14110000	Cucui	Negro	1,21528	-66,85250
14310000	Cunuri	Tiquie	0,20944	-69,37805
14437000	Ilha do Peixe Boi	Negro	-0,64580	-63,19880
14450000	Jalauaca	Demini	-0,30111	-62,76222
14350000	Jusante Cachoeira do Caju	Curicuriari	-0,24611	-67,00916
14230000	Missão Icana	Icana	1,07444	-67,59472
14910000	Paricatuba	Negro	-3,07720	-60,24180
14437090	Ponta da Terra	Cuiuni	-0,76750	-63,16130

<b>14250000</b>	São Felipe	Negro	0,37167	-67,31277
<b>14320001</b>	São Gabriel da Cachoeira	Negro	-0,13611	-67,08472
<b>14420000</b>	Serrinha*	Negro	-0,48194	-64,82889
<b>14435090</b>	Tapera	Igarapé Tupé	-0,17190	-64,08850
<b>14280001</b>	Taraqua	Uaupes	0,13028	-68,53861

Como resultado da segunda etapa, obteve-se a tabela das estações definidas para o estudo (Anexo II-A, B e C), tratando-se da mesma análise. E por meio desta análise foi possível mensurar a quantidade de dados disponíveis para o estudo e desde quando datavam. A somatória de todos os dados das 22 estações é de 14.291 registros. Este valor abrange os dados de cota, vazão, físico-químico e dos elementos-traço que foram trabalhados no presente estudo. Destes dados 4.731 são de cota e 4.151 de vazão. Já em relação aos dados físico-químicos tem-se respectivamente 524 dados de temperatura, 580 de condutividade elétrica e 370 de pH. Para os dados geoquímicos obteve-se 345 de vanádio (V), 349 de níquel (Ni), 349 de rubídio (Rb), 315 de cádmio (Cd), 350 de bário (Ba), 326 de chumbo (Pb) e 345 de urânio (U), sendo os elementos com maior compatibilidade de análise entre as estações. Os demais elementos-traços como cromo (Cr) com 327 dados, arsênio (As) com 308 dados, titânio (Ti) com 316 dados, zircônio (Zr) com 307 dados e estanho (Sn) com 298 dados, tais elementos não foram descartados da presente pesquisa devido sua quantidade significativa de dados, por possuírem ao menos duas estações em comum como Serrinha e Caracaraí e por terem poucos estudos com tais elementos em ambiente aquático.

Na terceira etapa examinou-se todo conjunto de dados produzidos na tabela (Anexo II-A, B e C) para verificar quais os períodos eram coincidentes entre os dados e estações. Verificou-se também os relatórios de campanha, disponíveis no ORE-HYBAM. Os dados de campanhas (Anexo III) são dados pontuais, sem a presença de séries históricas. No entanto, foram pertinentes por possibilitarem uma visão de montante para jusante, sobretudo na calha do Rio Negro e em especial para os anos de 1995 e 1996.

Apenas em duas estações do ORE-HYBAM, Serrinha e Caracaraí, foi possível realizar análise temporal. Isto se deu pelo fato de terem uma série histórica mais



completa e vasta. Dependendo do parâmetro (cota ou vazão), a série teve início no ano de 1967 e indo até 2019. Porém, tendo as coletas de dados geoquímicos como fatores limitantes para o presente trabalho, se delimitou o período entre 2003 a 2018. Os resultados alcançados na quarta etapa, para as estações de Caracará e Serrinha, foram de cálculos dos valores de medidas de tendência central, bem como média aritmética e valor máximo e mínimo para cada um dos parâmetros com dados disponíveis (Anexo IV-A, B e C).

### **6.1 Análise espacial das campanhas de 1995 e 1996**

A análise espacial da vazão das estações Cunuri, Taraqua, Missão Içana, Cucui, São Felipe, Jusante da Cachoeira do Caju e Jalauaca, dentro da bacia do Rio Negro nos anos de 1995 e 1996 foi elaborada para maior compreensão e exposição dos dados de uma visão de montante a jusante da bacia.

Na análise espacial é importante destacar que a vazão é crescente de montante para jusante e a variabilidade (máximas e mínimas), ocorrem praticamente nos mesmos períodos do ano, sendo a vazão máxima ocorrendo no mês de julho expressando a sazonalidade hidrológica da região. No ano de 1995 na estação de São Felipe máxima com  $14.880 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e mínima em fevereiro na estação Jalauaca com  $52,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (figura 6). A variação mensal da vazão em 1996 teve um aumento em comparação ao ano anterior para todos os meses e estações. Na estação de São Felipe, observou-se um aumento de  $530 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no mês de julho e em Jalauaca de  $95,52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no mês de janeiro. Com isso São Felipe permaneceu com a máxima dentre as demais com  $15.410 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e Jalauaca também permaneceu com a mínima com  $147,70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Durante as águas baixas de 1996 observou-se uma similaridade e constância entre as estações em comparação com o ano anterior (figura 11). As médias anuais de cada estação demonstrarão o aumento de um ano para o outro e as estações com vazões mais expressivas, sendo a estação de São Felipe ( $9.000,16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) com maior vazão média anual e Cunuri ( $323,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) com menor vazão média anual.

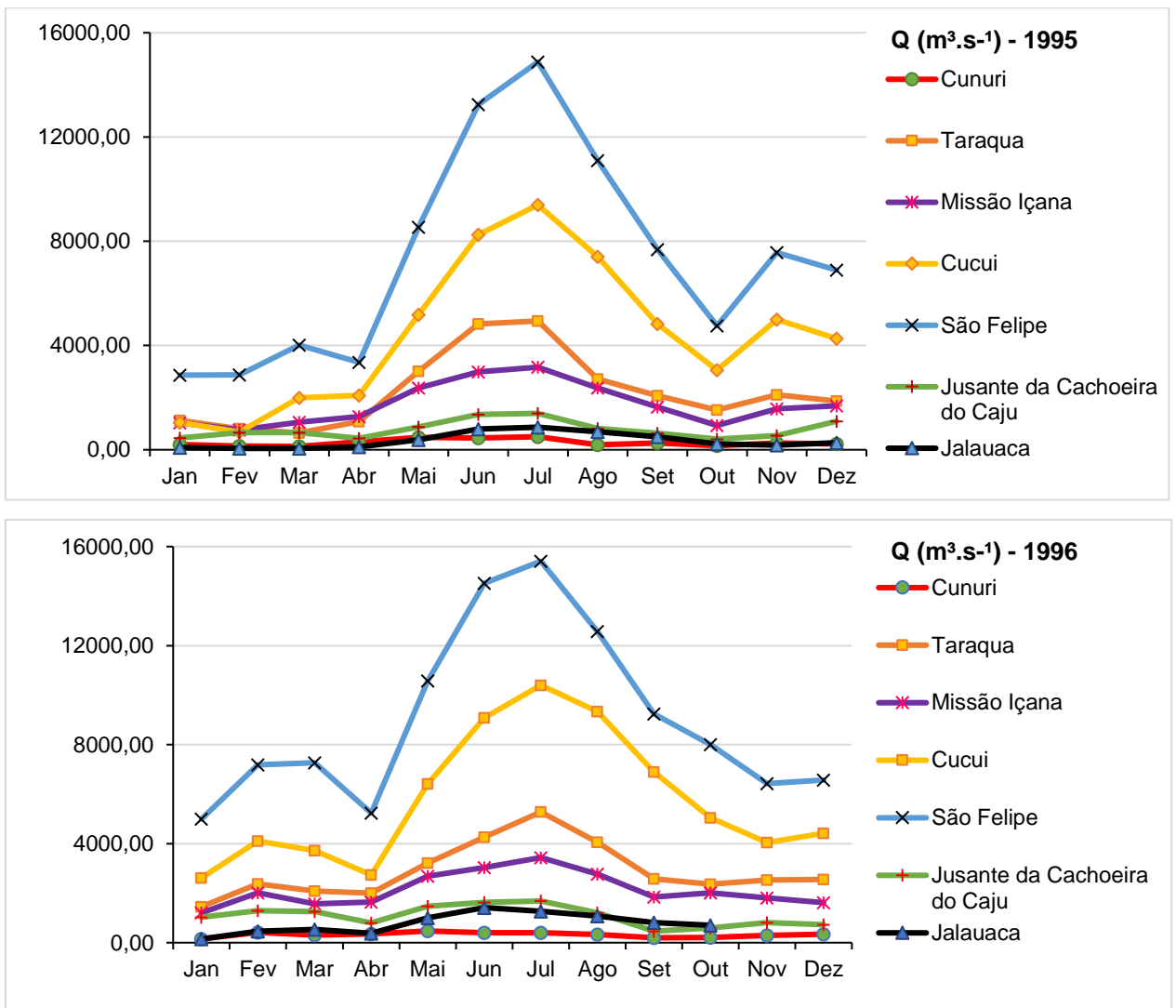


Figura 6: Gráfico da vazão interanual de montante a jusante das estações (Cunuri, Taraqua, Missão Içana, Cucui, São Felipe, Jusante da Cachoeira do Caju, Jalaúaca) – No ano de 1995 e 1996.

Os níveis da água do alto curso do Rio Negro descem entre os meses de novembro e fevereiro, já o baixo curso Rio Negro encontra-se em período de inundação. As variações do nível das águas no baixo Rio Negro são ocasionadas pelo efeito do barramento hidráulico do Rio Solimões-Amazonas, estendendo-se até aproximadamente 300 km de distância para montante da confluência do Rio Negro com o Rio Solimões (FILIZOLA et al., 2011; MEADE et al., 1991). A inundação é consequência de um represamento provocado pela alta do complexo Solimões-Amazonas, que recebe grandes quantidades de água de seus diversos tributários que estão em época de enchentes. Por isso, é na estação seca que, paradoxalmente, sobe o nível da água do baixo Rio Negro (ZEIDEMANN, 2001).

## **Parâmetros físico-químico 1995 e 1996**

### **PH**

O pH das amostras de água das estações Caco de Prata, Confluência Branco, Confluência Carabinani, Confluência Negro Branco, Confluência Negro Demini, Confluência Negro Jauaperi, Ilha do Peixe Boi, Paricatuba analisadas no mês de março de 1995, variou entre 4,60 pH (Ilha do Peixe Boi) a 7,40 pH (Confluência Negro Branco). Como dito anteriormente, a água do Rio Branco tem um pH com nível mais próximo do pH neutro, se comparado com os outros rios da bacia do Rio Negro, que possuem elevada acidez em seu pH, e isso justificaria o valor do pH na estação de Confluência do Negro com o Branco (Anexo V-A).

Na análise espacial 1996 foram analisadas o pH de 18 estações, a estação de Cucui teve o nível de pH mais ácido com 3,50 e as estação de Caracará teve o pH mais elevado dentre as demais estações com um valor de 7,20. Vale ressaltar, que a coleta de 1995, foi realizado no período de início de cheia (março) dos rios e a de 1996 foi já dentro do período de cheia dos rios (junho a julho), com exceção da estação de Caracará que teve sua coleta em dezembro do mesmo ano (Anexo V-A). Uma observação que poderia ser um fator que justifica as estações Caco de Prata e Confluência Negro Jauaperi, terem tido um nível de acidez diferente entre um ano e outro, seria justamente o período de coleta. Esses valores são coerentes com observações anteriores (JUNK; PIEDADE, 1997; SILVA et al., 2013).

### **Condutividade**

A condutividade elétrica das amostras de 1995 para as nove estações analisadas, tiveram valores entre 9,61 a 31,20  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , sendo o valor mínimo referente a estação Confluência Negro Jauaperi e o valor máximo para Confluência Negro Branco (Anexo V-B). Para a análise espacial de 1996 foram analisadas a condutividade de 18 estações (Anexo V-B), sendo que apenas três estações tiveram valor de condutividade superior a 20  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , foram elas Confluência Negro Marie com 20  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , Caracará com 25  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e Jusante Cachoeira do Caju com o valor máximo de 87  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . As demais estações tiveram valores entre 5 a 17  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , sendo o valor mínimo registrado em Cunuri. Os resultados obtidos mostram que,

embora os rios de águas pretas geralmente apresentem poucos eletrólitos, o que lhes concede baixa condutividade. No entanto eles podem conter mais metais que os rios de águas brancas (SILVA et al., 2013).

## Temperatura

Na análise espacial de 1995 foram analisadas nove estações, e os valores de temperatura ficaram entre 28,70 a 30,80 °C, sendo o valor mínimo na estação de Paricatuba e a máxima na estação da Ilha do Peixe Boi. Para análise espacial de 1996 foram analisadas 18 estações, que tiveram uma variação de temperatura ao longo da bacia do Rio Negro de mínima de 21°C na estação Jusante Cachoeira do Caju e máxima de 29,70°C em Caracará, as demais estações ficaram com valores de temperatura entre 24,30°C a 28°C (Anexo V-C).

A temperatura média anual na região equatorial da planície amazônica varia entre 26°C e 28 °C. Como descrito por outros autores, as estações da bacia do Rio Negro apresentaram homogeneidade para o período hidrológico, devido suas similares características hidrodinâmicas, a variabilidade da temperatura em rios conforme as fases hidrológicas do Rio Negro, sendo o período de seca aquele que apresentou maiores temperaturas (MULHOLLAND et al., 2015; NOBRE et al., 2009; SORÍ et al., 2017; SOUSA, 2008).

*Tabela 4: Análise espacial dos parâmetros físico-químicos dos anos de 1995 e 1996.*

<b>Data</b>	<b>Estação</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Condutividade µS.cm<sup>-1</sup></b>	<b>pH</b>
<b>mar-95</b>	Caco de Prata	30,00	17,76	6,10
<b>jul-96</b>	Caco de Prata	25,90	7,00	5,10
<b>dez-96</b>	Caracará	29,70	25,00	7,20
<b>mar-95</b>	Confl_Branco	29,60	15,60	5,00
<b>jul-96</b>	Confl_Branco	27,00	12,00	4,00
<b>mar-95</b>	Confl_Carabinani	28,80	11,97	5,20
<b>mar-95</b>	Confl_Negro Branco	29,40	31,20	7,40
<b>mar-95</b>	Confl_Negro Demini	30,60	13,50	7,20
<b>jul-96</b>	Confl_Negro Jau	28,20	6,00	4,90
<b>mar-95</b>	Confl_Negro Jauaperi	29,90	9,61	6,60

jul-96	Confl_Negro Jauaperi	28,40	8,00	5,10
jul-96	Confl_Negro Marie	24,20	20,00	4,20
jun-96	Cucui	26,50	12,00	3,50
jun-96	Cunuri	25,00	5,00	3,90
mar-95	Ilha do Peixe Boi	30,80	14,89	4,60
jul-96	Jalauaca	27,60	9,00	4,40
jul-96	Jusante Cachoeira do Caju	21,00	87,00	3,70
jun-96	Missão Icana	25,00	15,00	3,70
mar-95	Paricatuba	29,30	13,60	5,30
jul-96	Paricatuba	26,10	8,00	4,90
mar-95	Ponta da Terra	30,70	22,90	6,90
jul-96	Ponta da Terra	24,30	8,00	4,40
jun-96	São Felipe	25,50	13,00	3,60
jun-96	São Gabriel da Cachoeira	26,10	13,00	3,90
jul-96	Serrinha	25,60	12,00	4,40
jul-96	Tapera	27,10	17,00	4,50
jun-96	Taraqua	25,90	8,00	3,90

### **Análise longitudinal dos elementos traço da campanha de 1995**

A análise espacial de concentração dos elementos para o ano de 1995 de sete estações (Confluência Carabinani, Caco de Prata, Confluência Negro Jauaperi, Confluência Branco, Confluência Negro Branco, Confluência Negro Demini e Ilha do Peixe Boi) é proveniente da segunda campanha de medições de vazão (com uso do ADCP) e amostragem de água e sedimentos nos rios Negro e Amazonas (HYBAM). A campanha permitiu realizar 52 medições de vazão em 15 estações, e efetuar amostragens de águas e sedimentos em 19 pontos mês de março período de enchente, e expõe concentrações dos seguintes elementos: Vanádio, Níquel, Arsênio, Rubídio, Cádmiio, Bário, Chumbo e Urânio, sendo os elementos Ba, Rb, Ni e V com concentrações expressivas em cada estação (figura 7).

Bário e Rubídio são os elementos com maiores valores de concentração em porcentagem, sendo a estação Confluência Negro Branco com o maior valor de concentração para Ba e Rb dentre as demais estações, sendo 2,52% para Bário e 0,46% para Rubídio. Por outro lado, elementos como Arsênio, Cádmiio, Chumbo e

Urânio, tiveram valores inexpressíveis, ainda que presentes em cada estação (Tabela 5).

Tabela 5: Tabela dos Elementos Analisados em 1995 em porcentagem de concentração.

DATA	Estação	V	Ni	As	Rb	Cd	Ba	Pb	U
08/03/1995	Confl_Negro Demini	0,07%	0,04%	0,00%	0,40%	0,00%	0,90%	0,01%	0,00%
09/03/1995	Ilha do Peixe Boi	0,06%	0,10%	0,00%	0,10%	0,00%	0,36%	0,04%	0,00%
11/03/1995	Confl_Branco	0,09%	0,05%	0,00%	0,12%	0,00%	0,44%	0,03%	0,00%
11/03/1995	Confl_Negro Branco	0,10%	0,03%	0,01%	0,46%	0,00%	2,52%	0,05%	0,00%
12/03/1995	Caco de Prata	0,06%	0,06%	0,01%	0,32%	0,00%	0,93%	0,02%	0,00%
12/03/1995	Confl_Negro Jauaperi	0,03%	0,06%	0,00%	0,23%	0,00%	0,93%	0,02%	0,00%
13/03/1995	Confl_Carabinani	0,05%	0,07%	0,01%	0,16%	0,00%	0,70%	0,02%	0,00%

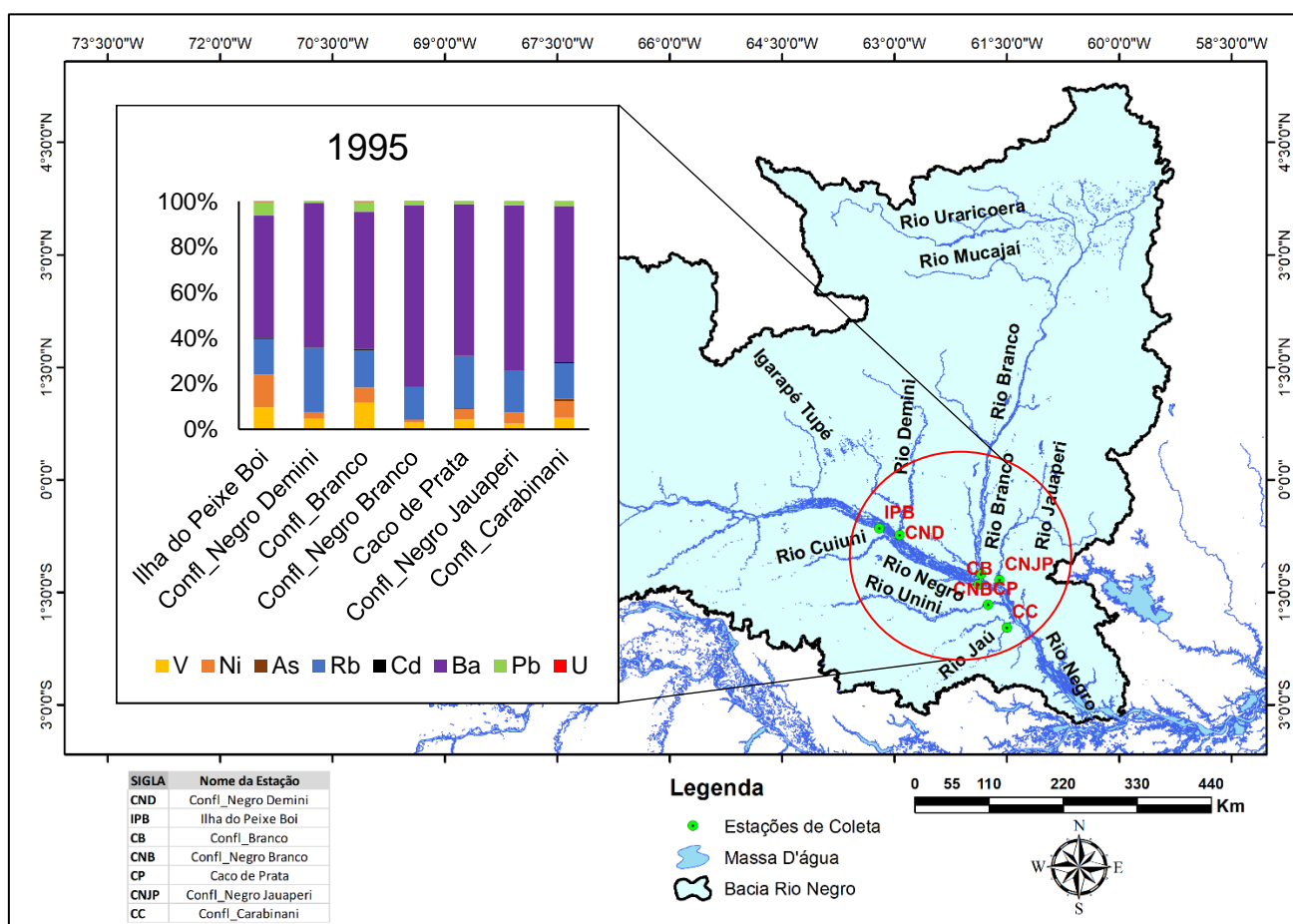


Figura 7: Mapa e gráfico de análise longitudinal da concentração dos elementos-traço (V, Ni, As, Rb, Cd, Ba, Pb e U) - Estações de 1995

## **Análise longitudinal dos elementos traço da campanha de 1996**

A análise espacial de concentração dos elementos-traço do ano de 1996 advém da quinta campanha de medições de vazão e amostragem de água e sedimentos na bacia do rio Negro e no rio Amazonas (HYBAM), e por meio desta campanha possibilitou analisar os níveis de concentração de sete elementos no mês de julho de 1996, período de cheia da bacia do Rio Negro para dezesseis estações (Paricatuba, Confluência Negro Jaú, Caco de Prata, Confluência Negro Jauaperi, Confluência Branco, Cucui, Ponta da Terra, Tapera, Confluência Negro Marie, Cunuri, São Gabriel da Cachoeira, Jalauaca, Jusante Cachoeira do Caju, Missão Içana São Felipe Taraqua). Em comparação ao ano anterior, as análises se tratam de períodos distintos do ciclo hidrológico da bacia, e com apenas três estações em comum (Caco de Prata, Confluência Negro Jauaperi, Confluência Branco).

Os seguintes elementos Vanádio, Níquel, Rubídio, Cádmio, Bário, Chumbo e Urânio foram analisados em porcentagem no total da amostra das estações citadas anteriormente. Sendo os elementos Ba, Rb, Ni e V com concentrações expressivas em cada estação sendo Confluência Negro Marie com a maior concentração de Vanádio 0,05%, Jusante Cachoeira do Caju e Caco de Prata com 0,05% de concentração do Níquel, Tapera apresentou a maior concentração para o Rubídio com 0,27%, a Confluência Negro Jauaperi apresentou a maior concentração do Bário com 1,31%, mas os elementos como Cádmio, Chumbo e Urânio tiveram valores inexpressíveis ainda que presentes em cada estação com porcentagem menor ou igual a 0% (figura 8). Bário e Rubídio são os elementos com maiores valores de concentração em porcentagem, para todas as estações (Tabela 6).

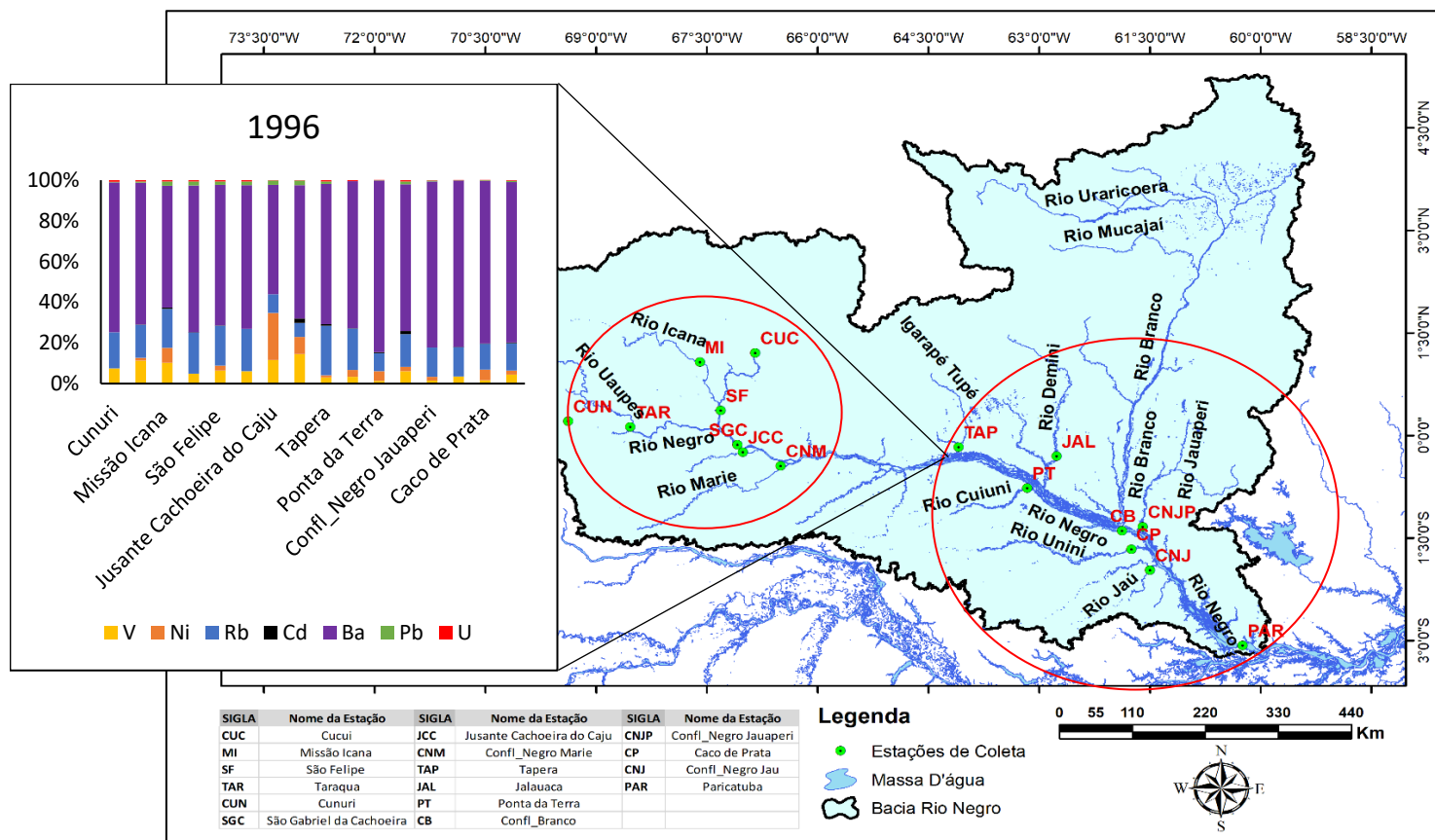


Figura 8: Mapa e gráfico de análise longitudinal da concentração dos elementos-traço (V, Ni, Rb, Cd, Ba, Pb e U) - Estações de 1996

Tabela 6: Tabela dos Elementos Analisados em 1995 em porcentagem de concentração.

DATA	Estação	V	Ni	Rb	Cd	Ba	Pb	U
21/06/1996	Cucui	0,03%	*	0,14%	0,00%	0,50%	0,01%	0,00%
24/06/1996	Missão Icana	0,03%	0,02%	0,05%	0,00%	0,16%	0,01%	0,00%
24/06/1996	São Felipe	0,03%	0,01%	0,10%	0,00%	0,35%	0,01%	0,00%
26/06/1996	Taraqua	0,04%	0,00%	0,06%	0,00%	0,27%	0,00%	0,00%
27/06/1996	Cunuri	0,02%	*	0,06%	*	0,24%	0,00%	0,00%
28/06/1996	São Gabriel da Cachoeira	0,03%	*	0,09%	*	0,31%	0,01%	0,00%
01/07/1996	Jusante Cachoeira do Caju	0,03%	0,05%	0,02%	*	0,12%	0,00%	0,00%
04/07/1996	Confl_Negro Marie	0,05%	0,03%	0,02%	0,01%	0,23%	0,01%	0,00%
06/07/1996	Tapera	0,03%	0,01%	0,27%	0,01%	0,76%	0,01%	0,01%
07/07/1996	Ponta da Terra	0,01%	0,04%	0,08%	0,00%	0,79%	0,00%	0,00%
07/07/1996	Jalauaca	0,04%	0,04%	0,25%	0,00%	0,88%	*	0,01%
08/07/1996	Confl_Branco	0,03%	0,01%	0,08%	0,01%	0,37%	0,01%	0,00%
10/07/1996	Confl_Negro Jauaperi	0,02%	0,03%	0,23%	0,00%	1,31%	0,01%	0,00%
11/07/1996	Confl_Negro Jau	0,03%	0,00%	0,12%	0,00%	0,68%	0,00%	0,00%
11/07/1996	Caco de Prata	0,02%	0,05%	0,13%	0,00%	0,80%	0,00%	0,00%
12/07/1996	Paricatuba	0,03%	0,01%	0,10%	0,00%	0,58%	0,00%	0,00%



## 6.2 Variação temporal de Caracarái e Serrinha

A variabilidade interanual nas estações de Serrinha (SER) e Caracarái (CAR) (figura 9), expuseram uma vazão média geral de todos os anos para Serrinha de  $16.949,40 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e para Caracarái  $3.291,80 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e para a cota  $739,75 \text{ cm}$  (SER) e  $330,61 \text{ cm}$  (CAR). Em Serrinha no ano de 2018 teve-se a máxima da vazão e da cota sendo respectivamente  $31.310 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e  $1.059 \text{ cm}$ . Na estação de Caracarái no ano de 2011 se registra a máxima da vazão e da cota sendo respectivamente  $12.760 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e  $932 \text{ cm}$ . A vazão mínima em Serrinha e Caracarái é registrada no ano de 2016 sendo  $3.747 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  (SER) e  $256,20 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  (CAR). Nesse sentido, é preciso destacar que os rios da bacia Amazônica não são governados por uma distribuição semelhante da pluviosidade, o que explicaria estações de uma mesma bacia apresentarem comportamento e valores distintos. Em (GUYOT et al., 1994) os autores detalham de forma mais abrangente essas distinções.

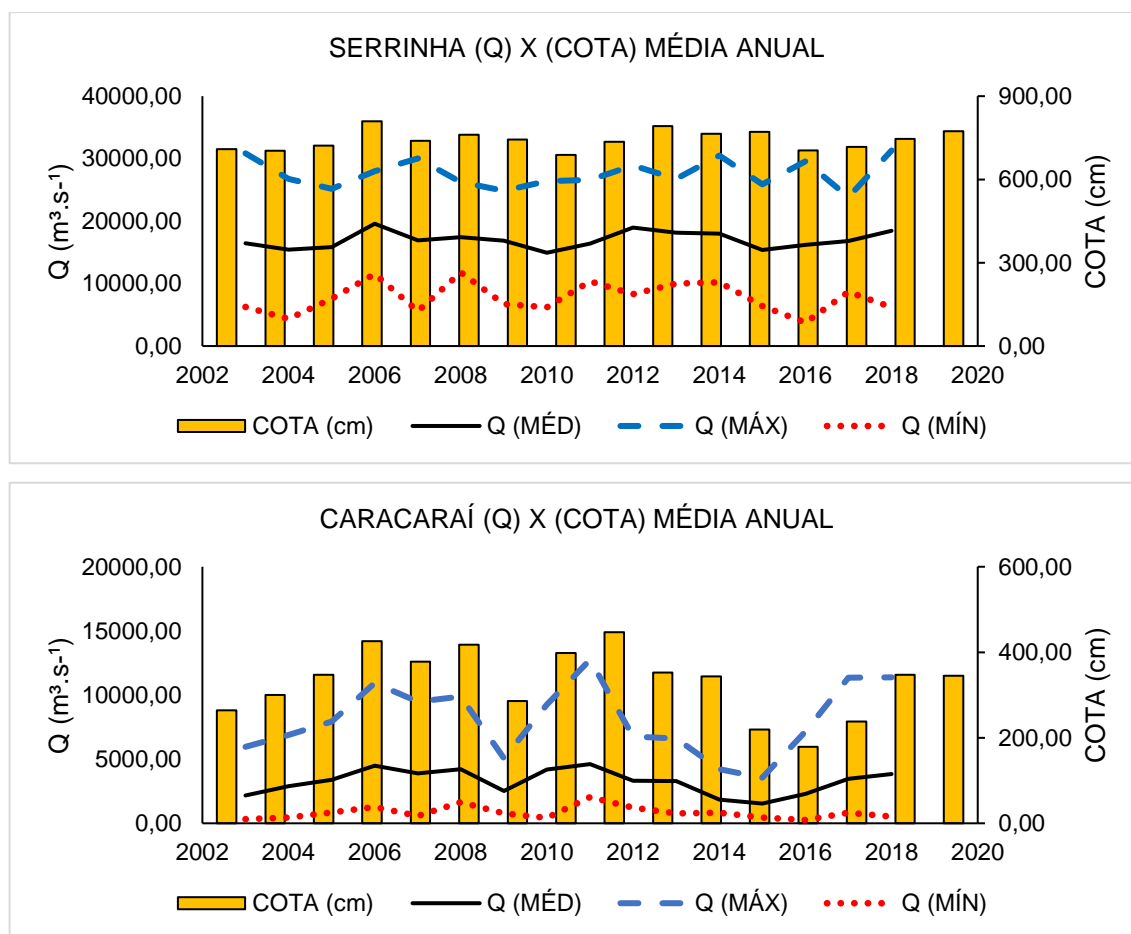


Figura 9: Gráfico da vazão e cota em médias anuais das estações Serrinha e Caracarái

As análises de variabilidade mensal em Serrinha e Caracaraí (figura 10) exibiram o comportamento sazonal distintos dentro da bacia do Rio Negro, em Serrinha a cheia apresenta um pico máximo entre maio a julho e estiagem de agosto a janeiro. Na estação de Caracaraí o período mais acentuado de águas altas se encontra entre os meses de junho a agosto, sendo o seu o pico máximo em julho. Caracterizando regime do tipo equatorial, com um pico de águas altas mais acentuado no meio do ano (MOLINIER et al., 1996).

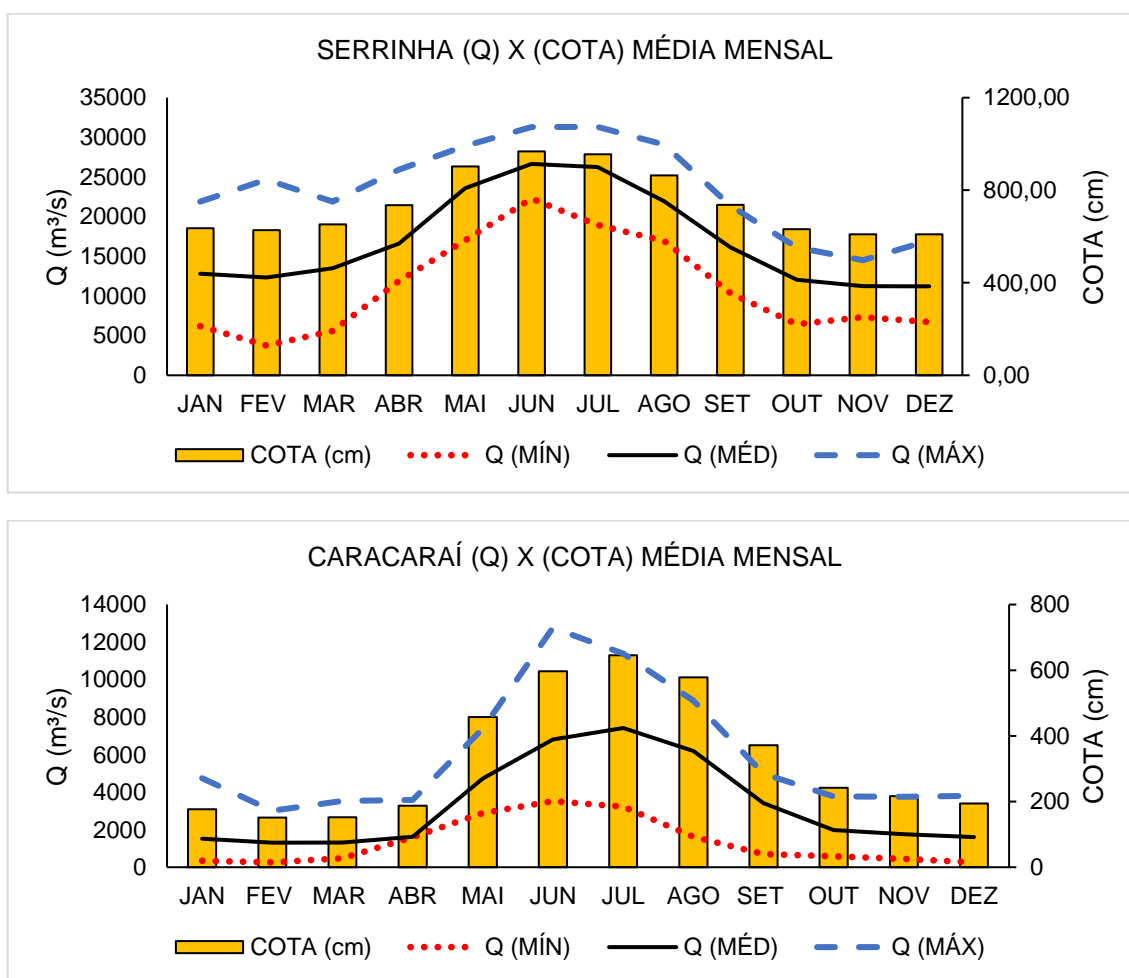


Figura 10: Gráfico da vazão e cota em médias mensais das estações Serrinha e Caracaraí

Um ou mais picos de vazão de magnitude inferior à máxima são encontrados no segundo semestre em julho e agosto para ambas as estações. Em junho se encontra a máxima de  $31.280 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (SER) e  $12.760 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (CAR), sendo a cota máxima em junho para Serrinha com média de 967,60 cm e para Caracaraí a cota máxima ocorre em julho com média 645,56 cm. A mínima em Serrinha para vazão

acontece em fevereiro com  $3.747 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e para cota o mês de dezembro com média de 609,13 cm. E para Caracaraí a vazão mínima se encontrou no mês de dezembro com  $256,2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e em fevereiro a cota teve a menor média com 150,87 cm. A estiagem inicia-se em dezembro e se estende até março, apresentando, com mais frequência, as cotas mínimas no mês de fevereiro (FIGLIUOLO et al., 2020)

Com a análise temporal de Serrinha e Caracaraí, fica evidente que as vazões são maiores na estação SER, se comparado com a estação CAR. Os gráficos de médias mensais expuseram, de forma visual, que a sazonalidade hidrológica é bem mais definida na estação de CAR em comparação a estação SER, tomando-se para isso a amplitude, proporcional, entre os períodos de máxima e mínima. E os gráficos de médias anuais expõem, a importância da realização de estudos hidrológicos nesta bacia, principalmente em virtude da recorrência de eventos extremos. Pois, estudos têm exposto que os eventos hidrológicos extremos estão sendo registrados com maior frequência nos últimos anos na região Amazônica (MARENGO et al., 2012)

## **Parâmetros físico-químico Caracaraí e Serrinha**

### **PH**

O pH das amostras de água das estações analisadas variou entre 3,65 (SER) a 7,6 (CAR). A estação Caracaraí obteve valores de pH mais próximo de condições neutras, se comparado com Serrinha, que apresentou níveis mais ácidos. A máxima é registrada na estação Caracaraí em setembro de 2009 com  $\text{pH} = 7,6$  e sua mínima registrada em fevereiro de 2018 com  $\text{pH} = 3,95$ , sendo sua média geral de  $\text{pH} = 6,55$  (figura 11).

Os valores de pH mais ácidos são registrados no alto Rio Negro na estação Serrinha (figura 11) que teve uma mínima de 3,65 pH no mês de fevereiro de 2010, e uma máxima de 6,75 pH em outubro de 2005, sendo sua média geral de 4,75 pH. Um fator que justifica esses valores mais ácidos quando comparado com os valores obtido em Caracaraí, é que essa região é caracterizada por uma alta abundância de solos arenosol/podzol e é conhecida por liberar águas com altas concentrações de matéria

orgânica, o que justifica esses valores mais próximos dos níveis ácidos da água (AUCOUR et al., 2003; MOQUET et al., 2016; STALLARD; EDMOND, 1983).

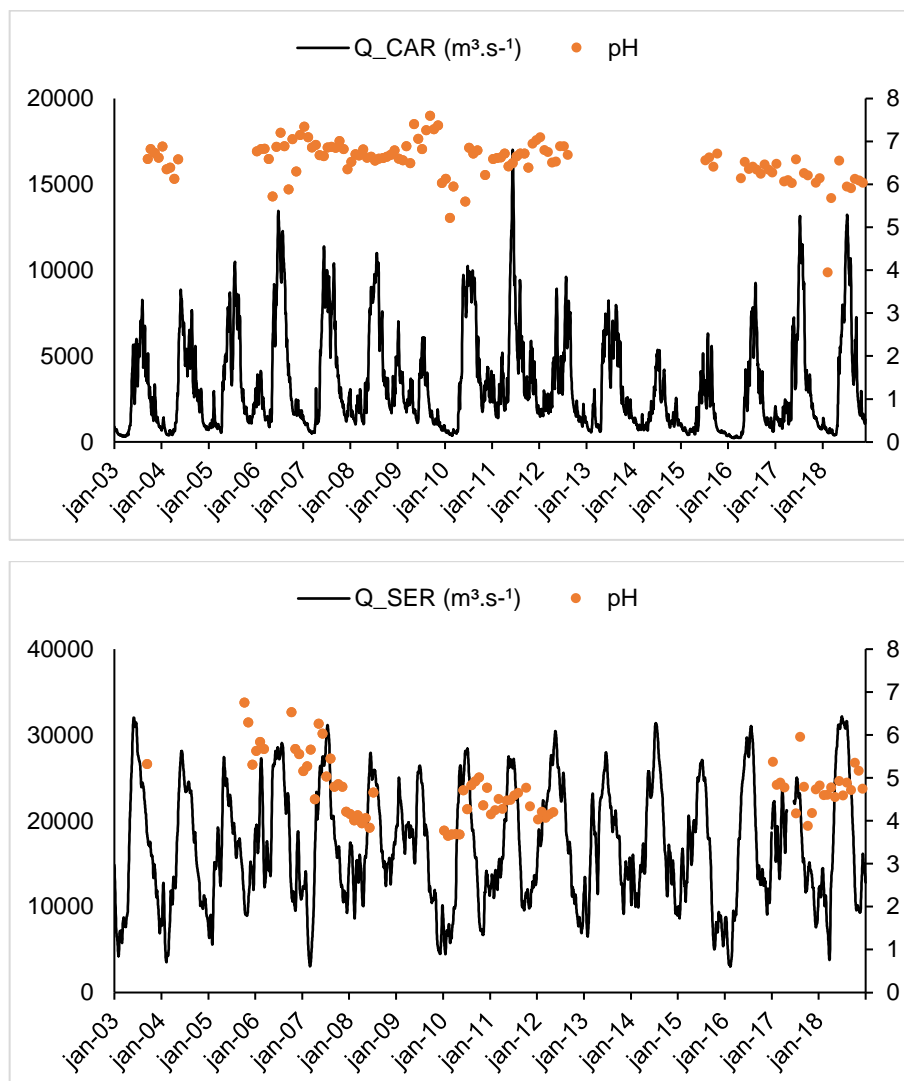


Figura 11: Gráfico da concentração do pH associado a vazão diária entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracaraí

Os dados de concentração do pH em Caracaraí mostrou que há duas lacunas de dados, sendo a primeira no início da série histórica entre 2004 a 2006 e a segunda lacuna entre 2013 a 2015. Em Serrinha ocorreu três lacunas de dados a primeira também no início da série entre 2003 a 2005, a segunda entre 2008 a 2010 e a terceira com uma lacuna de 5 anos entre 2012 a 2017, essas janelas de dados ainda que presente na análise, não demonstrou grandes diferenças entre os anos que se apresentam dados efetivos, e em ambas as estações o comportamento de nível do

pH esteve dentro do esperado para ambas as regiões, sendo considerado um pH ácido (figura 11).

## Condutividade

A condutividade elétrica da água é um indicador numérica da capacidade de transmitir corrente elétrica devido à presença de íons. A disponibilidade dos íons no meio, faz com que os rios de origem andina sejam mais enriquecidos com condutividade chegando a  $206,00 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (SILVA et al., 2013). Esse parâmetro fornece informações tanto sobre o metabolismo do ecossistema aquático quanto para alterações em uma bacia de drenagem (ESTEVES, 1998a).

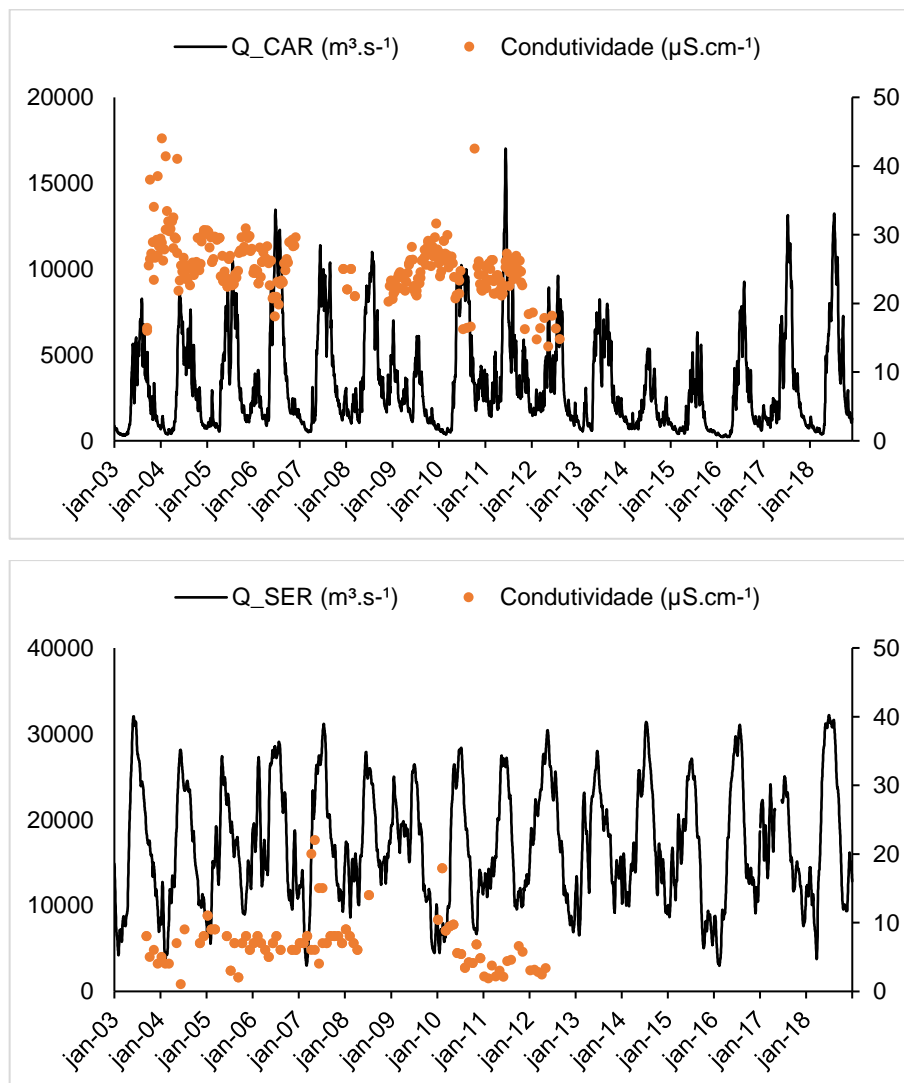


Figura 12: Gráfico da concentração da Condutividade associado a vazão diária entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracará

A estação de Caracaraí apresentou variação expressiva em comparação a estação de Serrinha mesmo havendo ausência de dados nos anos entre 2012 a 2018 na base HYBAM (figura 12). Os valores encontrados em Caracaraí foram superiores  $20 < \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , sendo a mínima registrada maio de 2012 com  $13,68 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e máxima em janeiro de 2004 de  $44,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , pode-se perceber que entre os anos de 2005 a 2011 o valor médio se manteve superior  $>20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , e que no ano de 2012 o valor se encontra inferior  $20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Na estação de Serrinha houve ausência de dados no ano de 2009 e entre 2012 a 2018 na base HYBAM, e os valores ficaram a baixo de  $25 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , sendo a máxima em maio de 2007 com  $22,00 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e a mínima em junho de 2004 com  $1,00 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Ainda é considerado um valor baixo, devido a pobreza em sais minerais dissolvidos (SANTOS et al., 1984).

## **Temperatura**

Ambas estações tiveram anos ausentes de dados dentro da plataforma. Com isso a análise de temperatura se deu apenas para os anos disponíveis na plataforma. Em Caracaraí, a temperatura teve máxima no ano de 2009 em outubro com  $30,9 \text{ }^\circ\text{C}$  e mínima em julho de 2009 com  $22,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Em Serrinha, teve sua máxima no ano de 2004 em fevereiro com  $30,5 \text{ }^\circ\text{C}$  e mínima em dezembro de 2007 com  $25,4 \text{ }^\circ\text{C}$  (figura 13). Segundo Nobre et al. (2009) e Sori et al. (2009) os corpos hídricos naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. Variações de temperatura são parte do regime climático normal. A temperatura média anual na região equatorial da planície Amazônica varia entre  $26^\circ\text{C}$  e  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  (NOBRE et al., 2009; SORÍ et al., 2017). Com isso a variação de temperatura na bacia está relacionada pela climatologia da região, tendo influência da sazonalidade hidrológica, com as maiores temperaturas ocorrendo predominantemente no período de seca e as menores temperaturas no período de cheia.

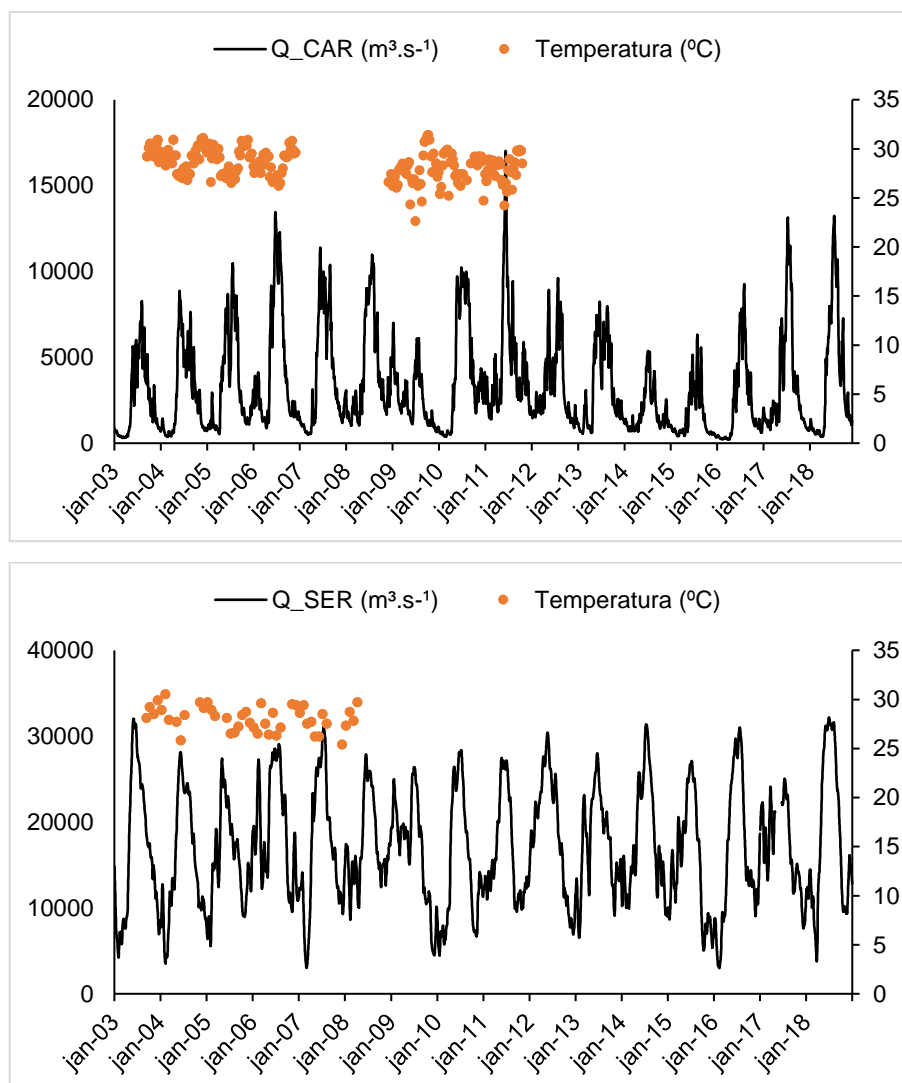


Figura 13: Gráfico da concentração da Temperatura associado a vazão diária entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracará

## 6.3 Elementos-traço

### 6.3.1 Análise diária da vazão associada a concentração do elemento traço

Os elementos-traço podem causar efeitos a ecologia de determinados nichos gerando problemas ao ambiente aquático, uma vez que rios são grandes transportadores de materiais. A fim de avaliar a concentração dos elementos-traço, especificamente: cádmio (Cd), cromo (Cr), titânio (Ti), arsênio (As), rubídio (Rb), níquel (Ni), chumbo (Pb), bário (Ba), urânio (U), vanádio (V), estanho (Sn) e zircônio (Zr), séries temporais diárias e mensais cobrindo o ciclo hidrológico entre os anos de 2003 a 2018 foram obtidas nas duas principais estações do ORE-HYBAM, Serrinha e Caracará. A análise a seguir se refere aos valores de vazão diária relacionado as

concentrações do elemento traço, essa mesma análise foi feita para ambas as estações e para todos os elementos analisados no presente estudo, os valores espúrios foram descartados (Anexo VI-A, B, C e VII-A, B, C).

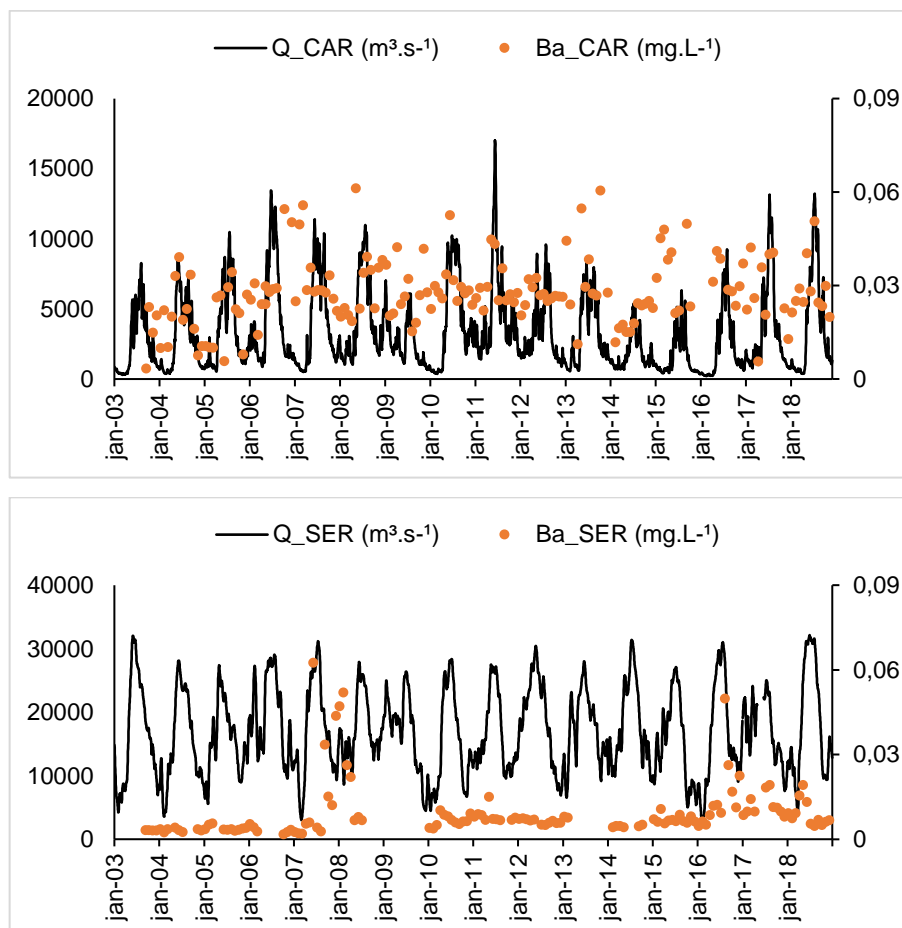


Figura 14: Gráfico da concentração de Bário associada a vazão diária entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracará -Manaus/Amazonas

As concentrações dos elementos traço associada a vazão, de maneira geral expõe maior expressividade em Caracará do que em Serrinha, e isso pode estar correlacionado ao volume de descarga e a geologia da região. Uma vez que em números a descarga em Serrinha é quase o dobro que em Caracará, e cada estação ainda que dentro da bacia hidrográfica do Rio Negro apresentam características geológicas distintas.

O gráfico acima (figura 14) expõe a análise do Bário, que é um dos elementos desse estudo com maior expressividade, o mesmo pode ser encontrado em quantidades traço em rochas ígneas e sedimentares. E sob olhar desta análise, em



Caracará nos anos 2003, 2004, 2005 o Ba esteve abaixo de 0,03 mg.L<sup>-1</sup> e o elemento se manteve próximo da faixa média que é entre 0,01 a 0,03 mg.L<sup>-1</sup>, no ano de 2014 se percebe uma queda da concentração, e no ano de 2008 é registrado o maior pico de concentração do elemento em Caracará com I de 0,06 mg.L<sup>-1</sup>. Em Serrinha nos anos de 2003, 2004, 2005, 2006 a concentração do elemento ficou dentro do valor mínimo 0,003 mg. L<sup>-1</sup>, nos anos de 2007 e 2008 houve um pico crescente sendo a máxima registra em 2007 com 0,06 mg.L<sup>-1</sup>. Em 2010 houve uma queda do elemento e no ano seguinte uma elevada de concentração com máxima em 2011 de 0,01 mg. L<sup>-1</sup>, de 2012 a 2018 os valores ficaram abaixo de 0,03 mg. L<sup>-1</sup>.

A concentração do Vanádio em Caracará teve máxima de 0,004 mg.L<sup>-1</sup> no ano de 2007 em outubro, e mínima de 0,0002 mg.L<sup>-1</sup> em setembro de 2003. Em Serrinha teve máxima de 0,003 mg.L<sup>-1</sup> em agosto de 2017 e mínima de 0,00017 mg.L<sup>-1</sup> no ano de 2010 em setembro. Os gráficos (Anexo VI-C e VII-C) de concentração de vanádio expõem uma maior expressão de concentração ao longo dos anos na estação de Caracará do que em Serrinha. A estação de Caracará possui níveis de vanádio sem alterações abruptas de um ano para o outro, já em Serrinha nota-se que os maiores picos ocorreram entre 2013 a 2018. Esse elemento, na natureza pode ser encontrado em vários tipos de minerais (SOUSA, 2008). As características geoquímicas do vanádio são fortemente dependentes do seu estado de oxidação (+2, +3, +4 e +5) e da acidez do meio (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001), o que poderia justificar essa distinção dos níveis, e como exposto anteriormente na análise do pH, em Serrinha os níveis de acidez são maiores do que na estação Caracará.

O *Níquel* em Caracará apresentou um pico em sua concentração no ano de 2004 de 0,0014 mg.L<sup>-1</sup> e nos outros anos manteve uma constância próximo a faixa da média de concentrações abaixo de 0,001 mg.L<sup>-1</sup>. Em Serrinha a concentração do Níquel de 2003 a 2015 se mantiveram com valores inferiores a 0,0005 mg.L<sup>-1</sup>, com um pico no ano de 2016 em outubro de 0,0008 mg.L<sup>-1</sup> (Anexo VI-B e VII-B). Segundo Seyler et. al (2003), em seu trabalho descreveram Níquel como um elemento que apresenta pequenas variações com a vazão (SEYLER; PINELLI; BOAVENTURA, 2003). De acordos com estudos anteriores na região, há pouca evidência de perturbação antropogênica das concentrações de metais dissolvidos na Amazônia, e

essas diferenças entre estações podem ser devido a causas naturais. A concentração do elemento *Rubídio* apresenta valores sem fortes alterações de um ano para o outro em ambas estações evidenciando uma não dependência com a vazão, Caracaraí teve valores entre a faixa de 0,004 a 0,008 mg.L<sup>-1</sup> enquanto todos valores em Serrinha foram inferiores a 0,004 mg.L<sup>-1</sup>. Nos anos de 2016 e 2017 ambas as estações tiveram picos de concentração, sendo em julho de 2013 o pico máximo em Caracaraí com 0,007 mg.L<sup>-1</sup> e em março de 2017 Serrinha atingiu a máxima de 0,002 mg.L<sup>-1</sup> (Anexo VI-B e VII-B). E assim como o Níquel, o Rubídio é um elemento que apresenta pequenas variações com a vazão, o mesmo pode ser percebido por (SEYLER; PINELLI; BOAVENTURA, 2003).

Os valores de concentrações do *Cádmio* expuseram valores próximo de 0 em ambas as estações, sendo em Caracaraí valores máximos nos anos de 2007 e 2011 ficando dentro da máxima 0,00003 mg.L<sup>-1</sup>, e com valores mínimos nos anos de 2014, 2015, 2017 e 2018 com mínimas de 0,000001 mg.L<sup>-1</sup> (Anexo VI-A e VII-A). Em Serrinha no ano de 2011 em maio Cd teve pico máximo de 0,00006 mg.L e com valores mínimos entre os anos de 2010 a 2018 com valores próximo a 0. O *Chumbo* em Caracaraí e Serrinha tiveram valores inferiores a 0,002 mg.L<sup>-1</sup>. Com picos de concentração em Caracaraí nos anos entre 2016, 2017 e 2018 com valores >0,001 mg.L<sup>-1</sup> e em Serrinha no ano de 2007, 2016 e 2017 >0,0007 mg.L<sup>-1</sup> (Anexo VI-B e VII-B). Os valores de concentração de *Urânio* são maiores em Caracaraí do que em Serrinha. Sendo o pico máximo em Caracaraí no ano de 2007 em novembro e em Serrinha em julho de 2017, com contrações inferiores 0,001 mg.L<sup>-1</sup> em todos os anos, apresentando assim pequenas variações associados a descarga (Anexo VI-C e VII-C).

Os valores de *Cromo* em Caracaraí e Serrinha para todos os anos analisados foram inferiores a 0,001 mg.L<sup>-1</sup>. Ao longo da série, é possível observar que os valores de concentração são maiores mais uma vez em Caracaraí e apresentam um aspecto constante mantendo valores acima de 0,0002 mg.L<sup>-1</sup>, sendo 2017 o pico máximo com de 0,001 mg.L<sup>-1</sup>. Na estação de Serrinha é notório que, após o ano de 2005, as concentrações de Cromo descaíram consideravelmente até o ano de 2016, quando se tem um pico e logo no ano posterior decresce novamente, sendo apenas no ano

de 2016 a atingir um pico máximo de concentração de 0,0009 mg.L<sup>-1</sup> (Anexo VI-A e VII-A). Arsênio para ambas as estações teve concentração inferior a 0,0005 mg.L<sup>-1</sup>, sendo o pico máximo em Caracaraí no ano de 2011 em maio com 0,0003 mg.L<sup>-1</sup> e em Serrinha no ano de 2016 em setembro 0,0005 mg.L<sup>-1</sup> (Anexo VI-A e VII-A).

O elemento *Titânio* em Caracaraí teve concentrações inferiores a 0,02 mg.L<sup>-1</sup>, com pico máximo em julho de 2009 de 0,017 mg.L<sup>-1</sup>, na estação de Serrinha o Ti teve valores em todos os anos inferiores > 0,01 mg.L<sup>-1</sup>. Titânio apresentou comportamento similar a Urânio e Cromo (Anexo VI-C e VII-C). Nas estações de Caracaraí e Serrinha *Zircônio* apresentou concentrações inferiores a 0,0004 mg.L<sup>-1</sup>. Em Caracaraí, o elemento teve pico máximo em junho de 2006 de 0,0002 mg.L<sup>-1</sup>, e após o pico sua concentração decresceu gradativamente ano após ano. Em Serrinha o elemento concentração tem seu pico máximo em janeiro de 2006 com 0,0004 mg.L<sup>-1</sup>, e entre 2007 a 2017 o elemento se mantém abaixo do valor de 0,0002 mg.L<sup>-1</sup>. (Anexo VI-C e VII-C). O *Estanho* em Caracaraí e Serrinha teve valores de concentração inferior a 0,0002 mg.L<sup>-1</sup>. Apresentou em ambas as estações a partir do ano de 2005 uma queda de concentração gradativa em todos os anos, principalmente em Caracaraí, onde também se teve os menores valores de concentração deste elemento (Anexo VI-B e VII-B).

### 6.3.2 Média mensal da vazão associada a concentração do elemento traço

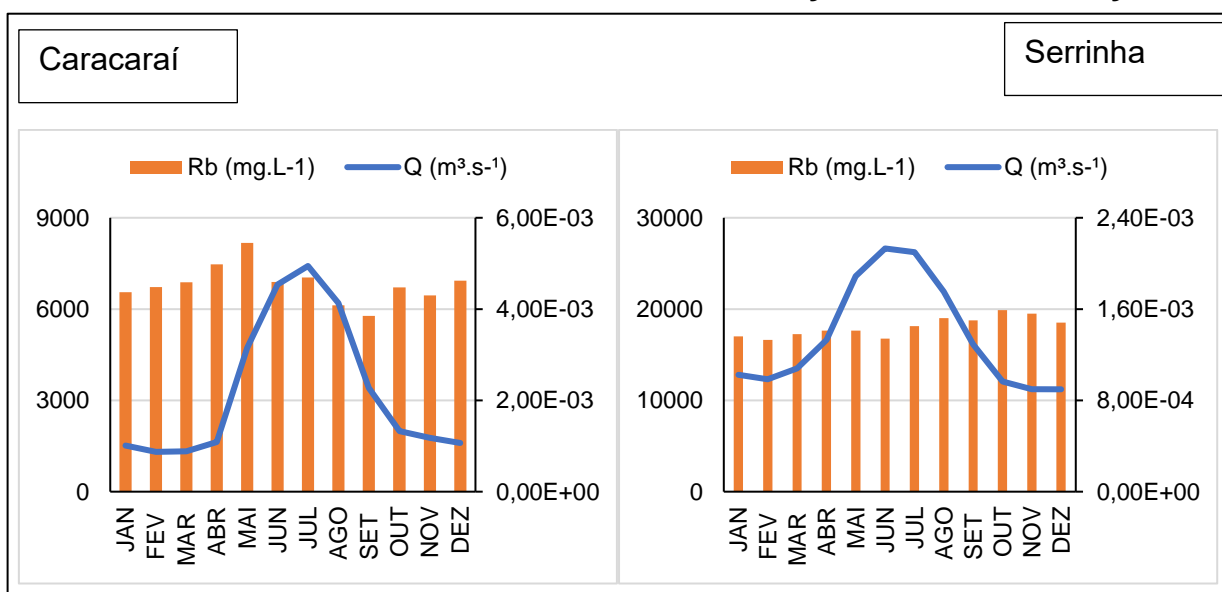


Figura 15: Gráfico da média mensal da concentração do Rubídio associado a vazão entre os anos de 2003 a 2018 das estações Serrinha e Caracaraí -Manaus/Amazonas

Para a análise mensal foi feito a média de todos os meses da vazão e do elemento traço em ambas as estações, dentro do período do estudo, que compreendeu os anos de 2003 a 2018. Nessa análise buscou identificar a relação que concentração do elemento poderia ter com sazonalidade do rio, bem como seu comportamento. E graficamente percebe-se que o comportamento e a concentração do elemento ao longo do ano são distintos de uma estação para outra. Elementos que tem seu pico máximo em Caracaraí na cheia do rio, em Serrinha podem ter no período de seca. Tal comportamento pode estar diretamente ligado a geoquímica do rio, bem como o transporte fluvial dessas partículas traço.

O gráfico acima (figura 15) expões os valores de médias mensais de concentração do elemento *Rubídio*, graficamente o nível de concentração é maior em Caracaraí do que em Serrinha, expondo um aumento crescente de janeiro a maio, com isso acompanhando o aumento da descarga, sendo o mês de maio o de pico máximo de Caracaraí com  $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$  e em setembro se tem a média mínima de  $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$ . Na estação de Serrinha a concentração de janeiro a maio apresentaram uma constância, e entre setembro a dezembro no período de seca, é onde acontece o pico de máxima com média de  $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$  em outubro. O *Rubídio* em Serrinha não apresentou fortes alterações em nível de valores, mas graficamente expõe valores maiores nos períodos de seca e menores na curva do período de cheia. Segundo Viers (2005), em seu estudo o autor aponta que o elemento (*Rb*) exibe um aumento na concentração com o aumento da descarga (VIERS et al., 2005), e essa afirmação se aplicaria segundo o que foi visto na estação de Caracaraí. Entretanto em Serrinha não se pode fazer a mesma afirmação.

A análise de médias mensais de concentração do *Vanádio* expôs particularidades entre uma estação e outra. Em Caracaraí, o pico de concentração máxima desse elemento se dá no mês de fevereiro  $0,0015 \text{ mg.L}^{-1}$ , e na transição do período de cheia para seca do rio é onde se tem o valor de concentração mínima  $0,0010 \text{ mg.L}^{-1}$ , a concentração no mês de outubro se eleva e logo se mantém dentro da média quase que de forma constante até atingir em fevereiro o pico máximo. Na estação de Serrinha os valores foram bem inferiores se comparados com Caracaraí, ficando os

valores para todos os meses abaixo de  $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ , no mês de setembro é quando se tem a máxima desse elemento em Serrinha com média de  $0,00089 \text{ mg.L}^{-1}$  e a mínima em novembro  $0,00046 \text{ mg.L}^{-1}$  (Anexo VIII-B e IX-B).

Segundo os trabalhos de Seyler et. al (2003) e Viers et al. (2005), o *Vanádio* é um elemento cujas suas concentrações diminuem com o aumento da vazão, sendo sua concentração máxima é no período de seca. A média mensal de Caracaraí apresentou concentrações maiores no período de seca do Rio Branco, e a diminuição no período de cheia, enquanto em Serrinha essas diferenças são minimamente notadas, pois graficamente, a concentração do *Vanádio* face ao regime hidrológico, praticamente se manteve constante e sem fortes alterações, e isso possivelmente tenha se dado pela vazão ser maior em Serrinha.

O *Cádmio* expôs que em ambas as estações não há similaridade entre si quanto ao comportamento desse elemento. Em Caracaraí o elemento tem um pico em maio ( $0,00001 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e outro em julho ( $0,00001 \text{ mg.L}^{-1}$ ), porém em junho o elemento tem uma queda brusca de concentração atingindo o mesmo nível de concentração do período de seca de  $0,000005 \text{ mg.L}^{-1}$ , a mínima ocorre no mês de janeiro  $0,000008 \text{ mg.L}^{-1}$ . Em Serrinha o *Cádmio* cresce seu nível concentração no início do período da cheia entre os meses de abril a junho, sendo junho o pico máximo  $0,00001 \text{ mg.L}^{-1}$ , e logo após do seu pico máximo sua concentração decresce em julho e agosto, sendo agosto e março os meses de concentração mínima  $0,000004 \text{ mg.L}^{-1}$  (Anexo VIII-A e IX-A).

De maneira geral em ambas as estações o *Cádmio* possui valores baixíssimos, entretanto, seu comportamento expõe que após o pico máximo o elemento decresce. Sendo assim, se tratando apenas da concentração do elemento e seu comportamento, é possível afirmar que o pico máximo ocorre no período do aumento da descarga, porém em meses distintos para cada estação. Com isso, o presente estudo ratifica parcialmente o estudo de Seyler e Boaventura (2003) no que se refere ao elemento (*Cd*), os autores expuseram o *Cádmio* como um elemento cujas concentrações aumentam com o aumento da vazão, mas que tem sua concentração máxima durante o estágio decrescente, um ou dois meses após o pico de descarga

(SEYLER; BOAVENTURA, 2003), neste estudo como exposto anteriormente de fato (*Cd*) aumenta com o aumento da descarga, todavia seu pico máximo não ocorre um ou dois meses após o pico da descarga.

O *Bário* apresentou maior pico de concentração no período de cheia, sendo em Caracará no mês de maio ( $0,036 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e em Serrinha no mês de junho ( $0,013 \text{ mg.L}^{-1}$ ). A concentração do *Bário* na estação de Caracará em todos os meses é superior a  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , e em Serrinha os valores são em todos os meses inferior  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , expondo maior concentração do elemento em Caracará independente do mês. Graficamente percebe-se que na transição de um período de descarga baixa, o elemento sofre um pico no período posterior, percebemos isso em ambas as estações. Na vazão de Caracará, temos um pico em maio onde ocorre aumento de vazão onde a concentração já está bem elevada em comparação ao mês de abril, e o mesmo ocorre em Serrinha na transição de maio para junho (Anexo VIII-A e IX-A).

Todavia, segundo estudos anteriores com o elemento (*Ba*), Seyler et. al. (2003) expuseram que as concentrações diminuem com o aumento da vazão (SEYLER; PINELLI; BOAVENTURA, 2003). E Viers et.al (2005) complementam posteriormente que (*Ba*) é um elemento que tem um pico de concentração que aparece durante a água de descarga mínima, mas não varia durante o resto do ano (VIERS et al., 2005). Mas como é possível ver no gráfico (Anexo VIII-A e IX-A) não se pode reafirmar o visto por esses autores, uma vez que nessa análise o elemento aumentou com a vazão e teve seu pico máximo no período de cheia.

O *Chumbo* durante o ciclo hidrológico apresentou em ambas estações picos no período de cheia, sendo em Caracará pico máximo no mês de julho ( $0,0003 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e em Serrinha no mês de junho ( $0,0002 \text{ mg.L}^{-1}$ ), e mínimas no período de seca ambas no mês de novembro com  $0,0001 \text{ mg.L}^{-1}$  (Anexo VIII-A e IX-A). Assim, as concentrações, para o Chumbo, durante todo o ciclo hidrológico são menores do que as avaliadas no Rio Negro por Sousa (2008), que durante o ciclo hidrológico no Rio Negro obteve concentração média de *Chumbo* variando de  $0,048 \text{ mg.L}^{-1}$  (enchente) a  $0,053 \text{ mg.L}^{-1}$  (cheia) (SOUSA, 2008). E também do que por Küchler, Miekeley e

Forsberg (2000), cujo valor apresentado para este mesmo rio foi 0,16 mg.L<sup>-1</sup> (KÜCHLER; MIEKELEY; FORSBURG, 2000).

As análises mensais de concentração do *Arsênio* associado a vazão expôs que, em ambas as estações durante o ciclo hidrológico o elemento tem valores mais significativos no período de seca do que no período de cheia, entretanto em Caracarái o *Arsênio* tem dois picos, um no mês de maio (0,0001 mg.L<sup>-1</sup>) e outro no mês de novembro (0,0001 mg.L<sup>-1</sup>), ou seja um pico no início da cheia e outro na seca, e sendo sua mínima em agosto (0,00007 mg.L<sup>-1</sup>). Em Serrinha o pico máximo ocorre em outubro (0,0001 mg.L<sup>-1</sup>) na seca e sua mínima em julho (0,00005 mg.L<sup>-1</sup>) na cheia (Anexo VIII-A e IX-A). A média mensal em Caracarái do *Níquel* apresentou um pico de 0,001 mg.L<sup>-1</sup> no mês de maio, e uma mínima no mês de janeiro de 0,0003 mg.L<sup>-1</sup>. Em Serrinha o comportamento do *Níquel* teve concentrações inferiores a 0,001 mg.L<sup>-1</sup> em todos meses, com pico em outubro de 0,0005 mg.L<sup>-1</sup>. Em Serrinha, o comportamento do *Níquel* apresentou um pico na transição de maio para junho com máxima 0,0005 mg.L<sup>-1</sup> e mínima em novembro com 0,0001 mg.L<sup>-1</sup> (Anexo VIII-A e IX-A).

Nota-se que em Serrinha, o elemento *Urânio* acompanha a sazonalidade do rio, e que entre os meses não sofre fortes alterações. Em Caracarái, o mesmo não pode ser notado, todavia, em ambas o pico máximo ocorre no período de cheia, sendo em Caracarái em maio com 0,00008 mg.L<sup>-1</sup> e Serrinha em junho com 0,00004 mg.L<sup>-1</sup>, e suas mínimas ocorrem na seca, sendo em Caracarái em outubro (0,00002 mg.L<sup>-1</sup>) e Serrinha em novembro (0,00003 mg.L<sup>-1</sup>) (Anexo VIII-B e IX-B). O mesmo comportamento pode ser observado por outros autores como em Seyler e Boaventura (2001) e Seyler et al. (2003), constatando o *Urânio* como um elementos que apresenta pequenas variações com a descarga e no qual o mesmo exibia um aumento de concentração com descarga crescente e Viers et al. (2005) reafirmam posteriormente que o máximo de concentração de *Urânio* ocorria ao mesmo tempo que o pico de descarga de água (SEYLER; BOAVENTURA, 2001), (SEYLER; PINELLI; BOAVENTURA, 2003), (VIERS et al., 2005).

O *Cromo* em Caracarái e Serrinha para todos os meses foi inferior 0,001 mg.L<sup>-1</sup>. Sendo pico máximo no mês de maio (0,0006 mg.L<sup>-1</sup>) em Caracarái e em junho

(0,0002 mg.L<sup>-1</sup>) na estação de Serrinha, é interessante observar que esse elemento tem um retardo de dois meses antes do pico de concentração e decresce a concentração de maneira gradual mês a mês. Como o pico máximo em Caracarái foi em maio, nos meses de março e abril o elemento se encontra próximo da faixa do mínimo de concentração (0,0003 mg.L<sup>-1</sup>) e o mesmo ocorre em Serrinha, como Serrinha apresentou pico em junho os dois meses que antecediam o pico abril (0,0001 mg.L<sup>-1</sup>) e maio (0,0002 mg.L<sup>-1</sup>) se encontravam próximo a faixa do mínimo (Anexo VIII-B e IX-B).

*Titânio* apresentou comportamento similar ao de *Cromo* para as médias mensais associados a vazão da estação de Caracarái, onde o elemento tem aumento de concentração no período de transição de seca para cheia com pico máximo em maio (0,003 mg.L<sup>-1</sup>) na cheia, e após esse pico o elemento decresce de concentração gradativamente. Em Serrinha o elemento *Titânio* tem dois picos de concentração sendo um em junho na cheia e outro em dezembro na seca de 0,002 mg.L<sup>-1</sup> (Anexo VIII-A e IX-A). As médias mensais de concentração de *Zircônio* nas estações Caracarái e Serrinha foram inferiores a 0,0002 mg.L<sup>-1</sup> em todos os meses. Caracarái teve pico de concentração no mês de maio e Serrinha no mês de janeiro ambas de 0,00015 mg.L<sup>-1</sup>. A média mínima em Caracarái foi em abril com 0,00005 mg.L<sup>-1</sup> e em Serrinha no mês de setembro com 0,0001 mg.L<sup>-1</sup> (Anexo VIII-B e IX-B). Caracarái teve maiores picos de concentração no período de cheia e queda de concentração no período da seca. Serrinha apresentou em valores apresentou pouca variação em suas concentrações.

Por fim, o comportamento distinto do *Estanho* em ambas as estações, sendo o pico máximo em Serrinha no mês de junho (0,00008 mg.L<sup>-1</sup>) período de cheia e mínima em abril (0,00002 mg.L<sup>-1</sup>) enquanto em Caracarái o pico máximo ocorre em janeiro de 0,0001 mg.L<sup>-1</sup> na seca, sendo sua mínima de em agosto (0,00001 mg.L<sup>-1</sup>). De maneira geral *Estanho* ao longo do ciclo hidrológico, em Caracarái e Serrinha apresentou as concentrações mais significativas no período de seca, porém em Serrinha o maior pico como mencionado anteriormente é em junho na cheia (Anexo VIII-B e IX-B).



## 6.4 Análise de correlação

Estudar a correlação entre variáveis é importante para se compreender melhor os dados em questão. E para o presente estudo, buscou-se uma análise de correlação simplificada e que atendesse bem as respostas para as variáveis quantitativas, e com isso, utilizou-se o método de análise de correlação de Pearson, aos invés de outros métodos como a correlação de Kendall (tau-b) que é preferível para análises categóricas (FILHO; JÚNIOR, 2009).

### 6.4.1 Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) é uma medida de associação linear entre variáveis. O coeficiente de correlação Pearson ( $r$ ) varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. (FILHO; JÚNIOR, 2009).

A correlação entre as variáveis vazão e concentração mensal, foram positivas em Caracaraí e Serrinha para alguns elementos ( $r > 0,5$ ). Na estação de Caracaraí os elementos *Bário* e *Cromo* apresentaram correlação considerada positiva com ( $0,5 \leq r < 1$ ), destaque para *Ba* (0,7) que teve o maior coeficiente sendo assim considerado forte positivo. Os elementos *Ni*, *Pb*, e *Zr* tiveram correlação considerada fraca positiva, *V*, *Rb*, *Cd*, *U*, *Ti* tiveram correlação entre nula a desprezível. O *As* e *Sn* apresentaram correlação negativa entre desprezível a fraca (tabela 7 e figura 16). Em Serrinha, o *Urânio* teve o maior coeficiente com  $r=0,61$ , apresentando correlação moderada positiva com ( $0,5 < r < 1$ ). Os elementos *Cádmio* (0,46) e *Bário* (0,40) apresentaram correlação fraca positiva ( $0,5 \leq r < 0,8$ ), os demais elementos tiveram correlação entre fraca a desprezível (tabela 7 e figura 16).

Tabela 7: Análise de correlação de Pearson dos elementos-traço das estações de Caracaraí e Serrinha

CORRELAÇÃO DE PEARSON ( $r$ )												
EST	V	Ni	Rb	Cd	Ba	Pb	U	Cr	As	Ti	Zr	Sn
CAR	0,01	0,45	0,06	0,31	0,7	0,48	0,33	0,6	-0,26	0,28	0,41	-0,51
SER	0,05	-0,24	-0,23	0,46	0,4	0,11	0,61	-0,09	-0,2	-0,043	0,26	0,1

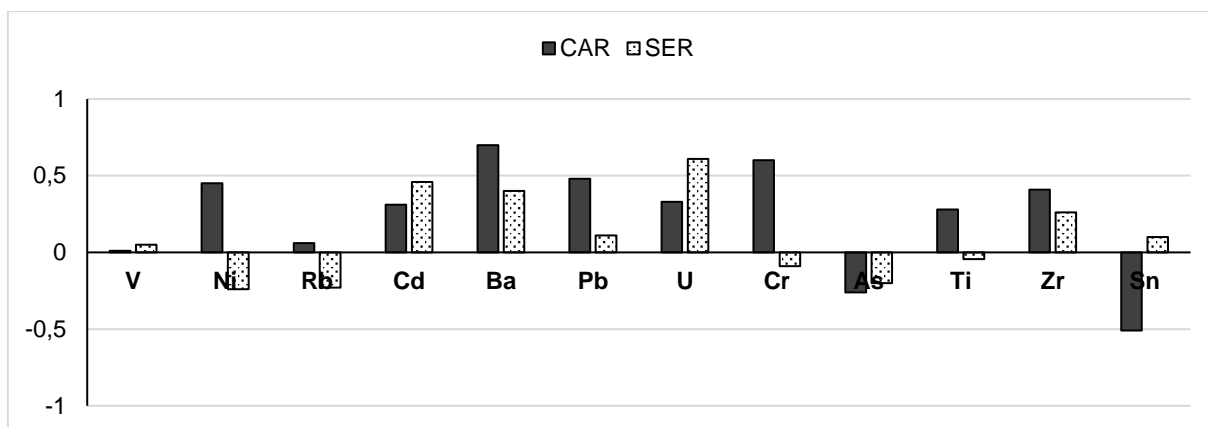


Figura 16: Gráfico da análise de correlação de Pearson dos elementos-traço das estações de Caracará e Serrinha

#### 6.4.2 Correlação Linear

A correlação linear pode mensurar a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas (MOORE, 2007). O modelo linear supõe que o aumento ou decremento de uma unidade na variável X gera o mesmo impacto em Y (FILHO; JÚNIOR, 2009). Em vista disso, a análise de correlação pode mensurar pelo coeficiente de Pearson essa correlação entre a vazão e a concentração mensal do elemento traço em Caracará e Serrinha.

A sazonalidade hidrológica da bacia do Rio Negro associada a concentração mensal de todos os anos dos elementos, evidenciou padrões distintos em alguns elementos nos resultados desta análise. Na estação de Caracará os elementos *Ba*, *Cd*, *Cr*, *Zr*, *Ni* e *Pb* apresentaram correlação fraca positiva e reta de linearidade crescente, os elementos *Rb*, *V*, *U*, *Ti* tiveram correlação nula, e *As* e *Sn* correlação negativa do ponto gráfico (Anexo X-A e B). Em Serrinha, a correlação linear para as concentrações mensais apresentou relação positiva para *Ba*, *Cd* e *U*, e para *Cr*, *Pb*, *Rb*, *Zr*, *V* e *Sn* apresentou correlação considerada nula, e *As*, *Ti* e *Ni* apresentaram linearidade considerada negativa (Anexo XI-A e B). E ao se comparar a mesma análise de correlação em estações diferentes, vemos graficamente (figura 17) que o elemento em questão *Ba* tem maior correlação significância em Caracará do que em Serrinha, que graficamente expõe uma linearidade positiva a nula.

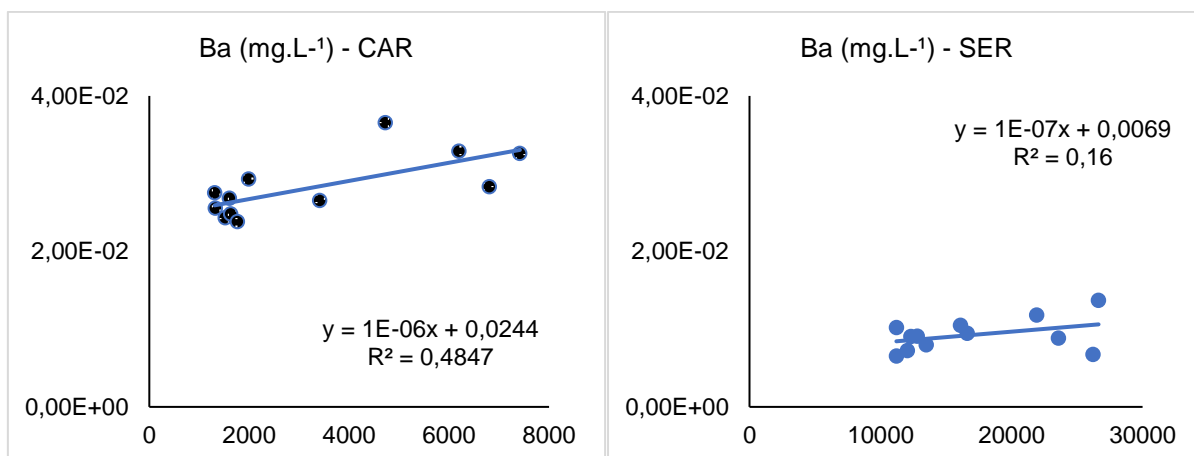


Figura 17: Gráfico da análise de correlação de Linear do elemento-traço Bário das estações de Caracará e Serrinha

Em suma, a vazão tem baixa correlação com a concentração desses elementos, ainda que a sazonalidade influencie como vimos anteriormente no comportamento de alguns elementos. Alguns elementos mostraram mais correlação com vazão em Caracará do que em Serrinha, que foi o caso inclusive do *Bário* e *Cromo*, essa diferença de comportamento pode estar diretamente ligada a geologia das regiões associada ao nível de descarga de ambas, uma vez que em Serrinha o nível de descarga é bem superior em números do que em Caracará.

## 6.5 Fluxo de elementos-traço

O fluxo dos elementos-traços V, Ni, Rb, Cd, Ba, Pb, U, Cr, As, Ti, Zr, Sn para Serrinha e Caracará, ambos os estudos são comensuráveis. Há diferenças de comportamento e mudança na concentração dos elementos entre uma estação e outra, além de seu comportamento natural, fatores como a sazonalidade hidrológica da bacia do Rio Negro, geologia e geoquímica, podem influenciar essas variações ao longo da série. Estudos como (ELBAZ-POULICHET et al., 1999; LEENHEER; SANTOS, 1980; MORA et al., 2017; SEYLER; BOAVENTURA, 2003; SEYLER; PINELLI; BOAVENTURA, 2003; VIERS et al., 2005) faz considerações importantes em relação ao processo de fluxo geoquímico, elementos-traço na forma dissolvida, e de sedimentos na região Amazônica.

A análise da presença de elementos-traço por meio do estudo de seus fluxos na bacia do Rio Negro é importante para observação do quantitativo transportado ao

ano. O fluxo de elementos-traço foi calculado por meio da utilização da equação proposta por Filizola e Guyot (2009),  $QS_{(\text{ton.dia}^{-1})} = Q \times [\text{MES}] \times c$ , onde:  $Q_s$  pode ser entendido como fluxo da matéria dissolvida/suspensa ( $\text{ton.dia}^{-1}$ );  $Q$ , a descarga líquida ou vazão;  $[\text{MES}]$ , a concentração da matéria dissolvida ou suspensa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), que no presente estudo é a concentração do elemento-traço;  $c$ , a constante (0,0864) para obtenção dos resultados em  $\text{ton.dia}^{-1}$  (FILIZOLA; GUYOT, 2009).

A sazonalidade do ciclo hidrológico na análise do fluxo foi expressiva para alguns elementos em Caracará e Serrinha, que tiveram maior evidência em um comportamento de acompanhamento do fluxo dos elementos com a vazão. Os elementos *Rubídio*, *Urânio* e *Zircônio* apresentaram padrão de comportamento similar quanto ao fluxo mensal e ambos os elementos acompanham a sazonalidade do Rio Branco e Negro nas estações (figuras 18 e 19). O fluxo diminui no período de seca e cresce de forma contínua no período de cheia, com pico máximo de concentração nos meses de junho de julho. Em Caracará em julho o *Rubídio* teve pico máximo de 3,01  $\text{ton.dia}^{-1}$ , Urânio 0,03  $\text{ton.ano}^{-1}$  e em junho *Zircônio* 0,07  $\text{ton.dia}^{-1}$  (Anexo XII-A, B). Em Serrinha em julho o *Rubídio* teve pico máximo de 3,08  $\text{ton.dia}^{-1}$  e em junho *Urânio* com 0,10  $\text{ton.dia}^{-1}$  e *Zircônio* 0,33  $\text{ton.dia}^{-1}$  (Anexo XII-A, B).

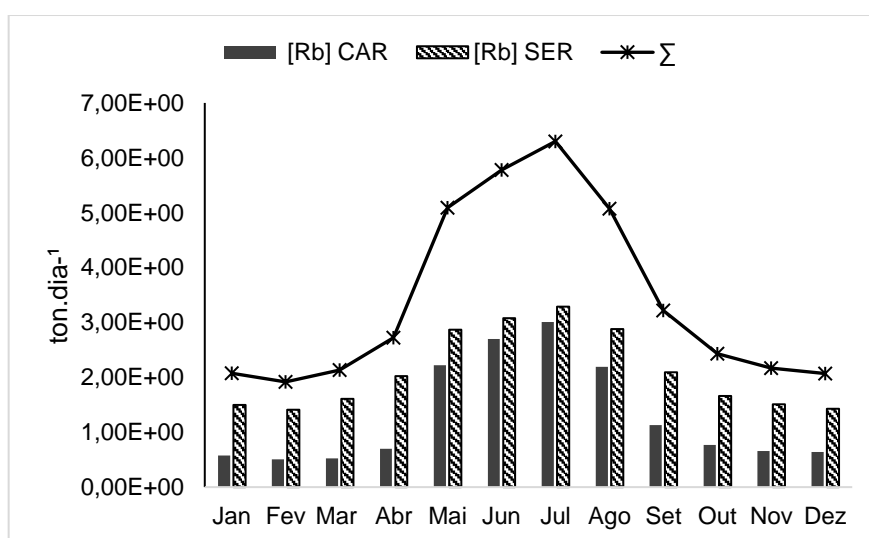


Figura 18: Gráfico do fluxo do elemento-traço Rubídio das estações de Caracará e Serrinha

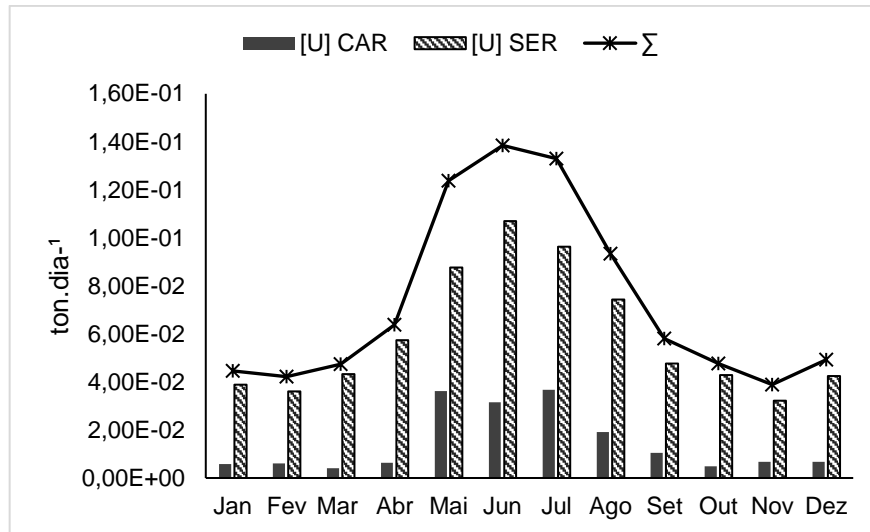


Figura 19: Gráfico do fluxo do elemento-traço Urânio das estações de Caracará e Serrinha

*Arsênio, Bário e Vanádio* em ambas as estações apresentaram dois picos, em Serrinha o primeiro pico máximo no mês de junho no período de cheia sendo, *As* (0,20 ton.dia<sup>-1</sup>), *Ba* (31,5 ton.dia<sup>-1</sup>), *V* (1,73 ton.dia<sup>-1</sup>) e o segundo pico no início da seca em agosto. E em Caracará os picos foram em meses distintos, todavia o primeiro pico foi no período de cheia sendo a máxima de, *As* (0,05 ton.dia<sup>-1</sup>) em maio, *Ba* (20,9 ton.dia<sup>-1</sup>) em julho, *V* (0,86 ton.dia<sup>-1</sup>), o *Vanádio* em Caracará não apresentou o segundo pico na seca, mas na cheia (Anexo XII-A, C).

O fluxo de *Chumbo, Titânio e Cromo* apresentaram um fluxo com máximas na cheia crescente entre maio e junho, sendo em Caracará *Pb* (0,25 ton.dia<sup>-1</sup>) no mês de julho, *Ti* (1,69 ton.dia<sup>-1</sup>) e *Cr* (0,34 ton.dia<sup>-1</sup>) no mês de junho, e em Serrinha *Pb* (0,654 ton.dia<sup>-1</sup>), *Ti* (5,62 ton.dia<sup>-1</sup>) e *Cr* (0,68 ton.dia<sup>-1</sup>) no mês de junho (Anexo XII-A, B, C). O *Cádmio, Estanho, Níquel* apresentaram um fluxo com máximas na cheia crescente entre maio e junho, sendo em Caracará *Cd* (0,03 ton.dia<sup>-1</sup>), *Sn* (0,02 ton.dia<sup>-1</sup>) no mês de junho e *Ni* (0,37 ton.dia<sup>-1</sup>) no mês de julho, e em Serrinha *Cd* (0,009 ton.dia<sup>-1</sup>) no mês de julho, *Sn* (0,2 ton.dia<sup>-1</sup>) e *Ni* (0,48 ton.dia<sup>-1</sup>) no mês de junho (Anexo XII-A, B, C).

## 6.6 Balanço de massa

Os resultados obtidos das médias anuais, quanto à distribuição da vazão e do fluxo dos elementos (*V, Ni, Rb, Cd, Ba, Pb, U, Cr, As, Ti, Zr, Sn*) para as estações principais Caracaraí e Serrinha permitiram calcular uma estimativa de balanço de massa. Todavia, para o cálculo do balanço seguindo a equação proposta em Filizola e Guyot (2011),  $QS_a + QS_b + \dots + QS_n - QS_x = \Sigma$ , é necessário um ponto a jusante das duas estações Serrinha e Caracaraí, sendo que, dentro da plataforma do ORE-Hybam não havia disponibilidade de dados de vazão e nem de concentração dos elementos para a estação de Paricatuba no período da série temporal, que compreende entre 2003 a 2018. Com isso, para o cálculo dessa estimativa de balanço foi utilizado os dados de concentrações dos anos disponíveis dentro do ORE-Hybam e se adotou o valor de vazão de 32.780 ( $m^3 s^{-1}$ ) dos resultados de Marinho et. al. (2019). Os valores alcançados viabilizaram maior compreensão da série temporal do fluxo e suas proporções nas estações (tabela 8), e cálculo do balanço prosseguiu  $QS_{(Caracaraí)} + QS_{(Serrinha)} - QS_{(Paricatuba)} = \Sigma$ , a fim desse ter uma estimativa e um panorama de como os elementos-traço podem estar fluindo dentro da bacia do Rio Negro.

Como visto anteriormente nas análises de concentração dos elementos-traço associado a vazão, o estudo expôs que em Caracaraí alguns elementos ficaram bem definidos e aparentes quanto a sua sazonalidade, alguns tiveram valores de concentração superiores a estação de Serrinha, mas por outro lado, nos resultados obtidos com o fluxo ( $Q_s$ ) de elementos-traço, é evidente a superioridade de aporte dos elementos em Serrinha (tabela 8 e figura 20). Sobretudo, é importante lembrar que a vazão média entre o período da série (2003-2018) em Serrinha ( $17.019,24 m^3 \cdot s^{-1}$ ) é superior a vazão média de Caracaraí ( $3.306,88 m^3 \cdot s^{-1}$ ), fazendo com que graficamente pareça que as concentrações associadas a vazão sejam inferiores em Serrinha, sendo que por meio dos gráficos e tabelas do fluxo ( $Q_s$ ) nos expôs que as concentrações são altas na estação de Serrinha (Anexo XII-A,B,C), mas que por decorrência do volume da vazão alguns elementos apresentam uma concentração considerada insignificante em números diante da magnitude do Rio Negro.

Tabela 8: Tabela do fluxo de concentração dos Elementos traços em tonelada por ano de três estações, Paricatuba, Caracará e Serrinha.

Qs_[Et] (ton.ano <sup>-1</sup> ) - Paricatuba													
ANO	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) * Marinho et. al. (2019)	Qs [As] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Ba] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Cd] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Cr] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Ni] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Pb] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Rb] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Sn] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Ti] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [U] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [V] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Zr] (ton.ano <sup>-1</sup> )
1996	32780,00	*	6,02E+03	3,10E+01	*	1,45E+02	5,17E+01	1,02E+03	*	*	2,07E+01	3,41E+02	*
1997	32780,00	*	8,65E+03	2,17E+02	9,82E+02	1,19E+03	3,10E+02	1,56E+03	*	*	2,59E+01	4,65E+02	*
1999	32780,00	*	6,87E+03	*	9,18E+03	2,17E+02	1,45E+02	1,11E+03	*	*	5,17E+01	2,89E+02	*
2000	32780,00	5,17E+01	9,32E+03	7,24E+01	3,93E+02	2,27E+02	1,34E+02	1,64E+03	*	*	4,14E+01	3,62E+02	*
Qs_[Et] (ton.ano <sup>-1</sup> ) - Caracará													
ANO	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Qs [As] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Ba] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Cd] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Cr] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Ni] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Pb] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Rb] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Sn] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Ti] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [U] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [V] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Zr] (ton.ano <sup>-1</sup> )
2003	2165,70	1,02E+01	1,05E+03	3,89E-01	3,14E+01	2,29E+01	1,23E+01	2,40E+02	3,12E+00	1,58E+02	2,56E+00	6,39E+01	7,06E+00
2004	2885,05	1,36E+01	1,84E+03	*	5,63E+01	5,71E+01	1,41E+01	4,08E+02	1,00E+01	1,10E+02	4,25E+00	9,41E+01	1,22E+01
2005	3401,42	9,65E+00	2,06E+03	1,39E+00	6,20E+01	6,08E+01	2,00E+01	4,96E+02	1,24E+01	3,15E+02	5,45E+00	1,27E+02	1,53E+01
2006	4485,42	1,13E+01	4,45E+03	1,38E+00	7,64E+01	7,59E+01	2,89E+01	5,98E+02	4,26E+00	5,71E+02	4,95E+00	1,72E+02	2,00E+01
2007	3893,96	1,11E+01	3,97E+03	2,91E+00	4,14E+01	6,52E+01	2,13E+01	6,10E+02	2,87E+00	2,42E+02	7,37E+00	1,67E+02	1,32E+01
2008	4215,33	9,31E+00	4,10E+03	1,97E+00	4,35E+01	4,43E+01	2,51E+01	5,53E+02	2,53E+00	2,39E+02	5,87E+00	1,28E+02	9,86E+00
2009	2511,20	4,75E+00	2,19E+03	*	2,38E+01	2,78E+01	1,12E+01	3,58E+02	1,20E+00	2,64E+02	3,04E+00	1,49E+02	7,06E+00
2010	4199,43	1,46E+01	3,95E+03	*	4,92E+01	7,43E+01	2,65E+01	6,54E+02	2,69E+00	4,73E+02	6,95E+00	1,73E+02	1,31E+01
2011	4614,67	1,89E+01	4,36E+03	3,26E+00	8,72E+01	7,84E+01	3,98E+01	6,92E+02	4,09E+00	6,96E+02	9,02E+00	2,68E+02	1,41E+01
2012	3311,75	5,22E+00	2,80E+03	1,14E+00	3,19E+01	3,59E+01	1,72E+01	4,31E+02	2,69E+00	3,30E+02	4,44E+00	1,30E+02	9,09E+00
2013	3287,88	7,26E+00	3,57E+03	1,56E+00	3,53E+01	3,86E+01	1,43E+01	4,40E+02	*	1,52E+02	4,54E+00	1,52E+02	5,48E+00
2014	1839,03	5,22E+00	1,12E+03	2,70E-01	1,77E+01	1,89E+01	1,07E+01	2,41E+02	6,50E-01	1,08E+02	3,06E+00	6,16E+01	3,16E+00
2015	1540,60	2,43E+00	2,01E+03	2,39E-01	1,28E+01	1,67E+01	4,76E+00	2,09E+02	9,23E-01	4,33E+01	2,19E+00	5,19E+01	1,70E+00
2016	2300,69	1,23E+01	2,60E+03	9,72E-01	4,68E+01	4,90E+01	3,54E+01	4,06E+02	7,69E-01	2,24E+02	4,51E+00	1,29E+02	3,87E+00
2017	3477,77	9,87E+00	2,94E+03	7,71E-01	4,86E+01	6,73E+01	3,66E+01	5,61E+02	3,99E-01	1,33E+02	5,85E+00	1,44E+02	4,75E+00
2018	3833,35	1,09E+01	3,47E+03	3,16E-01	6,55E+01	6,54E+01	1,13E+02	5,25E+02	*	1,97E+02	4,11E+00	1,50E+02	1,13E+01

Qs [Et] (ton.ano <sup>-1</sup> ) - Serrinha													
ANO	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Qs [As] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Ba] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Cd] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Cr] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Ni] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Pb] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Rb] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Sn] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Ti] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [U] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [V] (ton.ano <sup>-1</sup> )	Qs [Zr] (ton.ano <sup>-1</sup> )
2003	16477,42	6,65E+01	1,58E+03	4,12E+00	1,96E+02	1,05E+02	9,82E+01	6,76E+02	3,98E+01	1,10E+03	1,75E+01	1,88E+02	5,98E+01
2004	15406,50	6,12E+01	1,54E+03	3,98E+00	2,22E+02	9,52E+01	7,19E+01	6,46E+02	5,88E+01	9,18E+02	1,68E+01	2,17E+02	6,80E+01
2005	15843,75	3,89E+01	1,89E+03	5,40E+00	2,14E+02	7,59E+01	7,64E+01	7,05E+02	5,55E+01	7,69E+02	1,83E+01	2,15E+02	1,39E+02
2006	19582,50	2,39E+01	2,03E+03	3,61E+00	1,02E+02	5,53E+01	8,95E+01	8,46E+02	4,03E+01	1,29E+03	1,54E+01	1,96E+02	1,17E+02
2007	16908,08	2,83E+01	8,48E+03	5,92E+00	8,26E+01	5,49E+01	1,36E+02	6,93E+02	1,55E+01	9,33E+02	1,74E+01	2,19E+02	6,03E+01
2008	17411,67	2,65E+01	1,32E+04	7,85E+00	9,66E+01	5,88E+01	1,20E+02	7,25E+02	8,68E+00	2,30E+03	2,36E+01	2,34E+02	8,40E+01
2009	16867,00	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2010	14933,58	3,09E+01	3,10E+03	2,85E+00	7,72E+01	6,97E+01	9,65E+01	8,48E+02	2,68E+01	1,32E+03	1,84E+01	1,89E+02	5,60E+01
2011	16410,83	4,21E+01	4,24E+03	5,90E+00	9,16E+01	1,10E+02	1,04E+02	7,25E+02	5,74E+00	1,36E+03	2,58E+01	3,06E+02	6,26E+01
2012	18950,00	2,21E+01	3,72E+03	2,57E+00	7,71E+01	6,75E+01	9,08E+01	9,08E+02	3,50E+01	1,18E+03	2,12E+01	3,04E+02	5,49E+01
2013	18136,67	4,11E+01	4,42E+03	7,66E+00	2,23E+02	1,30E+02	1,28E+02	5,95E+02	1,13E+01	1,14E+03	2,44E+01	8,46E+02	8,24E+01
2014	17995,83	6,47E+01	2,56E+03	2,76E+00	1,10E+02	9,59E+01	1,21E+02	6,13E+02		5,90E+02	1,71E+01	2,17E+02	3,68E+01
2015	15388,00	1,71E+01	3,39E+03	2,40E+00	6,45E+01	1,03E+02	7,33E+01	6,11E+02	5,34E+00	3,71E+02	1,64E+01	2,12E+02	3,72E+01
2016	16179,08	8,78E+01	7,81E+03	4,86E+00	1,61E+02	1,86E+02	1,65E+02	8,16E+02	3,14E+00	8,52E+02	2,31E+01	5,15E+02	4,79E+01
2017	16803,90	6,41E+01	6,31E+03	6,36E+00	1,38E+02	1,56E+02	1,97E+02	9,38E+02	1,32E+01	1,18E+03	3,05E+01	1,09E+03	4,94E+01
2018	18465,00	*	5,22E+03	2,39E+00	9,61E+01	1,25E+02	*	9,55E+02	1,81E+01	6,75E+02	1,92E+01	4,24E+02	*

Legenda:

**Q** = vazão média anual;

**Qs**(ton.dia<sup>-1</sup>) = Q × [Elemento traço] × c;

\* = sem dados disponíveis;



O resultado da somatória dos fluxos evidenciou maior aporte na estação de Serrinha. O elemento *Bário* teve a maior concentração da série com 69.490 (ton.ano<sup>-1</sup>), *Titânio* foi a segunda maior concentração com 15.978 (ton.ano<sup>-1</sup>), seguido de *Rubídio* (11.300 ton.ano<sup>-1</sup>) e *Vanádio* (5.372 ton.ano<sup>-1</sup>). Nesse sentido os elementos *Cromo*, *Chumbo*, *Níquel* e *Zircônio* tiveram contribuições significativas, sendo *Cr* (1.951 ton.ano<sup>-1</sup>), *Pb* (1.567,60 ton.ano<sup>-1</sup>), *Ni* (1.488,20 ton.ano<sup>-1</sup>), *Zr* (955,30 ton.ano<sup>-1</sup>). Já os elementos *Arsênio* (615 ton.ano<sup>-1</sup>), *Estanho* (337,20 ton.ano<sup>-1</sup>), *Urânio* (305,10 ton.ano<sup>-1</sup>) apresentaram valores menores se comparados aos outros elementos. E o *Cádmio* dentre todos foi o elemento com menor concentração, sendo de 68,63 (ton.ano<sup>-1</sup>).

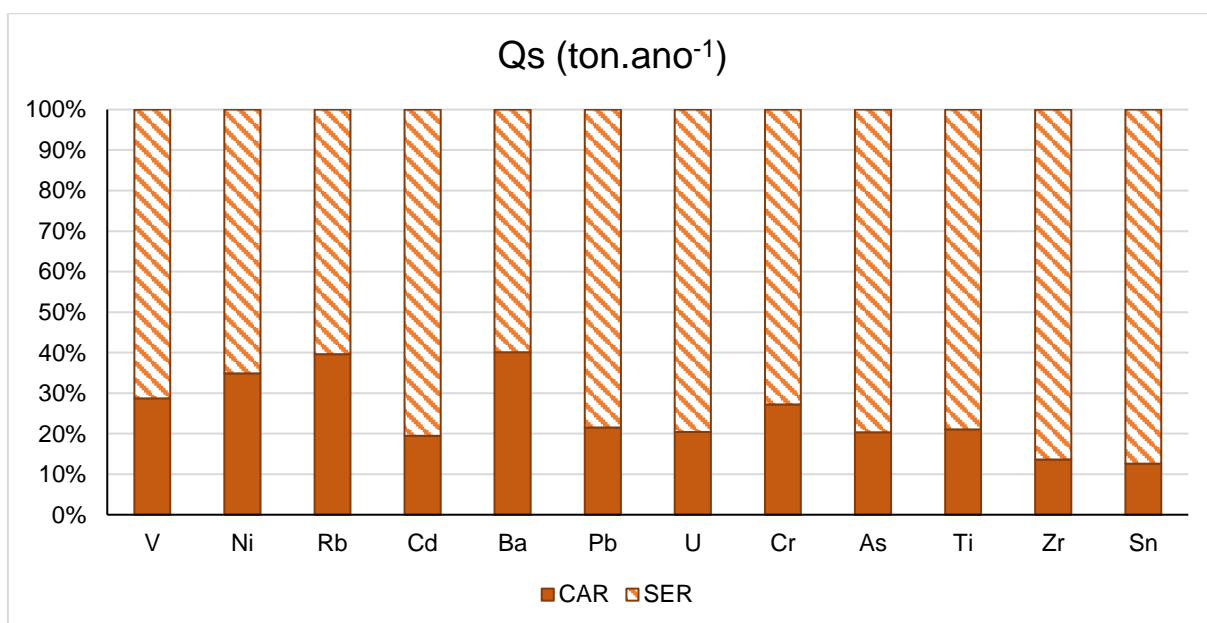
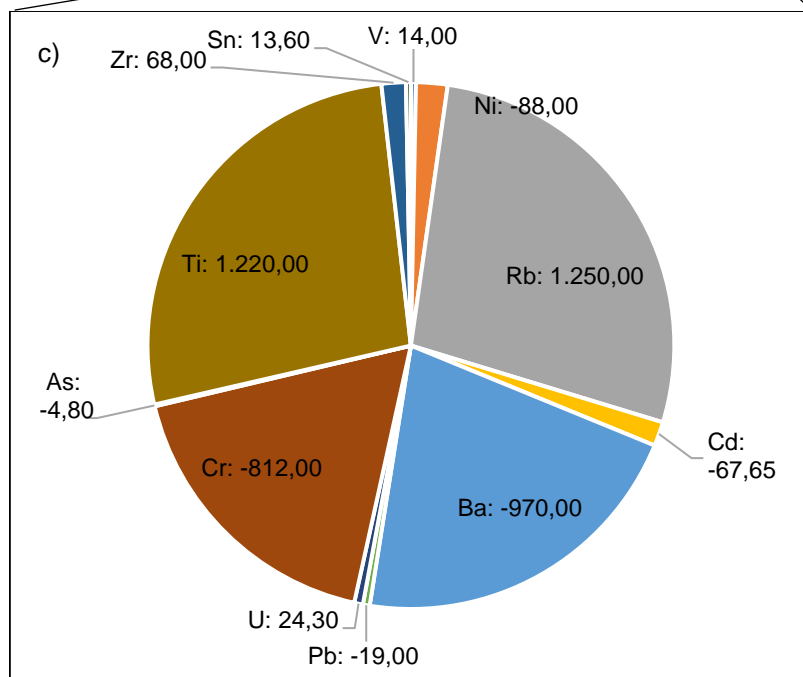
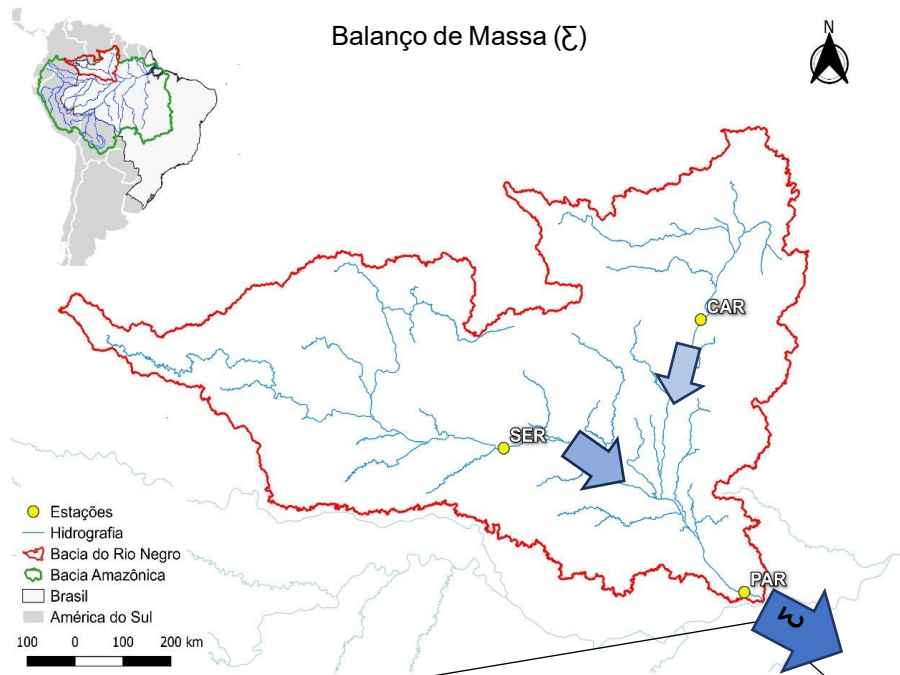
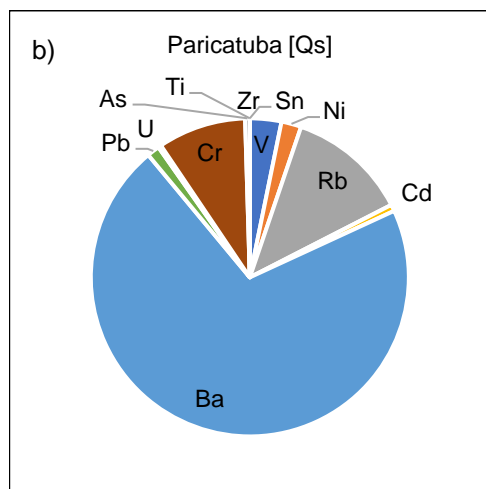
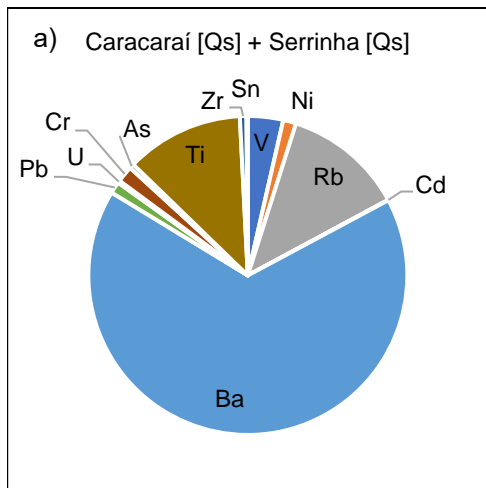


Figura 20: Gráfico em porcentagem do fluxo dos elementos-traço das estações de Caracará e Serrinha no período de 2003 a 2018.

O somatório em Caracará assim como em Serrinha exibiu o elemento *Bário* sendo o elemento de maior concentração, com 46.484 (ton.ano<sup>-1</sup>). Contudo, o *Rubídio* foi o segundo elemento de maior concentração com 7.422 (ton.ano<sup>-1</sup>), seguido de *Titânio* (4.255,30 ton.ano<sup>-1</sup>) e *Vanádio* (2.160,50 ton.ano<sup>-1</sup>). Os elementos *Cromo*, *Chumbo* e *Níquel* tiveram contribuições significativas, sendo em Caracará seus valores para *Ni* (798,50 ton.ano<sup>-1</sup>), *Cr* (729,80 ton.ano<sup>-1</sup>) e *Pb* (431,16 ton.ano<sup>-1</sup>). Em contrapartida, além do *Cádmio* (16,57 ton.ano<sup>-1</sup>), os elementos *Estanho* (48,5 ton.ano<sup>-1</sup>), *Urânio* (82,1 ton.ano<sup>-1</sup>), *Zircônio* (169 ton.ano<sup>-1</sup>) e *Arsênio* (175 ton.ano<sup>-1</sup>) tiveram valores inferiores comparados aos outros elementos.



Balanço de Massa (ton.ano <sup>-1</sup> )												
EST	V	Ni	Rb	Cd	Ba	Pb	U	Cr	As	Ti	Zr	Sn
CAR+SER	365,00	134,00	1250,00	4,75	6790,00	121,00	24,30	170,00	46,90	1220,00	68,00	13,60
PAR	351,00	222,00	1340,00	72,40	7760,00	140,00	33,70	982,00	51,70	*	*	*
$\xi$	14,00	-88,00	1250,00	-67,65	-970,00	-19,00	24,30	-812,00	-4,80	1220,00	68,00	13,60

Figura 21: Mapa gráfico da estimativa de balanço de massa dos elementos-traço (V, Ni, Rb, Cd, Ba, Pb, U, Cr, As, Ti, Zr, Sn) da bacia do Rio Negro.

Com isso, o cálculo do balanço de massa  $QS_{(Caracará)} + QS_{(Serrinha)} - QS_{(Paricatuba)} = \xi$ , entre as estações amostrais fornece informações a respeito do comportamento desses elementos em ambientes aquáticos (figura 21). Assim, se ' $\xi$ ' é um valor positivo ou negativo de acordo com o produto encontrado no trecho considerado entre os pontos Serrinha e Caracará e Paricatuba (a área de contribuição hidrológica). Desse modo, será positivo quando houver produção, e para deposição no trecho, será negativo. Destacou-se quatro elementos, sendo eles *Bário* com  $\xi = -970$  (ton.ano<sup>-1</sup>) e *Cromo* com  $\xi = -812$  (ton.ano<sup>-1</sup>), indicando uma deposição no trecho, o *Rubídio* com  $\xi = +1.250$  (ton.ano<sup>-1</sup>) e *Titânio* com  $\xi = +1.220$  (ton.ano<sup>-1</sup>), indicando uma produção no trecho. Os balanços dos elementos *V*, *U*, *Zr* e *Sn*, foram positivos indicando produção no trecho, já os elementos *Ni*, *Cd*, *Pb* e *As* tiveram resultados negativos, indicando uma deposição no trecho (figura 21).

Do fluxo a estimativa de balanço nota-se que embora a química das águas tenha influência da sazonalidade, outro fator que pode corroborar o fluxo desses elementos-traço é a litologia. Seyler et. al. (2003) em seus resultados abordam que o ciclo de deposição, bem como a taxa de troca entre planície de inundação e o canal principal podem controlar, pelo menos parcialmente a variação temporal das concentrações de alguns elementos, e que alguns elementos tem uma solubilidade muito limitada, e isso implica diretamente em seu comportamento. O Rubídio é tido como um elemento muito solúvel (SEYLER; PINELLI; BOAVENTURA, 2003), isso explicaria o padrão sazonal bem definido no gráfico do fluxo (Anexo XII-B).

Em suma, variabilidade temporal dos fluxos dos elementos-traço expressa a uma possível movimentação e/ou processos biológicos que ocorrem ao longo da bacia. E as diferenças observadas em Serrinha, Caracará e Paricatuba por meio do balanço, podem ter relações geoquímicas e geomorfológicas do Rio Negro e do Rio Branco, pois os elementos-traço expuseram uma clara relação com a localização das estações.

## 7. CONCLUSÃO

Os resultados alcançados neste estudo permitiram as seguintes considerações para a área de estudo:

A análise espacial dos anos de 1995 e 1996 destaca que a vazão é crescente de montante a jusante e a variabilidade (máximas e mínimas), ocorrem praticamente nos mesmos períodos do ano, sendo a vazão máxima ocorrendo no mês de julho, expressando a sazonalidade hidrológica da região. A estação de São Felipe teve a vazão máxima e a estação Jalauaca teve a mínima nos dois anos. Os parâmetros físico-químicos expuseram: que o pH das amostras de água das estações analisadas variou entre 3,50 pH a 7,40 pH, a condutividade elétrica das amostras estações analisadas, tiveram valores entre 5 a 87  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e a temperatura variou entre 21 a 30,80 °C no período de análise.

A variabilidade temporal de Serrinha e Caracaraí na vazão exibiu um padrão sazonal, com cheias e secas bem definidas. E na análise físico-química dos parâmetros mostrou em Caracaraí pH próximo das condições neutras, enquanto em Serrinha expôs um pH com níveis mais ácidos. A condutividade elétrica foi maior em Caracaraí do que em Serrinha, chegando ao valor máximo de 44,0  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , a condutividade elétrica em SER foi  $>25 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , revelando a pobreza de sais dissolvidos em suas águas. As variações de temperatura são parte do regime climático normal, variando de 22,6 a 30,9 °C, sendo as temperaturas mais elevadas registradas no período de seca da região.

A série temporal com os dados de vazão diária associada a concentração dos elementos-traço dissolvidos (*V, Ni, Rb, Cd, Ba, Pb, U, Cr, As, Ti, Zr, Sn*), exibiu mudanças na concentração entre as estações Caracaraí e Serrinha, alguns elementos se comportaram de maneira diferente nessas estações. Sendo maior expressividade em Caracaraí do que em Serrinha, e isso pode estar correlacionado ao volume de descarga e a geologia da região. Uma vez que em números a descarga em Serrinha é quase o dobro que em Caracaraí, e cada estação ainda que dentro da bacia hidrográfica do Rio Negro apresentam características geológicas distintas.

A análise de concentração e correlação evidenciou o *Bário*, como um dos elementos desse estudo com maior expressividade em ambas as estações. Na análise de correlação Ba exibiu mais correlação com vazão em Caracaraí do que em Serrinha, e isso também foi o caso do Cromo, essa diferença de comportamento pode estar associada a geologia das regiões.

Os gráficos de fluxo destacaram que os elementos tendem a aumentar seu fluxo com o aumento da vazão. Sendo *Rb*, *U* e *Zr* os elementos que exibiram um padrão sazonal bem definido. Os elementos *Pb*, *Cd*, *Cr*, *Ti* e *Sn* apresentam um regime unimodal, com altas concentrações durante cheia e baixas concentrações durante o período de seca. Elementos que apresentam pouca variação com a vazão, são *V*, *Ni* e *Ba*. A predominância desses elementos-traço em Caracaraí ficou estabelecida assim:  $[Ba]>[Rb]>[Ti]>[V]>[Ni]>[Cr]>[Pb]>[As]>[Zr]>[U]>[Sn]>[Cd]$ ; e em Serrinha:  $[Ba]>[Ti]>[Rb]>[V]>[Cr]>[Pb]>[Ni]>[Zr]>[As]>[Sn]>[U]>[Cd]$ . E por meio do fluxo vimos que é em Serrinha que se advém o maior fluxo de concentração dos elementos-traço.

A estimativa de balanço de massa ampliou a visão do aporte desses elementos ao longo da bacia, mas expôs primeiramente uma lacuna de dados amostrais, o que impossibilitou uma melhor análise. Em síntese, os elementos que tiveram o balanço positivo ( $+\Sigma$ ) indicaram uma tendência a produção, e foram eles: *Rb*, *Ti*, *V*, *U*, *Zr* e *Sn*. E já os que apresentaram um balanço negativo ( $-\Sigma$ ) expuseram uma tendência a deposição, sendo eles: *Ba*, *Cr*, *Ni*, *Cd*, *Pb* e *As*.

Com isso, este estudo fornece um levantamento abrangente de elementos-traço em duas estações principais (Caracaraí e Serrinha). A variabilidade temporal das concentrações dos elementos-traço, bem como suas diferenças de comportamento pode estar diretamente ligada a geologia das regiões associada ao nível de descarga de ambas, e a diluição desses elementos. Estudos adicionais sobre a geoquímica de elementos-traço dissolvidos na bacia do Rio Negro e seus afluentes deve ser realizado para avaliar os fluxos desses elementos, bem como o aporte de elementos-traço no arquipélago de Anavilhanas.

## REFERÊNCIAS

ABDO, J. M. M. et al. Hidrologia da Bacia Amazônica: Décima campanha de amostragem de água e sedimentos nas bacias dos rios Tocantins, Xingu e Tapajos. Brasília HIBAM, , 1997. Disponível em: <[https://hybam.obs-mip.fr/wp-content-hybam/uploads/2018/07/br\\_10.pdf](https://hybam.obs-mip.fr/wp-content-hybam/uploads/2018/07/br_10.pdf)>

ALLOWAY, B. J. . Heavy Metals in Soils. 2. ed. New York: [s.n.], 1995.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, N. D. S. Mapeamento Hidromorfodinâmico Do Complexo Fluvial De Anavilhanas. Contribuição Aos Estudos De Geomorfologia Fluvial De Rios Amazônicos. [s.l.] Universidade De São Paulo Faculdade - USP, 2013.

ANA, A. N. D. Á. Conjuntura Recursos Hídricos no Brasil 2017, Ministério do Meio Ambiente. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura\\_completo.caf2236b.pdf](http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.caf2236b.pdf)>.

ANDRADE, C. F. F. D. Uma Introdução à Bioinorgânica. Pelotas Instituto de Química e Geociências - Universidade Federal de Pelotas, , 2003.

ANTAS, F. P. DE S.; MORAIS, E. R. C. DE. Monitoramento Da Qualidade Química Da Água Para Fins De Irrigação No Rio Açú, Rn. Holos, v. 4, p. 23–28, 2011.

AUCOUR, A. M. et al. The Amazon River: Behaviour of metals (Fe, Al, Mn) and dissolved organic matter in the initial mixing at the Rio Negro/Solimões confluence. Chemical Geology, v. 197, n. 1–4, p. 271–285, 2003.

BACCI, D. C. .; PATACA, E. M. Educação para a água. Universidade de São Paulo. Instituto de Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 211–226, 2008.

BARBOUR, M. T. et al. Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish Second Edition. 2a. ed. Washington: [s.n.].

BARICHIVICH, J. et al. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. Science Advances, v. 4, n. 9, 2018.

BRAGA, P. I. S. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. Acta Amazonica, v. 9, n. 4, p. 53–80, 1979.

BRASIL, M. M. A. Ministério do Meio Ambiente. Rio Negro, no Amazonas, é sítio Ramsar Regional. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/14770-noticia-acom-2018-05-2997.html>>. Acessado em abril de 2023.

CETESB, C. A. DO E. DE S. P. Apêndice E: Significado Ambiental E Sanitário Das Variáveis De Qualidade Das Águas E dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de

Amostragem. In: CETESB, C. A. DO E. DE S. P. (Ed.). Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, 2016. p. 1–52.

CHAVES, E. V. Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de plantas *Senna multijuca*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia echinata*. Pró-Reitoria De Pesquisa E Pós-Graduação, p. 87, 2008.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do Rio Betari no parque estadual turístico do Alto Ribeira - PETAR, São Paulo, Brasil. *Química Nova*, v. 29, n. 1, p. 40–45, 2006.

DISSANAYAKE, C. B.; CHANDRAJITH, R. Medical geochemistry of tropical environments. *Earth Science Reviews*, v. 47, n. 3–4, p. 219–258, 1999.

DORNFELD, C. B. Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP). [s.l.] Universidade de São Paulo, 2002.

DUARTE, F. . Agentes Tóxicos da Água. *Revista Acadêmica Oswaldo Cruz*, p. 12, 2016.

ELBAZ-POULICHET, F. et al. Trace element geochemistry in the upper Amazon drainage basin (Bolivia). *Chemical Geology*, v. 157, n. 3–4, p. 319–334, 1999.

ESCARIÃO, R. Modelagem Hidrológica Da Bacia Do Rio Negro Na Amazônia. [s.l.] UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2001.

ESPINOZA VILLAR, J. C. et al. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974-2004). *Journal of Hydrology*, v. 375, n. 3–4, p. 297–311, 2009a.

ESPINOZA VILLAR, J. C. et al. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, v. 2029, n. March 2008, p. 2011–2029, 2009b.

ESTEVEES, F. D. A. Fundamentos de Limnologia. [s.l.] Interciência, 1998a.

ESTEVEES, F. DE A. Fundamentos de limnologia. 2º ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998b.

EVANGELISTA, R. A. O.; WANKLER, F. L.; SANDER, C. Hydrological regime and hydrogeochemistry characteristics of the basin of the Branco river high course, Roraima State. In: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. F. (Eds.). Sustainable water management in the tropics and subtropics- and case studies in Brazil. VL 3 ed. Jaguarão-RS: Fundação Universidade Federal do Pampa. UNIKASSEL - PGCUI-UFMA, 2012. p. 1183.

FERREIRA, S. J. F. et al. Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia central. *Acta Amazonica*, v. 42,

n. 4, p. 533–540, 2012.

FIGLIUOLO, G. C. et al. Caracterização Da Variabilidade Espacial E Sazonal Do Regime Hidrológico Da Bacia Do Rio Negro Com Aplicação De Altimetria Espacial. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, n. August 2015, 2020.

FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. D. S. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ). Revista Política Hoje, v. 18, n. 1, p. 115–146, 2009.

FILIZOLA, N. O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Bacia Amazônica brasileira. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 1999. v. 41(4)

FILIZOLA, N. et al. Caracterização hidrológica da bacia amazônica. In: RIVAS, A.; FREITAS, C. E. DE C. (Eds.). Amazônia - uma perspectiva interdisciplinar. Manaus: EDUA, Editora da Universidade do Amazonas, 2002. p. 271.

FILIZOLA, N. Transfer sédimentaire actuel par les fleuves amazoniens. [s.l.] UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABASTIER, 2003.

FILIZOLA, N. et al. The Significance of Suspended Sediment Transport Determination on the Amazonian Hydrological Scenario. In: MANNING, A. J. (Ed.). Sediment Transport in Aquatic Environments. [s.l.] October 3rd 2011, 2011.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set. Hydrological Processes - Wiley InterScience, v. 23, n. 2009, p. 3207–3215, 2009.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. Revista Brasileira de Geociências, v. 41, n. 4, p. 566–576, 2011.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; GUIMARÃES, V. Measuring the discharge of the Amazon River using Doppler technology (Manacapuru, Amazonas, Brazil). Hydrological Processes - Wiley InterScience, v. 23, p. 3151–3156, 2009.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. UMA REVISÃO GERAL SOBRE O CLIMA DA AMAZÔNIA. , 1998.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. 2. ed. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012, 1983.

FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). Revista Brasileira de Geociências, v. 41, n. 4, p. 587–596, 2011.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. Modern sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brazil. Geomorphology, v. 44, p. 259–271, 2002.

FUNASA, F. N. DE S. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.



GATTI, L. V. et al. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. *Nature*, v. 506, n. 7486, p. 76–80, 2014.

GIATTI, L. L.; CUTOLO, S. A. Acesso à água para consumo humano e aspectos de saúde pública na amazônia legal. *Ambiente e Sociedade*, v. 15, n. 1, p. 93–109, 2012.

GIBBS, R. J. Water chemistry of the Amazon River. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 36, n. 9, p. 1061–1066, 1972.

GUILHERME, L. R. Poluição do solo e qualidade ambiental. Brasília Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, 1999.

GUILHERME, L. R. G. et al. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: Tópicos em ciências do solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2005. p. 345–390.

GUYOT, J.-L. et al. Balanço hídrico da bacia do Rio Negro (Water balance of Rio Negro drainage basin). ANAIS do I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, p. 535–544, 1994.

GUYOT, J.; FILIZOLA, N.; LARAQUE, A. Régime et bilan du flux sédimentaire de l' Amazone à Óbidos ( Pará , Brésil ) de 1995 à 2003. In: HOROWITZ, A. J.; WALLING, D. E. (Eds.). *Sediment Budgets I* (Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). 291. ed. Foz do Iguaçu: IAHS, 2005.

HORBE, A. M. C. et al. Contribuição à hidroquímica de drenagens no Município de Manaus - AM. *Acta Amazonica*, v. 35, n. 2, p. 119–124, 2005.

HORBE, A. M. C.; OLIVEIRA, L. G. D. S. Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas - Brasil. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 4, p. 753–759, 2008.

JUNK, W. J. General Aspects of Floodplain Ecology with Special Reference to Amazonian Floodplains. In: *The Central Amazon Floodplain*. [s.l.: s.n.]. v. 126p. 3–20.

JUNK, W. J. et al. A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts. *Wetlands Ecology and Management*, v. 23, n. 4, p. 677–693, 2015.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. Plant Life in the Floodplain with Special Reference to Herbaceous Plants. In: *The Central Amazon Floodplain*. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg, 1997. v. 126p. 147–185.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace Elements in Soils and Plants. 3. ed. [s.l.] CRC Press, 2001. v. 2

KAWAI, B. et al. Poluição ambiental por metais. Disponível em: <<http://www.fernandosantiago.com.br/met90.htm>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

KLAASSEN, C. D. Toxic Agents. In: KLAASSEN, C. D. (Ed.). *Casarett & Doull's*

Toxicology: The Basic Science of Poisons. 7. ed. [s.l: s.n.]. p. 1648.

KRUPEK, R. A.; BRANCO, C. C. Z.; PERES, K. C. Variação sazonal de alguns parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a uma bacia de drenagem na região centro- centro - sul do Estado do Paraná , Sul do Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30, n. 4, p. 431–438, 2008.

KRUPEK, R. A.; BRANCO, C. C. Z.; PERES, K. C. de duas bacias da região centro-sul do estado do Paraná , sul do Brasil. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 6, n. 2, p. 297–310, 2010.

KÜCHLER, I. L.; MIEKELEY, N.; FORSBERG, B. R. A Contribution to the Chemical Characterization of Rivers in the Rio Negro Basin, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 11, n. 3, p. 286–292, 2000.

LAGES, A. DA S.; HORBE, A. M. C.; MOQUET, J. S. Geoquímica de rios de água preta do Sudeste do Amazonas: Origem, fluxo dos elementos e consumo de CO<sub>2</sub>. *Acta Amazonica*, v. 43, n. 3, p. 343–352, 2013.

LARAQUE, A.; GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N. Mixing processes in the Amazon River at the confluences of the Negro and Solimões Rivers, *Encontro das Águas, Manaus , Brazil. Hydrological Processes*, v. 23, p. 3131–3140, 2009.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Paulo: Rima, 2000.

LATRUBESSE, E. M. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology*, v. 101, n. 1–2, p. 130–145, 2008.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. *Geomorphology*, v. 70, n. 3- 4 SPEC. ISS., p. 372–397, 2005.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical rivers. *Geomorphology*, v. 70, n. 3- 4 SPEC. ISS., p. 187–206, 2005.

LEENHEER, J. A.; SANTOS, U. DE M. Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do no Negro ( Amazônia Central ). *Acta Amazonica*, v. 10, n. 2, p. 343–355, 1980.

MAFRA, A. L. et al. Pedogênese Numa Seqüência Latossolo-Espodossolo Na Região Do Alto Rio Negro , Amazonas. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 26, n. 1, p. 381–394, 2002.

MARENCO, R. A. et al. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia : fotossíntese , respiração e relações hídricas. *Revista Ceres*, v. 61, p. 786–799, 2014.

MARENCO, J. A. et al. Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 107, n. 1–2, p. 73–85, 2012.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, 2016.

MARINHO, R. R. Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo do fluxo de água e matéria no Arquipélago de Anavilhanas, Rio Negro – Amazonas, Brasil. [s.l.] Instituto Nacional De Pesquisa Da Amazônia-Inpa, 2019.

MARINHO, R. R.; RIVERA, I. A. Variabilidade Espacial Da Precipitação Nas Sub-Bacias Do Rio Negro (Am) E Rio Branco (RR). In: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Santos-SP: [s.n.]. p. 247–250, 2019.

MARINHO, R. R. et al. O Projeto Hidrogeos-Negro No Arquipélago De Anavilhanas, Novo Airão (Am). *Revista Geonorte*, v. 10, n. 34, p. 153–167, 2019.

MAROTTA, H.; SANTOS, R. O. DOS; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. *Ambiente e Sociedade*, v. 6, n. 1, p. 67–79, 2008.

MARTINEZ, J.-M.; LE TOAN, T. Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floodplain using multitemporal SAR data. *Remote Sensing of Environment*, v. 108, p. 209–223, 2007.

MARTINS, C. A. DA S. et al. A Dinâmica De Metais-Traço No Solo. *Current Agricultural Science and Technology (CAST)*, v. 17, n. 3, p. 383–391, 2011.

MEADE, R. H. et al. Sediment loads in the Amazon River. *Nature*, v. 278, p. 161–163, 1979.

MEADE, R. H. et al. Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil. *Environmental Geology and Water Sciences*, v. 18, n. 2, p. 105–114, 1991.

MELACK, J. M.; HESS, L. L. Remote Sensing of the Distribution and Extent of Wetlands in the Amazon Basin. In: JUNK, W. J. et al. (Eds.). *Amazonian Floodplain Forests*. [s.l.] Springer Dordrecht, 2010.

MENEZES, L. B. DE C. Caracterização Biogeoquímica De Ecossistemas Amazônicos: Rios E Lagos Selecionados Das Microrregiões Bragantina, Do Salgado E Guajarina - Pa. [s.l.] Universidade Federal Do Pará, 1999.

MEYBECK, M. Global Occurrence of Major Elements in Rivers. *Treatise on Geochemistry*, v. 5–9, p. 207–223, 2003.

MIRANDA, R. G. et al. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia - Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. *Revista Ambiente e Água*, v. 4, 2009.

MMA. Caderno da Região Hidrográfica Amazônica. BrasíliaMMA - Ministério do Meio Ambiente, , 2006. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br>>

MOLINIER, M. et al. Hidrologia da Bacia do Rio Amazonas. CPRM, A água em Revista, v. 2(3), p. 31–36, 1995.

MOLINIER, M. et al. Les regimes hydrologiques de l'Amazone et de ses affluents. IAHS-AISH Publication, n. 238, p. 209–222, 1996.

MOLINIER, M. et al. Hydrologie du bassin amazonien. In: H. THÉRY (Ed.). Environnement et développement en Amazonie brésilienne. [s.l.] Belin, 1997.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. DE O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 17, n. 1, p. 1–10, 2002.

MOORE, D. S. The Basic Practice of Statistics. 8. ed. New York: WH Freeman, 2007.

MOQUET, J. S. et al. Chemical weathering and atmospheric/soil CO<sub>2</sub> uptake in the Andean and Foreland Amazon basins. Chemical Geology, v. 287, n. 1–2, p. 1–26, 2011.

MOQUET, J. S. et al. Amazon River dissolved load: temporal dynamics and annual budget from the Andes to the ocean. Environmental Science and Pollution Research, v. 23, n. 12, p. 11405–11429, 2016.

MORA, A. et al. Dynamics of dissolved major (Na, K, Ca, Mg, and Si) and trace (Al, Fe, Mn, Zn, Cu, and Cr) elements along the lower Orinoco River. Hydrological Processes, v. 31, n. 3, p. 597–611, 2017.

MOREIRA-TURCQ, P. et al. Exportation of organic carbon from the Amazon River and its main tributaries. Hydrological Processes, v. 17, n. 7, p. 1329–1344, 2003.

MOREIRA, W. P. Variação Espaço-Temporal Dos Parâmetros Físicos E Químicos E Do Fluxo De Elementos-Traço Como Indicadores Basais No Arquipélago Fluvial De Anavilhanas - Am. [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 2019.

MULHOLLAND, D. S. et al. Insights into iron sources and pathways in the Amazon River provided by isotopic and spectroscopic studies. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 150, p. 142–159, 2015.

MUNIZ, L. L. F. et al. Retenção de zinco em solos do Vale do Aço Mineiro , afetada pela remoção de matéria orgânica, óxido de ferro e óxido de manganês. Química Nova, 1996.

NIENCHESKI, L. F.; WINDOM, H. L.; SMITH, R. Distribution of Particulate Trace Metal in Patos Lagoon Estuary (Brazil). Marine Pollution Bulletin, v. 28, n. 2, p. 96–102, 1994.

NOBRE, C. A. et al. Características do Clima Amazônico : Aspectos Principais. 2009.

OLIVEIRA, R. C. B. DE; MARINS, R. V. Trace metals dynamics in soil and estuarine sediment as a major factor controlling contaminants contribution to the aquatic environment: Review. Revista Virtual de Química, v. 3, n. 2, p. 88–102, 2011.

PEIJNENBURG, W. J. G. M.; JAGER, T. Monitoring approaches to assess bioaccessibility and bioavailability of metals: Matrix issues. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 56, p. 63–77, 2003.

PINTO, A. L.; OLIVEIRA, G. H. DE; PEREIRA, G. A. Avaliação Da Eficiência Da Utilização Do Oxigênio Dissolvido Como Principal Indicador Da Qualidade Das Águas Superficiais Da Bacia Do Córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. *Revista De Geografia, Meio Ambiente E Ensino*, v. 1, n. 1, p. 69–82, 2010.

QUEIROZ, M. M. A. et al. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães: Amazonas - Brasil. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 4, p. 943–952, 2009.

QUESADA, C. A. et al. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, v. 8, p. 1415–1440, 2011.

QUESADA, C. A. et al. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. *Biogeosciences*, v. 9, n. 6, p. 2203–2246, 2012.

REBÊLO, A. G. DE M. et al. Valores De Referência Da Concentração De Metais Pesados Em Solos Na Amazônia Central. *Química Nova*, v. 42, n. 5, p. 534–539, 2020.

REBOITA, M. S. et al. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. *Terrae Didática*, v. 8, n. 1, p. 34, 2012.

RICHEY, J. E. et al. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. *Limnology and Oceanography*, v. 35, n. 2, p. 352–371, 1990.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. et al. Physicochemical features of Amazonian water typologies for water resources management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 427, n. 1, 2020.

ROCHA, V. M. et al. Reciclagem de Precipitação na Bacia Amazônica : O Papel do Transporte de Umidade e da Evapotranspiração da Superfície Precipitation Recycling in the Amazon Basin : The Role of Moisture Transport and Surface Evapotranspiration. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, p. 387–398, 2017.

ROCHA, V. M.; CORREIA, F. W. S.; FONSECA, P. A. M. Reciclagem De Precipitação Na Amazônia : Um Estudo De Revisão Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Escritório Central do LBA , Manaus , AM , Brasil Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus , AM , Brasil Recebido Março de 2014 -. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n. 1, p. 59–70, 2015.

RODRIGUES, M. L. K. Origem, distribuição e mobilidade potencial de metais pesados em ambiente fluvial impactado por curtumes. [s.l.] Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2007.

RONCHAIL, J. et al. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. *International Journal of Climatology*, v. 22, n. 13, p. 1663–1686, 2002.

SAATCHI, S. et al. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, v. 13, n. 4, p. 816–837, 2007.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. *Metals in the Hydrocycle*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1984.

SANTANA, G. P. Elemento-traço ou metal pesado. Disponível em: <[http://www.cq.ufam.edu.br/Artigos/Elemento\\_metal\\_pesado](http://www.cq.ufam.edu.br/Artigos/Elemento_metal_pesado)>. Acesso em: 15 jun. 2021.

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SANTOS E SILVA, C. M. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. *Atmospheric Science Letters*, v. 16, n. 3, p. 185–192, 2014.

SANTOS, U. D. M. et al. Rios da Bacia Amazônica: Afluentes do Rio Negro. *Acta Amazonica*, n. 14 (1–2), p. 222–237, 1984.

SANTOS, U. DE M.; RIBEIRO, M. DE N. G. A hidroquímica do Rio Solimões - Amazonas. *Acta Amazonica*, v. 18, n. 3–4, p. 145–172, 1988.

SEYLER, P. T.; BOAVENTURA, G. R. Trace elements in the mainstream Amazon River. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R.; RICHEY, J. E. (Eds.). *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*. New York: Oxford University Press, USA, 2001. p. 365.

SEYLER, P. T.; BOAVENTURA, G. R. Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin. *Hydrological Processes*, v. 17, n. 7, p. 1345–1361, 2003.

SEYLER, P. T.; PINELLI, M.; BOAVENTURA, G. R. A first quantitative estimate of trace metal fluxes from Amazon river and its main tributaries. *Journal de Physique IV*, 2003.

SHILLER, A. M. Dissolved trace elements in the Mississippi River: Seasonal, interannual, and decadal variability. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 61, n. 20, p. 4321–4330, 1997.

SILVA, M. S. . et al. Desafios para gestão das águas na região amazônia. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1–8, 2013.

SIOLI, H. *As águas da região do alto Rio Negro*. Belém-PA: [s.n.], 1956.

SIOLI, H. Studies in amazonian waters. *Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica*, v. 3, 1967.

SIOLI, H. Amazon Tributaries and Drainage Basins. In: *The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types*. New York: Springer-Verlag New York inc., 1975.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: SIOLI, H. (Ed.). *The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. [s.l.] Springer Netherlands, 1984. p. 800.

SIQUEIRA, G. W.; PEREIRA, S. D. F. P.; APRILE, F. M. Determination of trace elements (Zn, Co and Ni) in sediments at the Amazon Continental shelf on influence of the Amazon River discharge. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 3, p. 321–326, 2006.

SORÍ, R. et al. Drought and wet episodes in Amazonia: the role of atmospheric moisture transport. *Proceedings of First International Electronic Conference on the Hydrological Cycle*, v. 1, n. November, p. 12–16, 2017.

SOUSA, A. K. F. DE. *Variação Sazonal E Espacial Da Concentração De Elementos-Traço Nos Rios Urucu, Solimões E Negro – Amazônia Ocidental, Brasil*. [s.l.] Universidade Federal Do Amazonas, 2008.

SPERLING, M. VON. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 1996. v. 1

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal of Geophysical Research*, v. 88, n. C14, p. 9671–9688, 1983.

STEVAUX, J. C. . et al. Floods in Urban Areas of Brazil. In: LATRUBESSE, E. M. (Ed.). *Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America, Special Volumes of Geomorphology*. 1a. ed. [s.l.: s.n.]. p. 550.

TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano. *Química Nova*, v. 15, n. 2, p. 147–154, 1992.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. DE M. C. *Gestão da Água no Brasil*. UNESCO ed. Brasília: [s.n.]. v. 12

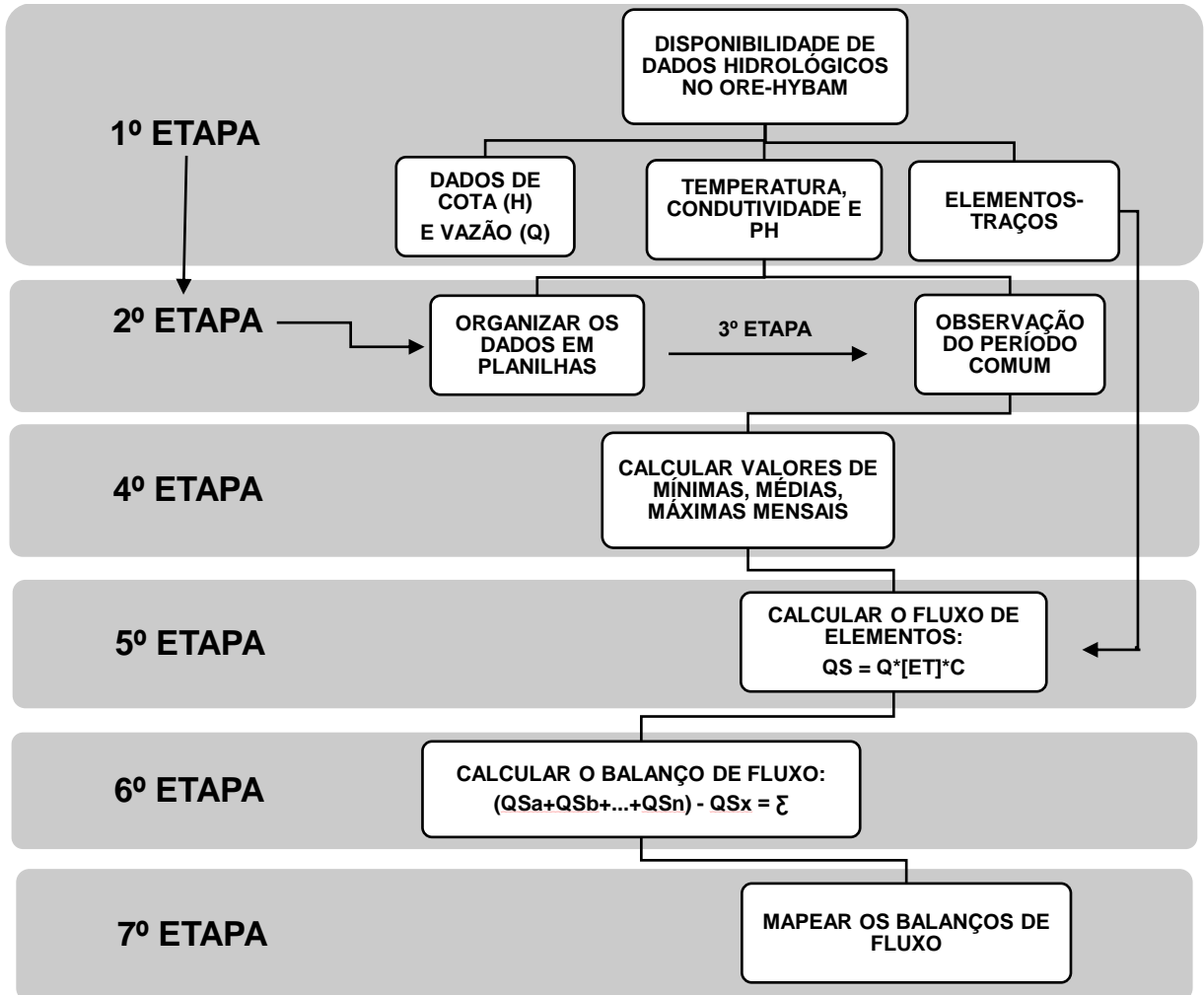
VERA, C. et al. Toward a unified view of the American monsoon systems. *Journal of Climate*, v. 19, n. 20, p. 4977–5000, 2006.

VIERS, J. et al. The influence of the Amazonian floodplain ecosystems on the trace element dynamics of the Amazon River mainstem (Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 339, n. 1–3, p. 219–232, 2005.

ZEIDEMANN, V. K. *O Rio das Águas Negras. As Florestas do Rio Negro*, p. 61–87, 2001.

# ANEXO

## ANEXO I – Fluxograma dos materiais e métodos da pesquisa





**ANEXO II-A – Tabela das Estações fluviométricas da bacia do Rio Negro definidas para o estudo \*Estação do Ore Hybam e ANA.**

Ore Hybam			COTA			VAZÃO			TEMPERATURA			CONDUTIVIDADE			pH		
CÓDIGO	ESTAÇÃO	RIO	I.S.	F.S.	Q.T.D	I.S.	F.S.	Q.T.D	I.S.	F.S.	Q.T.D	I.S.	F.S.	Q.T.D	I.S.	F.S.	Q.T.D
14860090	Caco de Prata	Unini	SD	SD	SD	SD	SD	SD	mar/95	set/98	3	mar/95	set/98	3	mar/95	set/98	3
14710000	Caracarai	Branco	jan/67	ago/19	631	jan/67	nov/18	622	dez/96	out/11	380	dez/96	jul/12	398	dez/96	dez/18	193
14480090	Confl_Branco	Negro	SD	SD	SD	SD	SD	SD	mar/95	set/98	3	mar/95	set/98	3	mar/95	set/98	3
14870090	Confl_Carabinani	Jau	SD	SD	SD	SD	SD	SD	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	SD	SD	SD
14450090	Confl_Negro	Demini	SD	SD	SD	SD	SD	SD	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1
14820090	Confl_Negro	Branco	SD	SD	SD	SD	SD	SD	mar/95	set/98	2	mar/95	set/98	2	mar/95	set/98	2
14850090	Confl_Negro	Jauaperi	SD	SD	SD	SD	SD	SD	mar/95	set/98	3	mar/95	set/98	3	mar/95	set/98	3
14880090	Confl_Negro	Jau	SD	SD	SD	SD	SD	SD	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2
14375990	Confl_Negro Marie	Rio Marie	SD	SD	SD	SD	SD	SD	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2
14110000	Cucui	Negro	ago/80	out/18	458	jul/80	out/18	458	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2
14310000	Cunuri	Tiquie	set/82	jun/18	423	ago/82	jun/18	423	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2
14437000	Ilha do Peixe Boi	Negro	SD	SD	SD	SD	SD	SD	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1
14450000	Jalauaca	Demini	ago/80	out/96	193	ago/80	out/96	193	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2
14350000	Jusante Cachoeira do Caju	Curicuriari	jun/82	set/18	432	jun/82	set/18	432	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2
14230000	Missão Icana	Icana	ago/80	out/18	458	jul/80	out/18	458	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2
14910000	Paricatuba	Negro	SD	SD	SD	SD	SD	SD	mar/95	jun/03	12	mar/95	jun/03	12	mar/95	jun/03	12
14437090	Ponta da Terra	Cuiuni	SD	SD	SD	SD	SD	SD	mar/95	set/98	3	mar/95	set/98	3	mar/95	set/98	3
14250000	São Felipe	Negro	jan/78	out/18	489	dez/77	out/18	489	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2
14320001	São Gabriel da Cachoeira	Negro	set/82	out/18	431	SD	SD	SD	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2
14420000	Serrinha	Negro	dez/67	abr/19	615	dez/67	abr/19	609	jul/96	abr/08	92	jul/96	mai/12	130	jul/96	mar/19	126
14435090	Tapera	Igarapé Tupé	SD	SD	SD	SD	SD	SD	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2	jul/96	set/98	2
14280001	Taraqua	Uaupes	jul/77	out/18	467	mai/77	out/18	467	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2	jun/96	set/98	2

**ANEXO II-B – Tabela do período do início e final da série histórica e da quantidade de dados disponíveis. I.S. = Início da série histórica; F.S. = Fim da Série histórica; Q.T.D. = Quantidade Total de dados; SD = Parâmetro sem Dados disponíveis;**

Ore Hybam			V (µg/l)			Ni (µg/l)			Rb (µg/l)			Cd (µg/l)			Ba (µg/l)			Pb (µg/l)			U (µg/l)		
CÓDIGO	ESTAÇÃO	RIO	I.S.	F.S.	Q.T.D.	I.S.	F.S.	Q.T.D.	I.S.	F.S.	Q.T.D.	I.S.	F.S.	Q.T.D.	I.S.	F.S.	Q.T.D.	I.S.	F.S.	Q.T.D.	I.S.	F.S.	Q.T.D.
14860090	Caco de Prata	Unini	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2
14710000	Caracarai	Branco	set/03	dez/18	169	set/03	dez/18	172	set/03	dez/18	170	out/03	nov/18	144	set/03	dez/18	172	set/03	dez/18	168	set/03	dez/18	169
14480090	Confl_Branco	Negro	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2
14870090	Confl_Carabinani	Jau	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1
14450090	Confl_Negro	Demini	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1
14820090	Confl_Negro	Branco	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1
14850090	Confl_Negro	Jauaperi	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2	mar/95	jul/96	2
14880090	Confl_Negro	Jau	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1
14375990	Confl_Negro Marie	Rio Marie	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1
14110000	Cucui	Negro	jun/96	jun/96	1	SD	SD	SD	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1
14310000	Cunuri	Tiquie	jun/96	jun/96	1	SD	SD	SD	jun/96	jun/96	1	SD	SD	SD	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1
14437000	Ilha do Peixe Boi	Negro	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1	mar/95	mar/95	1
14450000	Jalauaca	Demini	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	SD	SD	SD	jul/96	jul/96	1
14350000	Jusante Cachoeira do Caju	Curicuriari	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	SD	SD	SD	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1
14230000	Missão Icana	Icana	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1
14910000	Paricatuba	Negro	jul/96	mai/00	4	jul/96	mai/00	5	jul/96	mai/00	5	jul/96	mai/00	5	jul/96	mai/00	5	jul/96	mai/00	4	jul/96	mai/00	5
14437090	Ponta da Terra	Cuiuni	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1
14250000	São Felipe	Negro	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1
14320001	São Gabriel da Cachoeira	Negro	jun/96	jun/96	1	SD	SD	SD	jun/96	jun/96	1	SD	SD	SD	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1
14420000	Serrinha	Negro	jul/96	dez/19	149	jul/96	dez/19	152	jul/96	dez/19	151	jul/96	out/19	146	jul/96	dez/19	150	jul/96	dez/19	133	jul/96	dez/19	148
14435090	Tapera	Igarapé Tupé	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1	jul/96	jul/96	1
14280001	Taraqua	Uaupes	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1	jun/96	jun/96	1

**ANEXO II-C – Tabela do período do início e final da série histórica e da quantidade de dados disponíveis. I.S. = Início da série histórica; F.S. = Fim da Série histórica; Q.T.D. = Quantidade Total de dados; SD = Parâmetro sem Dados disponíveis.**

Ore Hybam			Cr(µg/l)			As(µg/l)			Ti(µg/l)			Zr(µg/l)			Sn(µg/l)		
CÓDIGO	ESTAÇÃO	RIO	I.S.	F.S.	Q.T.D	I.S.	F.S.	Q.T.D	I.S.	F.S.	Q.T.D	I.S.	F.S.	Q.T.D	I.S.	F.S.	Q.T.D
14860090	Caco de Prata	Unini	SD	SD	SD	mar/95	jul/96	1	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14710000	Caracarai*	Branco	set/03	dez/18	173	set/03	dez/18	168	set/03	dez/18	172	set/03	dez/18	172	out/03	dez/18	166
14480090	Confl_Branco	Negro	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14870090	Confl_Carabinani	Jau	SD	SD	SD	mar/95	mar/95	1	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14450090	Confl_Negro	Demini	SD	SD	SD	mar/95	mar/95	1	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14820090	Confl_Negro	Branco	SD	SD	SD	mar/95	mar/95	1	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14850090	Confl_Negro	Jauaperi	SD	SD	SD	mar/95	mar/95	1	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14880090	Confl_Negro	Jau	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14375990	Confl_Negro Marie	Rio Marie	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14110000	Cucui	Negro	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14310000	Cunuri	Tiquie	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14437000	Ilha do Peixe Boi	Negro	SD	SD	SD	mar/95	mar/95	1	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14450000	Jalauaca	Demini	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14350000	Jusante Cachoeira do Caju	Curicuriari	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14230000	Missão Icana	Icana	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14910000	Paricatuba	Negro	mai/97	mai/00	3	mai/00	mai/00	1	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14437090	Ponta da Terra	Cuiuni	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14250000	São Felipe	Negro	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14320001	São Gabriel da Cachoeira	Negro	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14420000	Serrinha*	Negro	set/03	dez/19	150	set/03	dez/19	133	set/03	dez/19	144	set/03	dez/19	135	set/03	dez/19	132
14435090	Tapera	Igarapé Tupé	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
14280001	Taraqua	Uaupes	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

**ANEXO III – Tabela dos dados disponíveis das campanhas Ore Hybam.**

ANO	Data	Rio	Estação	Cota (cm)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Temp. (°C)	pH	Cond. (μS/cm)	Turb. (NTU)	MES (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)
1995	05/03/1995	Negro	Paricatuba	SD	4241	28,7	5,0	10,0	2,0	3,3	
	08/03/1995	Demini	Cfl Negro	SD	SD	30,6	7,2	13,5	5,0	4,1	6,1
	08/03/1995	Cuiuni	Cfl Negro	SD	SD	30,7	6,9	22,9	7,0	10,5	11,0
	09/03/1995	Negro	Ilha Peixe-boi	SD	SD	30,8	4,6	14,9	6,0	5,8	4,9
	11/03/1995	Negro	Ilha de Panacarica	SD	5 404	29,6	5,0	15,6	5,0	6,7	0
	11/03/1995	Negro	Jusante Foz do Rio Branco	SD	5 817	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	11/03/1995	Branco	Ilha de Panacarica	SD	410	29,4	7,4	31,2	10,0	6,6	17,1
	12/03/1995	Jauaperi	Lago Grande	SD	SD	29,9	6,6	9,6	6,0	5,3	4,3
	12/03/1995	Unini	Caco de Prata	SD	SD	30	6,1	17,8	5,0	8,6	3,7
	13/03/1995	Jaú	Jaú	SD	472	28,8	5,2	12	5,0	7,8	1,8
	13/03/1995	Carabinani	Baruri	SD		26,9	4,1	17,6	4,0	6,8	0
	13/03/1995	Camanaú	Posto FUNAI	SD	61	28,8	6	9,7	3,0	5	3,1
	14/03/1995	Negro	Paricatuba	SD	7237	29,3	5,3	13,6	3,0	4,3	0
	24/03/1995	Amazonas	Óbidos	494	157380	28,8	7,3	69,5	280	178,4	28,1
25/03/1995	Tapajós	Alter do Chão	595	22470	29,1	7,2	13,3	6	25,2		
1996	21/06/1996	C1 Negro	Cucuí	1435	9 790	26,5	3,5	12	1	9,9	SD
	24/06/1996	C2 Negro	São Felipe	SD	15 850	25,5	3,6	13	2	11,6	SD
	24/06/1996	C3 Içana	Missão Içana	SD	3 480	25,0	3,7	15	1	9,0	SD
	26/06/1996	C4 Uaupês	Taraquá	1053	5 020	25,9	3,9	8	4	12,0	SD
	27/06/1996	C5 Tiquié	Cunuri	SD	550	25,0	3,9	5	8	11,3	SD
	28/06/1996	C6 Negro	São Gabriel da Cachoeira	SD	SD	26,1	3,9	13	1	10,3	SD
	04/07/1996	C7 Negro	Curicuriari	SD	23 900	23,8	4,4	15	2	11,6	SD
	01/07/1996	C8 Curicuriari	Cachoeira do Caju	1210	1 980	21,0	3,7	87	0	8,6	SD
	04/07/1996	C9 Marié	Foz	1456	2 600	24,2	4,2	20	4	10,9	SD
	05/07/1996	C11 Negro	Serrinha	SD	33 750	25,6	4,4	12	3	13,5	SD
	06/07/1996	C12 Paduari	Tapera	SD	SD	27,1	4,5	17	15	11,2	SD
	07/07/1996	C13 Cuiuni	Punta da Terra	SD	SD	24,3	4,4	8	4	9,1	SD
	07/07/1996	C14 Demini	Jalauaca	SD	1 660	27,6	4,4	9	10	15,6	SD
	08/07/1996	C16 Negro	Foz Rio Branco	SD	SD	27,0	4,0	12	7	11,8	SD
	09/07/1996	C17 Branco	Santa Maria do Boiaçu	SD	11 960	25,7	6,2	20	10	22,7	SD
	16/07/1996	C28 Madeira	Foz	SD	13 370	27,4	6,9	40	SD	27,0	40,9
	16/07/1996	C29 Amazonas	Itacoatiara	SD	191 460	27,4	6,7	41	SD	35,2	45,8
	17/07/1996	C30 Uatumã	Óbidos	SD	SD	27,9	5,8	7	SD	10,7	7,9
	18/07/1996	C31 Trombetas	Oriximina	SD	10 750	27,8	6,2	9	SD	15,9	12,8
18/07/1996	C32 Amazonas	Óbidos	SD	189 400	27,9	6,5	33	SD	37,6	29,9	
19/07/1996	C33 Tapajós	Alter do Chão	SD	5 050	29,0	7,2	11	SD	10,2	14,0	
1998	17/09/1998	J03 Içana	Missão Içana	SD	SD	26,4	4,3	15,9	3	3,9	0
	17/09/1998	J01 Negro	Cucui	SD	SD	28	4,5	11,1	3	6,1	0
	18/09/1998	J02 Negro	São Felipe	SD	SD	28,2	4,4	16,2	3	1,6	0
	18/09/1998	J06 Negro	São Gabriel	SD	SD	28,9	4,5	12,3	3	4,9	0
	20/09/1998	J05 Tiquié	Cunuri	SD	SD	26,7	4,8	5,8	12	/	0
	22/09/1998	J07 <sup>(2)</sup> Negro	Curicuriari	1041	12380	27,4	4,0	9	4	1,2	0
	22/09/1998	J08 Curicuriari	Cachoeira do Caju	SD	SD	27,3	4,0	21	2	0	0
	22/09/1998	J09 Marié	na Foz	SD	SD	27,8	4,0	22,3	2	0	0
	23/09/1998	J10 <sup>(2)</sup> Negro	Serrinha	744	17330	28,8	4,3	14	2	1,5	0
	24/09/1998	J11 Paduari	Tapera	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
	24/09/1998	J12 Cuiuni	Ponta da Terra	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
	25/09/1998	J13 Demini	Jalauaca	SD	SD	28,6	5,1	SD	7	SD	0
	25/09/1998	J15 Branco	na Foz	SD	3350 <sup>(1)</sup>	30,6	6,4	SD	4	SD	15,3
	25/09/1998	J14 <sup>(2)</sup> Negro	Foz Rio Branco	SD	22380	30,2	4,4	11	2	SD	0
	28/09/1998	J20 <sup>(2)</sup> Negro	Paricatuba	SD	30650	30,3	4,6	10,2	4	2,5	0
	08/10/1988	J40 Amazonas	Santarém	SD	*	SD	SD	SD	SD	SD	SD
10/10/1988	J41 Amazonas	Óbidos	102	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	

**ANEXO IV-A – Tabela de Dados de Máximas, Médias e Mínimas da rede ORE HYBAM e ANA.**

ORE HYBAM	COTA (cm)			VAZÃO (m3/s)			TEMPERATURA (°C)			CONDUTIVIDADE (µS.cm <sup>-1</sup> )			PH		
	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima
Estação															
Caco de Prata	SD	SD	SD	SD	SD	SD	30,00	28,56	25,90	17,76	11,88	7,00	6,09	5,43	5,09
Caracarai	932,00	330,62	9,00	12760,00	3265,23	256,20	31,40	28,38	22,60	64,50	25,99	16,00	7,60	6,59	3,95
Confl_Branco	SD	SD	SD	SD	SD	SD	30,20	28,93	27,00	15,60	12,86	11,00	5,00	4,46	4,00
Confl_Carabinani	SD	SD	SD	SD	SD	SD	28,80	28,80	28,80	11,97	11,97	11,97	5,20	5,20	5,20
Confl_Negro Branco	SD	SD	SD	SD	SD	SD	30,60	30,00	29,39	31,20	26,05	20,90	7,40	6,90	6,40
Confl_Negro Demini	SD	SD	SD	SD	SD	SD	30,60	30,60	30,60	13,50	13,50	13,50	7,20	7,20	7,20
Confl_Negro Jau	SD	SD	SD	SD	SD	SD	32,70	30,45	28,20	14,30	10,15	6,00	5,80	5,35	4,90
Confl_Negro Jauaperi	SD	SD	SD	SD	SD	SD	30,50	29,60	28,40	14,20	10,60	8,00	6,60	5,86	5,10
Confl_Negro Marie	SD	SD	SD	SD	SD	SD	27,80	26,00	24,20	22,30	21,15	20,00	4,20	4,10	4,00
Cucui	2261,00	1730,56	1267,00	11920,00	5224,29	624,20	28,00	27,25	26,50	12,00	11,55	11,10	4,50	4,00	3,50
Cunuri	1013,00	644,14	340,00	661,20	297,65	61,29	26,70	25,85	25,00	5,80	5,40	5,00	4,80	4,35	3,90
Ilha do Peixe Boi	SD	SD	SD	SD	SD	SD	30,80	30,80	30,80	14,89	14,89	14,89	4,60	4,60	4,60
Jalauaca	1188,00	938,10	724,00	1417,00	781,49	147,70	28,60	28,10	27,60	11,40	10,19	9,00	5,10	4,75	4,40
Jusante Cachoeira do Caju	1749,00	1458,15	1159,00	1718,00	934,69	238,90	27,30	24,15	21,00	87,00	54,00	21,00	4,00	3,85	3,70
Missão Icana	2218,00	1698,21	1332,00	4167,00	1921,31	438,29	26,40	25,70	25,00	15,90	15,45	15,00	4,30	4,00	3,70
Paricatuba	SD	SD	SD	SD	SD	SD	32,10	29,46	26,10	18,00	10,97	8,00	5,59	4,76	4,19
Ponta da Terra	SD	SD	SD	SD	SD	SD	30,70	28,03	24,30	22,90	13,76	8,00	6,90	5,30	4,40
São Felipe	1409,00	937,79	465,00	19640,00	8655,00	1630,00	28,20	26,85	25,50	16,20	14,60	13,00	4,40	4,00	3,60
São Gabriel da Cachoeira	1163,00	842,58	432,00	SD	SD	SD	28,90	27,50	26,10	13,00	12,65	12,30	4,50	4,20	3,90
Serrinha	1059,00	743,51	364,00	31310,00	16949,40	3747,00	30,50	28,04	25,39	22,00	7,01	1,00	6,75	4,79	3,65
Tapera	SD	SD	SD	SD	SD	SD	27,10	27,00	26,90	17,50	17,25	17,00	4,50	4,35	4,20
Taraqua	1647,00	1266,49	911,00	6484,00	2738,81	255,30	28,40	27,15	25,90	8,00	7,40	6,80	4,70	4,30	3,90

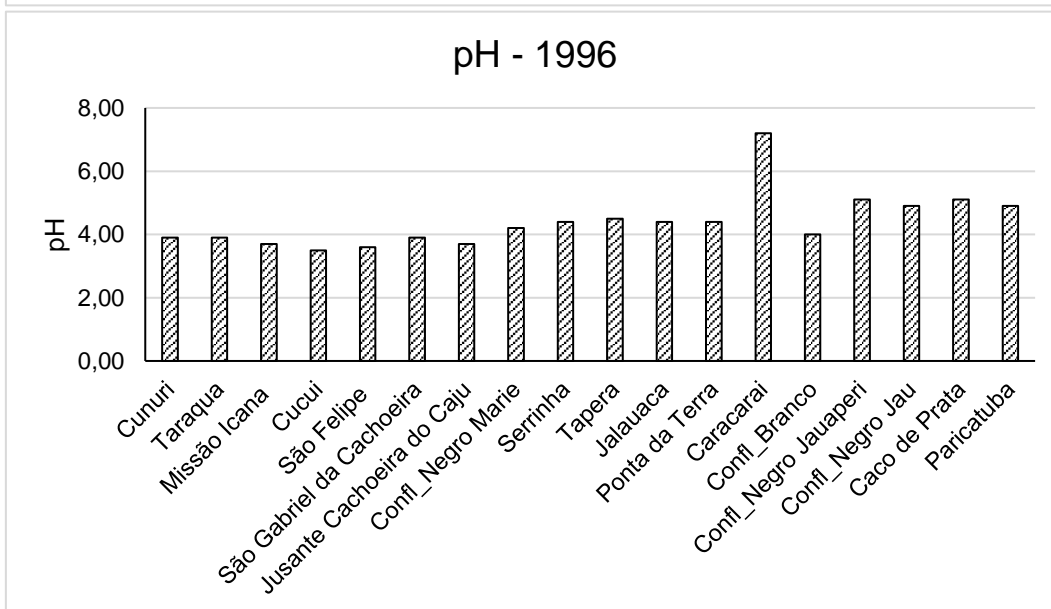
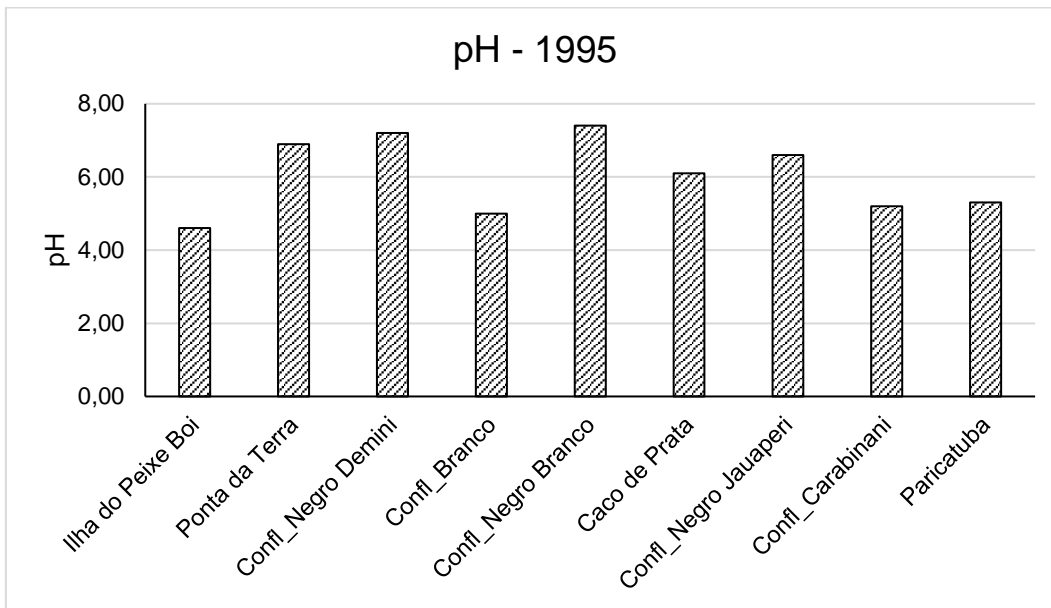
**ANEXO IV-B – Tabela de Dados de Máximas, Médias e Mínimas da rede ORE HYBAM e ANA.**

ORE HYBAM	V (µg/l)			Ni (µg/l)			Rb (µg/l)			Cd			Ba			Pb			U		
	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima
Caco de Prata	0,60	0,38	0,16	0,62	0,57	0,51	3,21	2,24	1,28	0,02	0,01	0,01	9,31	8,66	8,01	0,17	0,10	0,02	0,01	0,01	0,01
Caracarai	5,10	1,33	0,23	7,20	0,56	0,08	8,75	4,56	1,38	0,05	0,01	0,00	94,16	28,40	3,29	5,82	0,27	0,00	0,23	0,04	0,01
Confl_Branco	0,85	0,58	0,30	0,49	0,30	0,11	1,20	1,01	0,81	0,07	0,05	0,02	4,43	4,04	3,66	0,31	0,19	0,07	0,03	0,02	0,02
Confl_Carabinani	0,52	0,52	0,52	0,73	0,73	0,73	1,59	1,59	1,59	0,04	0,04	0,04	7,02	7,02	7,02	0,19	0,19	0,19	0,10	0,10	0,10
Confl_Negro Branco	0,99	0,99	0,99	28,00	0,28	0,28	4,58	4,58	4,58	0,01	0,01	0,01	25,21	25,21	25,21	0,51	0,51	0,51	0,01	0,01	0,01
Confl_Negro Demini	0,65	0,65	0,65	0,40	0,40	0,40	4,01	4,01	4,01	0,01	0,01	0,01	9,03	9,03	9,03	0,08	0,08	0,08	0,01	0,01	0,01
Confl_Negro Jau	0,29	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	1,20	1,20	1,20	0,00	0,00	0,00	6,77	6,77	6,77	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Confl_Negro Jauaperi	0,31	0,28	0,24	0,64	0,46	0,28	2,32	2,31	2,30	0,01	0,00	0,00	13,13	11,22	9,32	0,22	0,14	0,07	0,03	0,02	0,01
Confl_Negro Marie	0,50	0,50	0,50	0,29	0,29	0,29	0,24	0,24	0,24	0,07	0,07	0,07	2,26	2,26	2,26	0,08	0,08	0,08	0,01	0,01	0,01
Cucui	0,33	0,33	0,33	SD	SD	SD	1,41	1,41	1,41	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00	0,12	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05
Cunuri	0,24	0,24	0,24	SD	SD	SD	0,57	0,57	0,57	SD	SD	SD	2,37	2,37	2,37	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ilha do Peixe Boi	0,64	0,64	0,64	0,96	0,96	0,96	1,03	1,03	1,03	0,03	0,03	0,03	3,57	3,57	3,57	0,40	0,40	0,40	0,01	0,01	0,01
Jalauaca	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	2,47	2,47	2,47	0,02	0,02	0,02	8,79	8,79	8,79	SD	SD	SD	0,06	0,06	0,06
Jusante Cachoeira do Caju	0,26	0,26	0,26	0,52	0,52	0,52	0,20	0,20	0,20	SD	SD	SD	1,22	1,22	1,22	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
Missão Icana	0,27	0,27	0,27	0,19	0,19	0,19	0,51	0,51	0,51	0,02	0,02	0,02	1,60	1,60	1,60	0,06	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02
Paricatuba	0,44	0,35	0,28	1,94	0,57	0,14	1,85	1,33	0,99	0,23	0,12	0,02	10,95	7,63	5,71	0,29	0,15	0,04	0,05	0,03	0,02
Ponta da Terra	0,00	0,00	0,00	0,44	0,44	0,44	0,84	0,84	0,84	0,04	0,04	0,04	7,94	7,94	7,94	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
São Felipe	0,32	0,32	0,32	0,13	0,13	0,13	1,00	1,00	1,00	0,01	0,01	0,01	3,54	3,54	3,54	0,09	0,09	0,09	0,03	0,03	0,03
São Gabriel da Cachoeira	0,26	0,26	0,26	SD	SD	SD	0,92	0,92	0,92	SD	SD	SD	3,10	3,10	3,10	0,08	0,08	0,08	0,03	0,03	0,03
Serrinha	3,46	0,67	0,17	3,85	0,24	0,04	7,55	1,53	0,51	0,11	0,01	0,00	104,10	10,06	1,68	3,42	0,28	0,05	0,21	0,03	0,00
Tapera	0,33	0,33	0,33	0,12	0,12	0,12	2,68	2,68	2,68	0,08	0,08	0,08	7,60	7,60	7,60	0,14	0,14	0,14	0,07	0,07	0,07
Taraqua	0,43	0,43	0,43	0,05	0,05	0,05	0,62	0,62	0,62	0,01	0,01	0,01	2,66	2,66	2,66	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

**ANEXO IV-C– Tabela de Dados de Máximas, Médias e Mínimas da rede ORE HYBAM e ANA.**

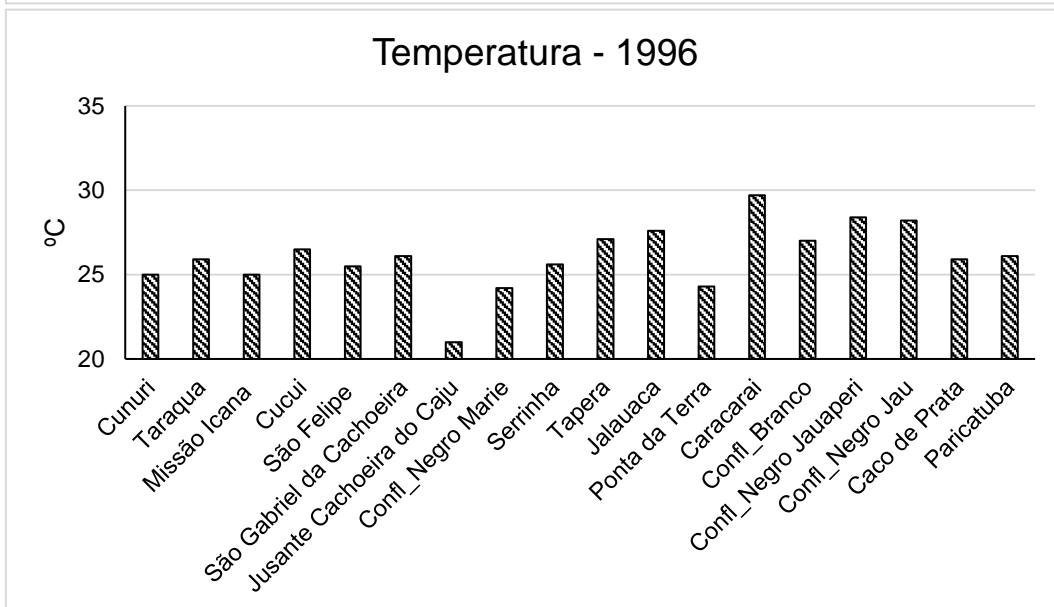
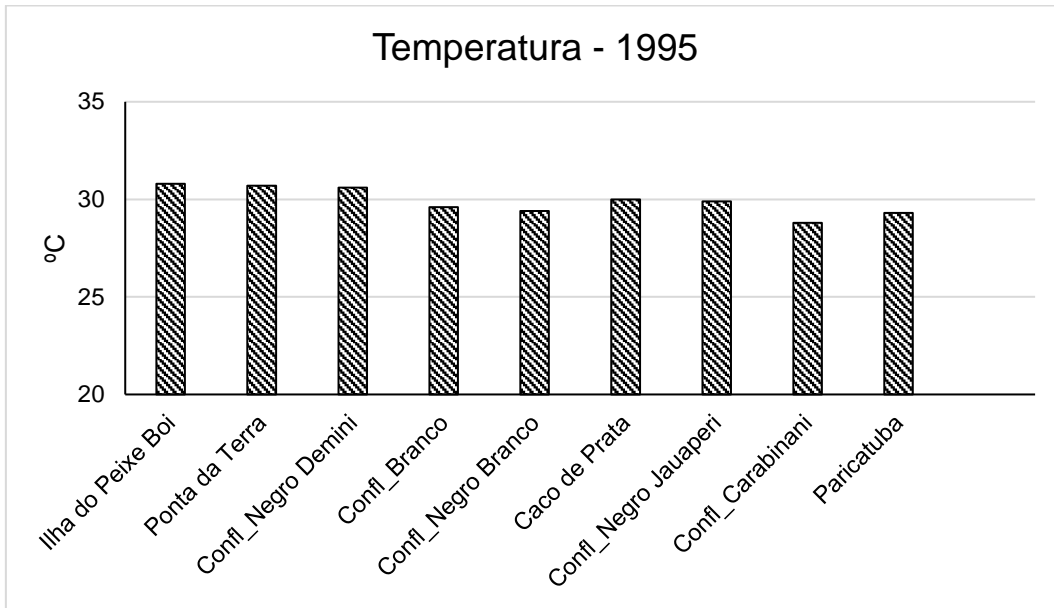
ORE HYBAM	Cr			As			Ti			Zr			Sn		
Estação	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima
Caco de Prata	SD	SD	SD	0,06	0,06	0,06	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Caracarai	2,16	0,45	0,04	0,65	0,10	0,03	23,35	2,64	0,11	0,58	0,10	0,00	0,38	0,03	0,00
Confl_Branco	SD	SD	SD	0,00	0,00	0,00	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Confl_Carabinani	SD	SD	SD	0,10	0,10	0,10	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Confl_Negro Branco	SD	SD	SD	0,09	0,09	0,09	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Confl_Negro Demini	SD	SD	SD	0,00	0,00	0,00	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Confl_Negro Jau	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Confl_Negro Jauaperi	SD	SD	SD	0,00	0,00	0,00	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Confl_Negro Marie	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Cucui	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Cunuri	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Ilha do Peixe Boi	SD	SD	SD	0,00	0,00	0,00	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Jalauaca	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Jusante Cachoeira do Caju	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Missão Icana	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Paricatuba	8,87	3,40	0,37	0,04	0,04	0,04	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Ponta da Terra	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
São Felipe	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
São Gabriel da Cachoeira	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Serrinha	4,57	0,30	0,07	1,00	0,09	0,02	19,37	2,33	0,01	1,40	0,14	0,05	0,01	0,01	0,00
Tapera	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Taraqua	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

**ANEXO V-A – Análise espacial do pH, campanhas de 1995 e 1996.**

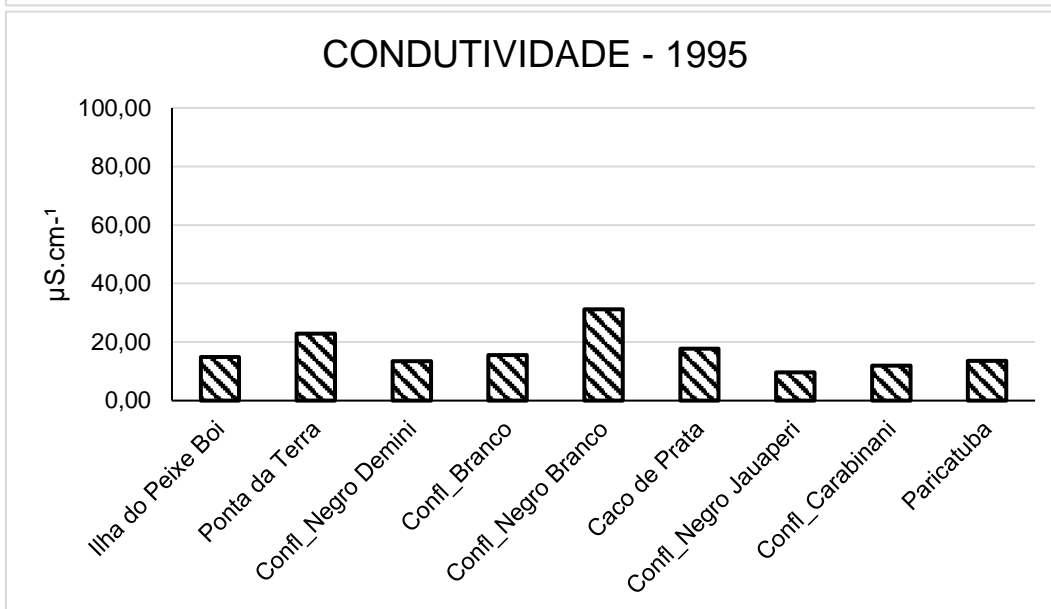
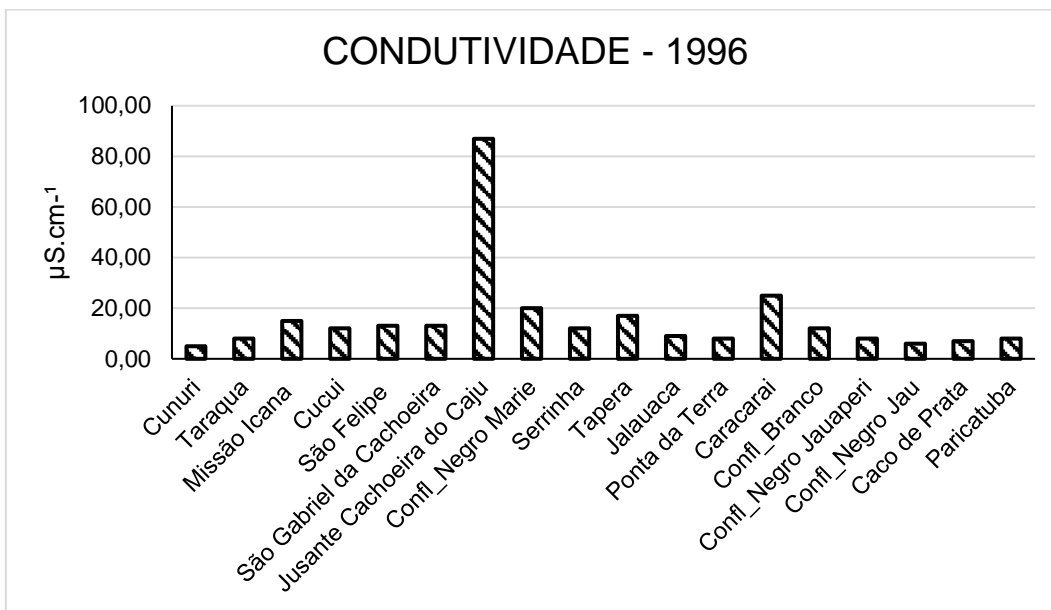




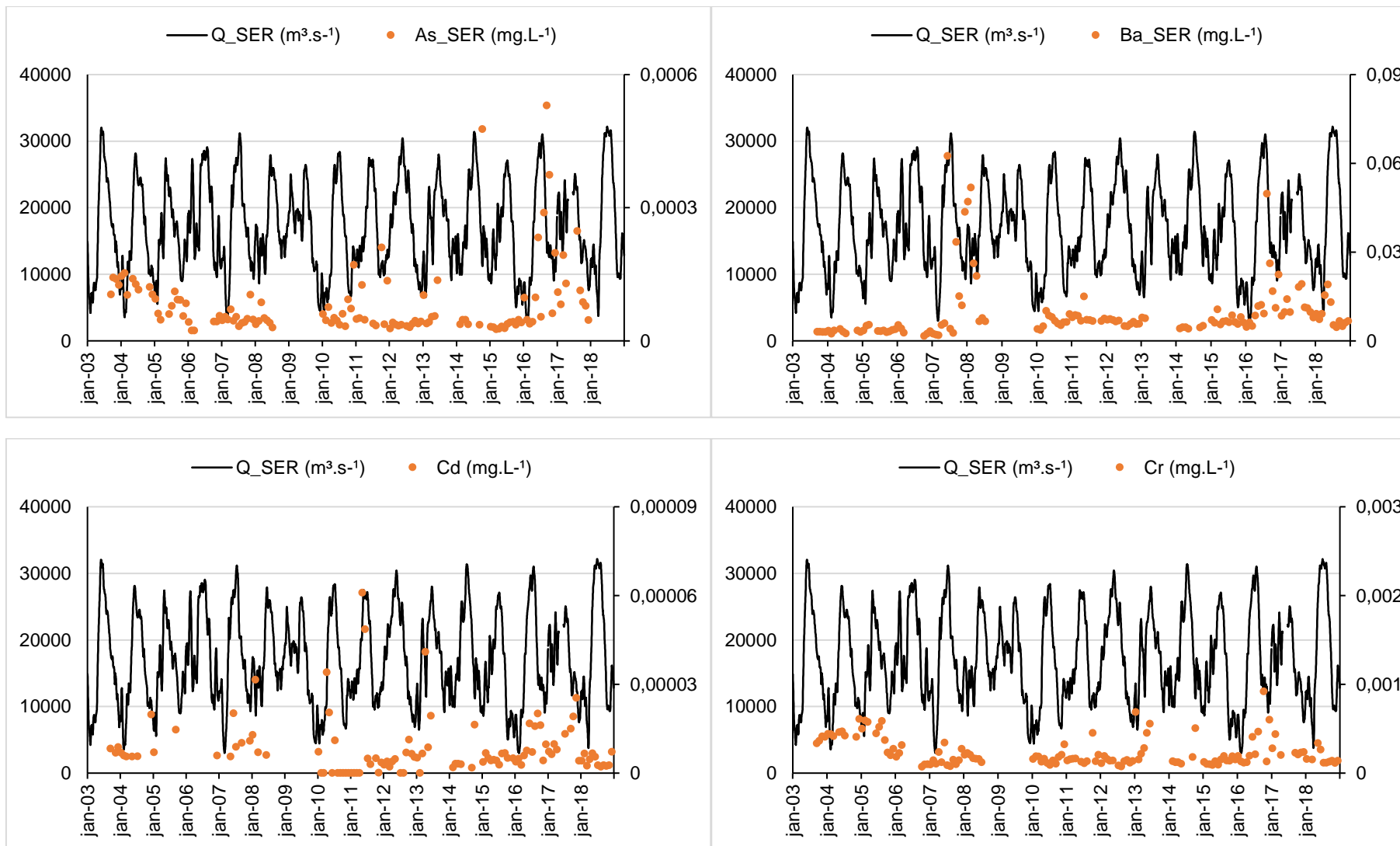
**ANEXO V-B – Análise espacial da Temperatura, campanhas de 1995 e 1996.**



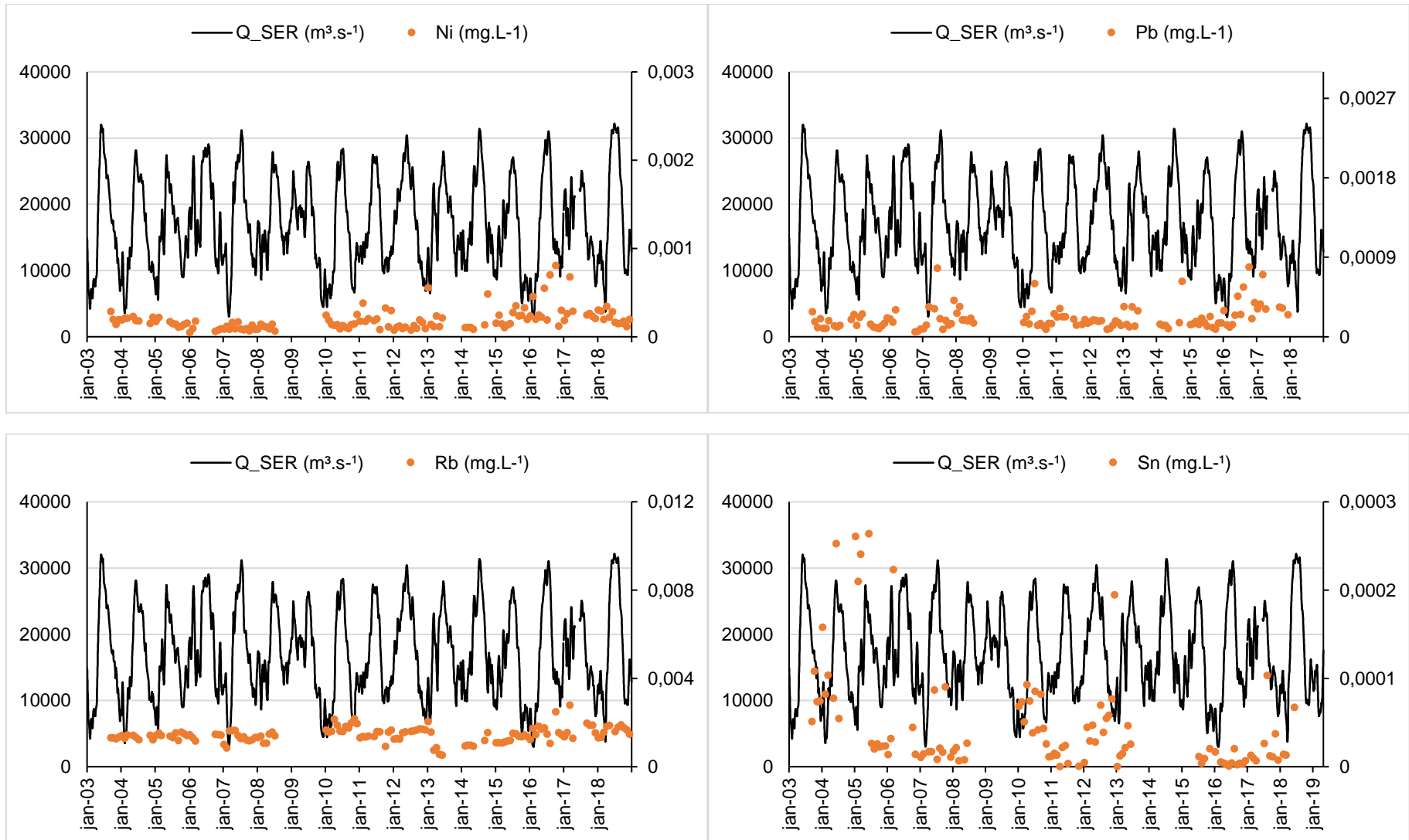
**ANEXO V-C – Análise espacial da Condutividade, campanhas de 1995 e 1996.**



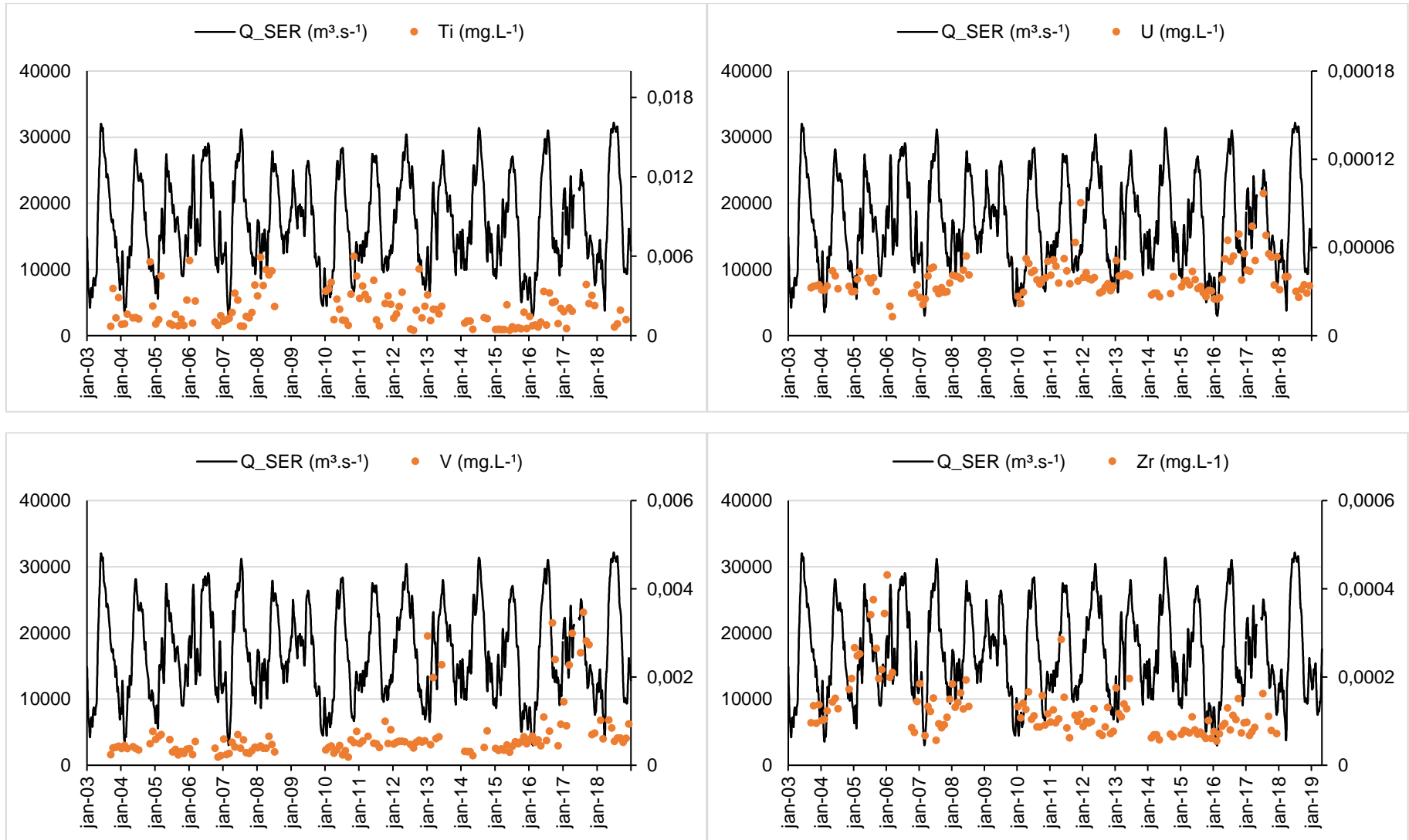
**ANEXO VI-A – Elementos-traço – Concentração de As, Ba, Cd e Cr na estação Serrinha**



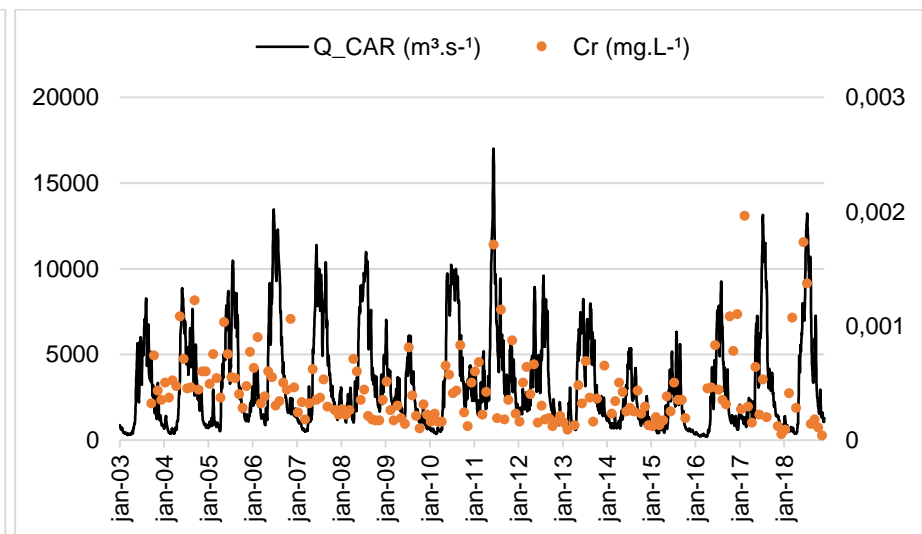
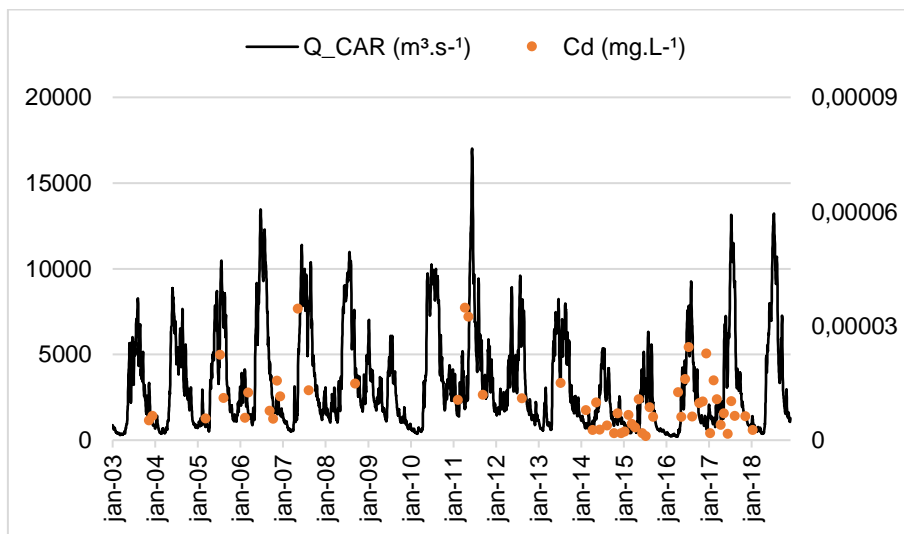
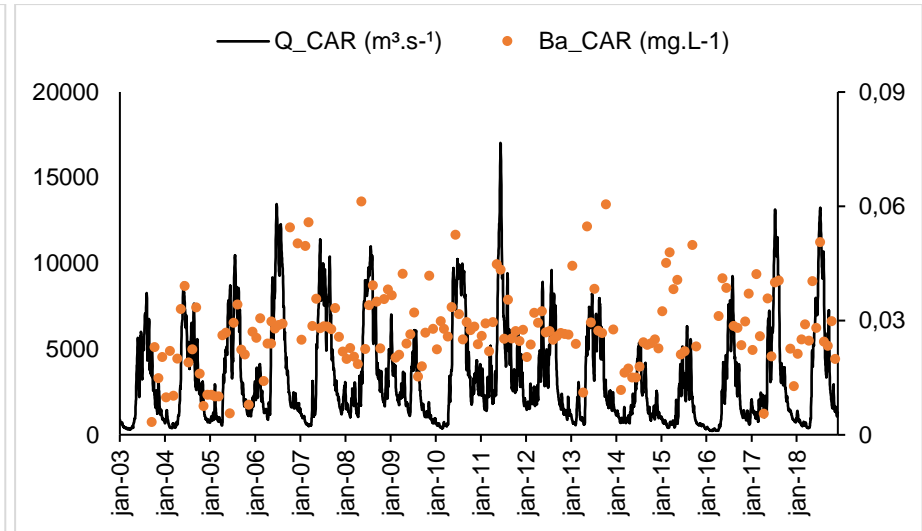
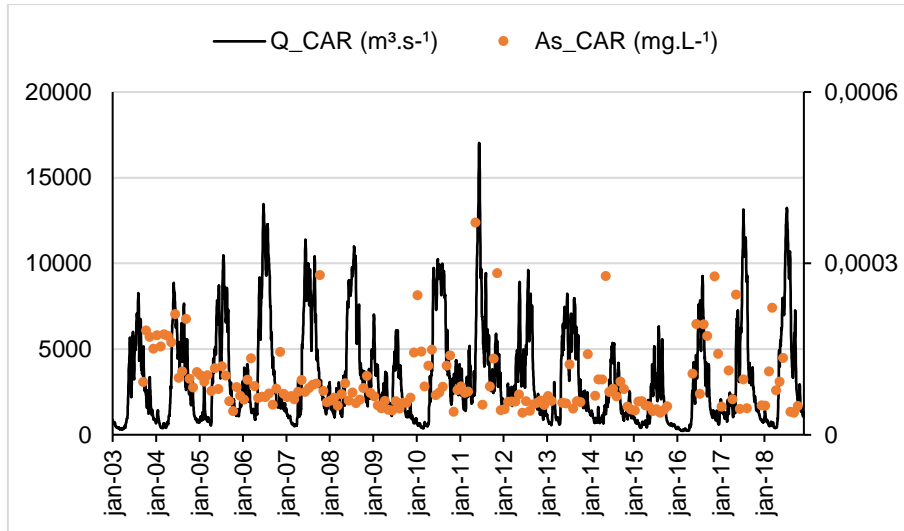
### ANEXO VI-B – Elementos-traço – Concentração de Ni, Pb, Rb e Sn na estação Serrinha



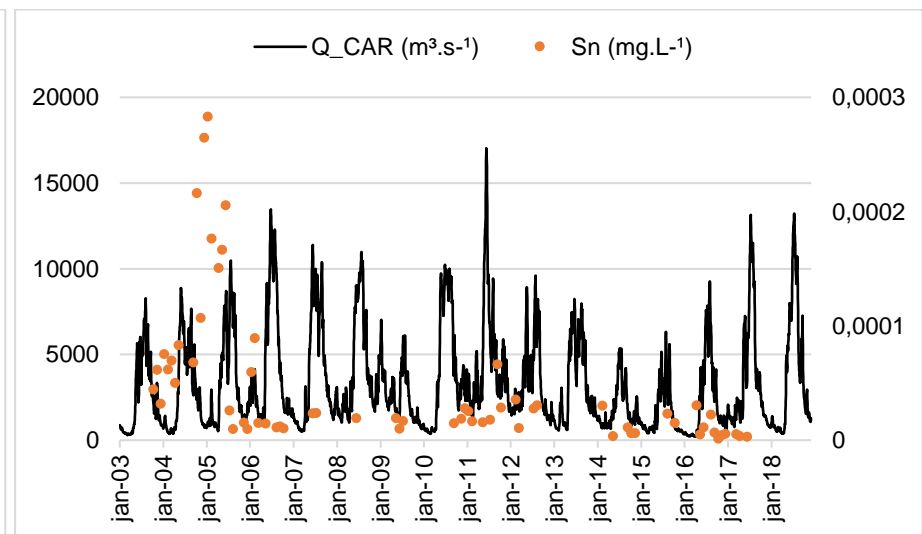
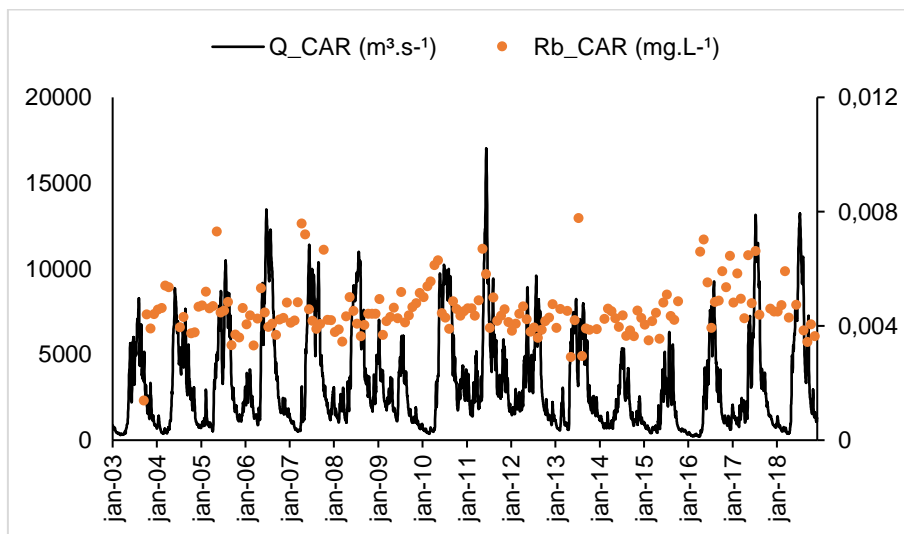
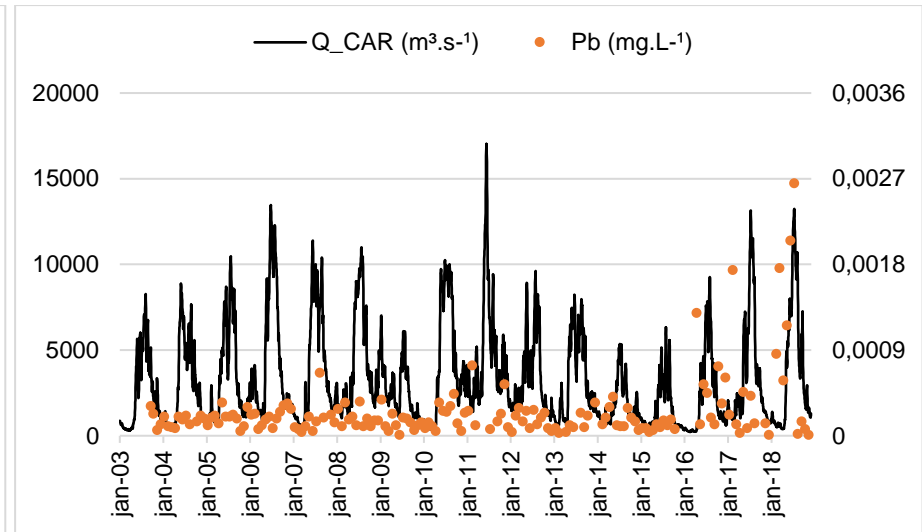
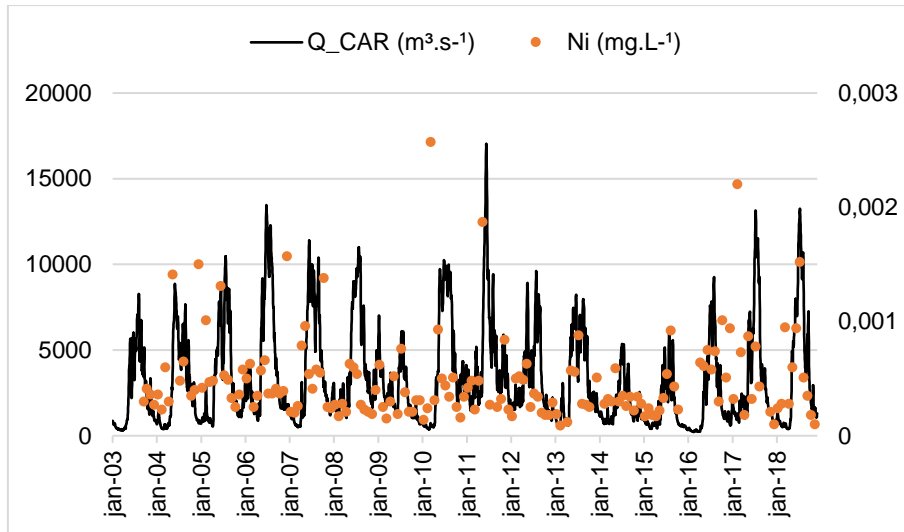
**ANEXO VI-C – Elementos-traço – Concentração de Ti, U, V e Zr na estação Serrinha**



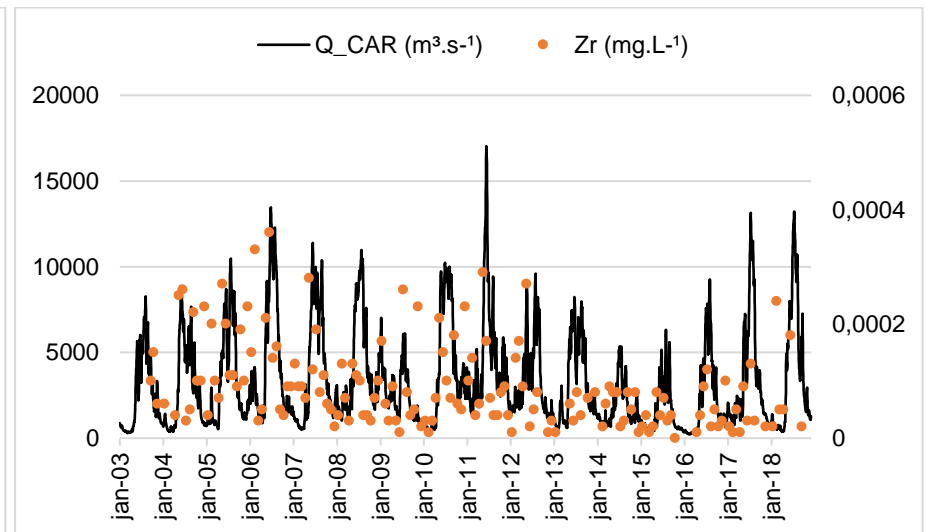
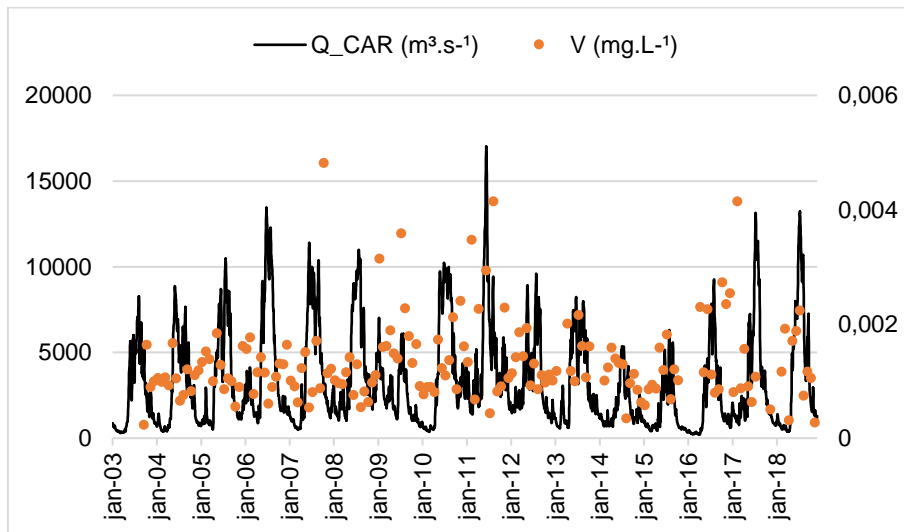
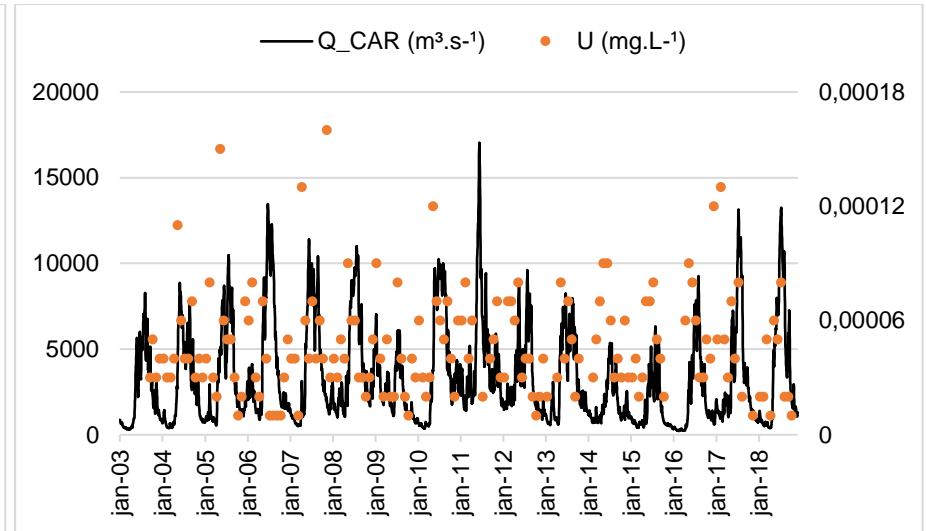
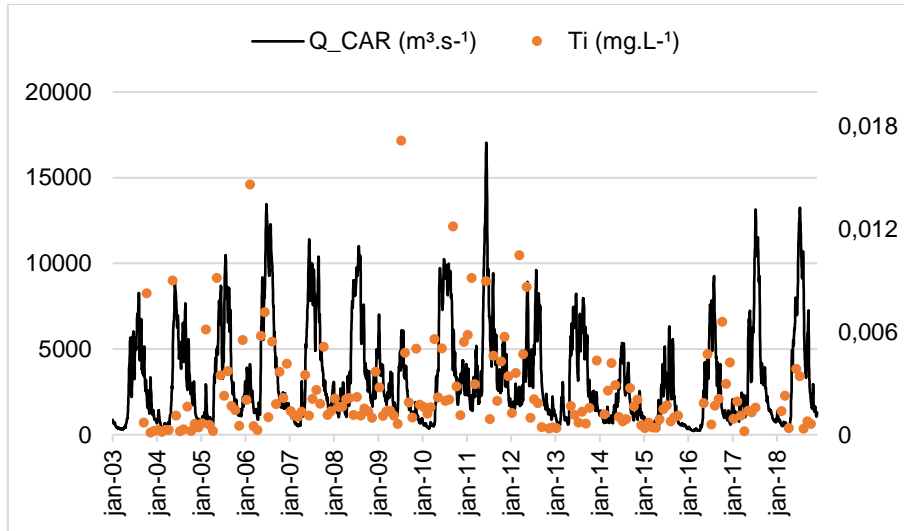
**ANEXO VII-A – Elementos-traço – Concentração de As, Ba, Cd e Cr na estação Caracaráí**



**ANEXO VII-B – Elementos-traço – Concentração de Ni, Pb, Rb e Sn na estação Caracaraí**

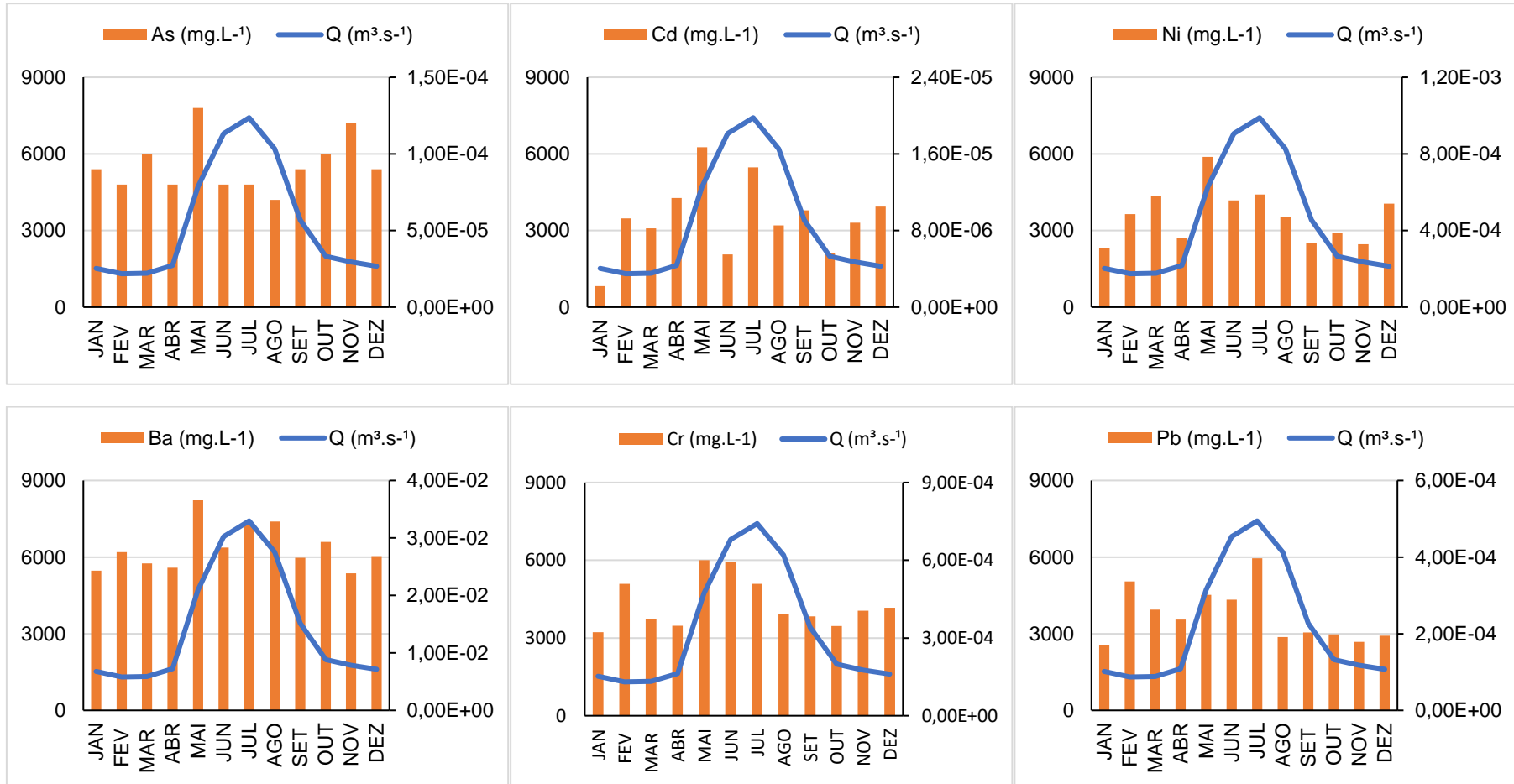


**ANEXO VII-C – Elementos-traço – Concentração de Ti, U, V e Zr na estação Caracaraí**

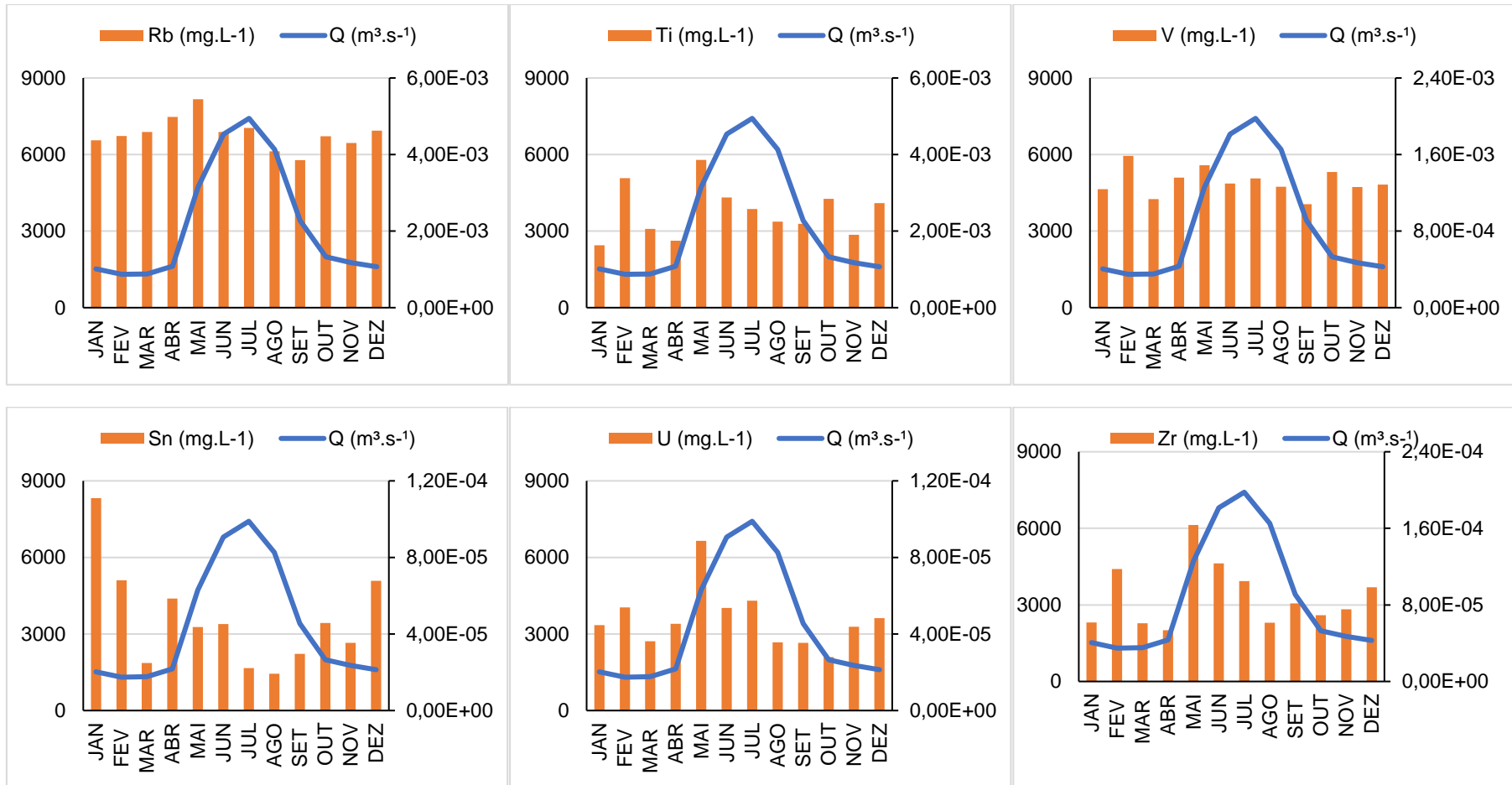




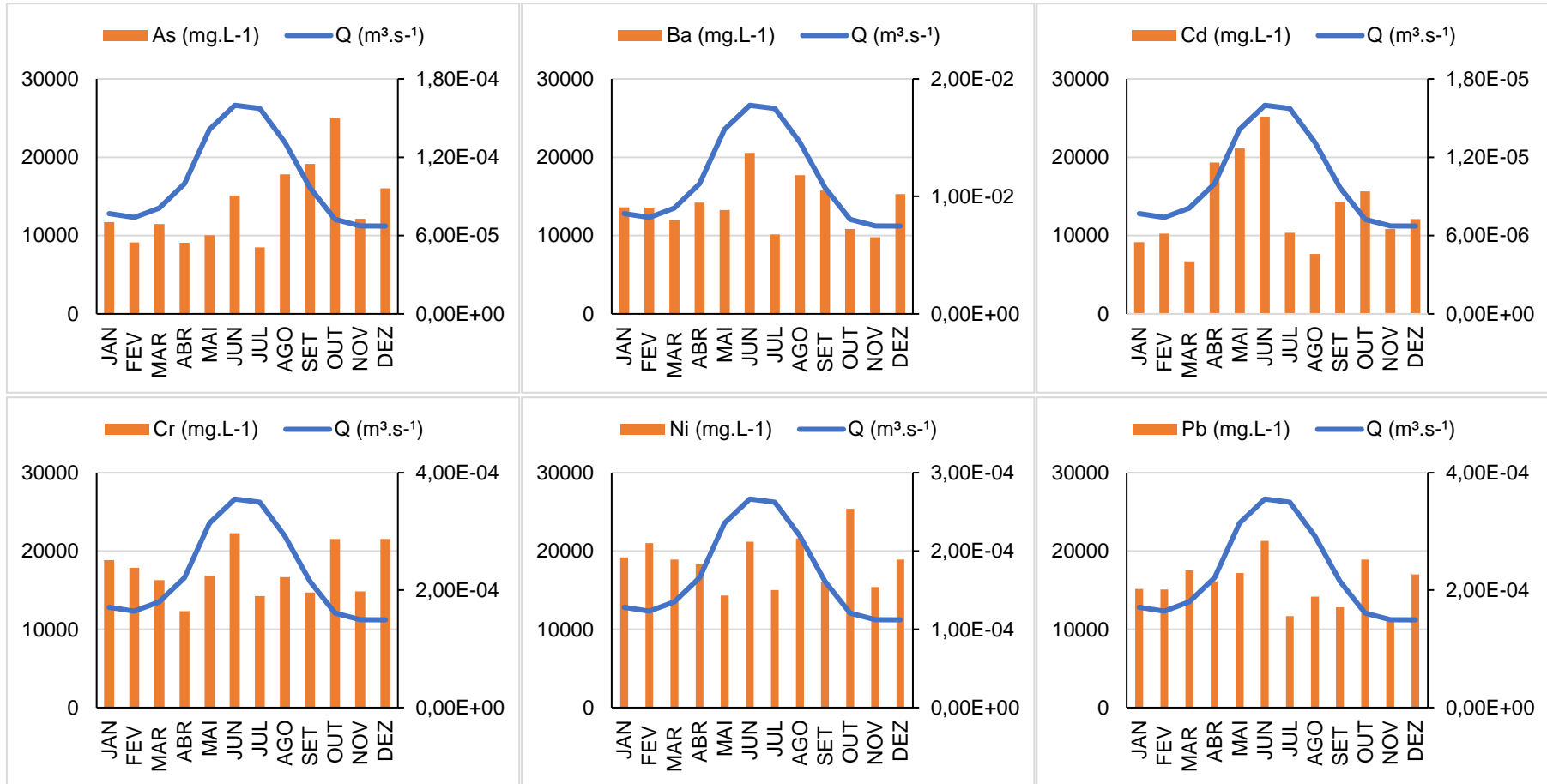
**ANEXO VIII-A – Elementos-traço – Concentração de As, Cd, Ni, Ba, Cr e Pb na estação Caracaraí**



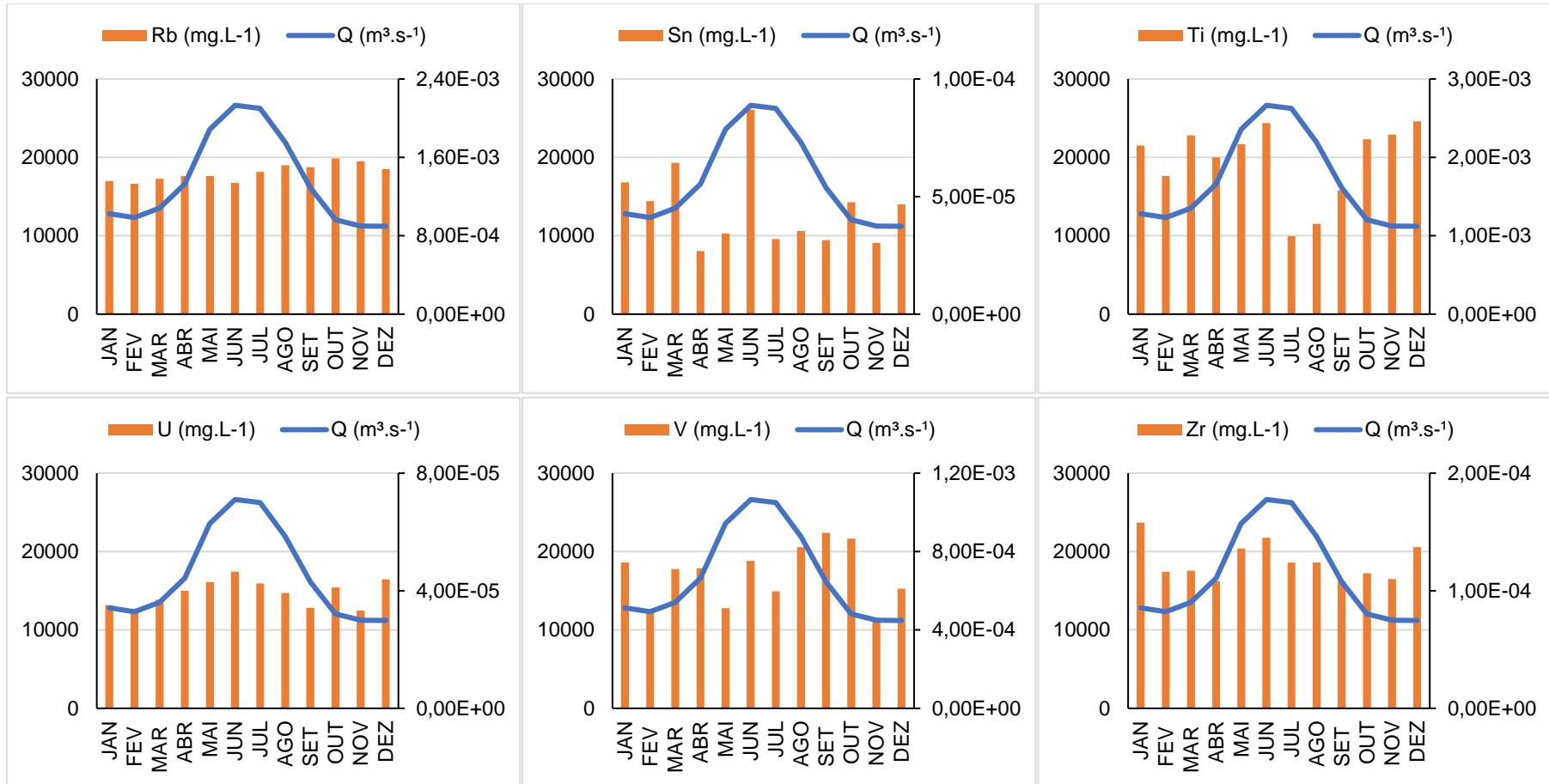
**ANEXO VIII-B – Elementos-traço – Concentração de Rb, Ti, V, Sn, U e Zr na estação Caracaraí**



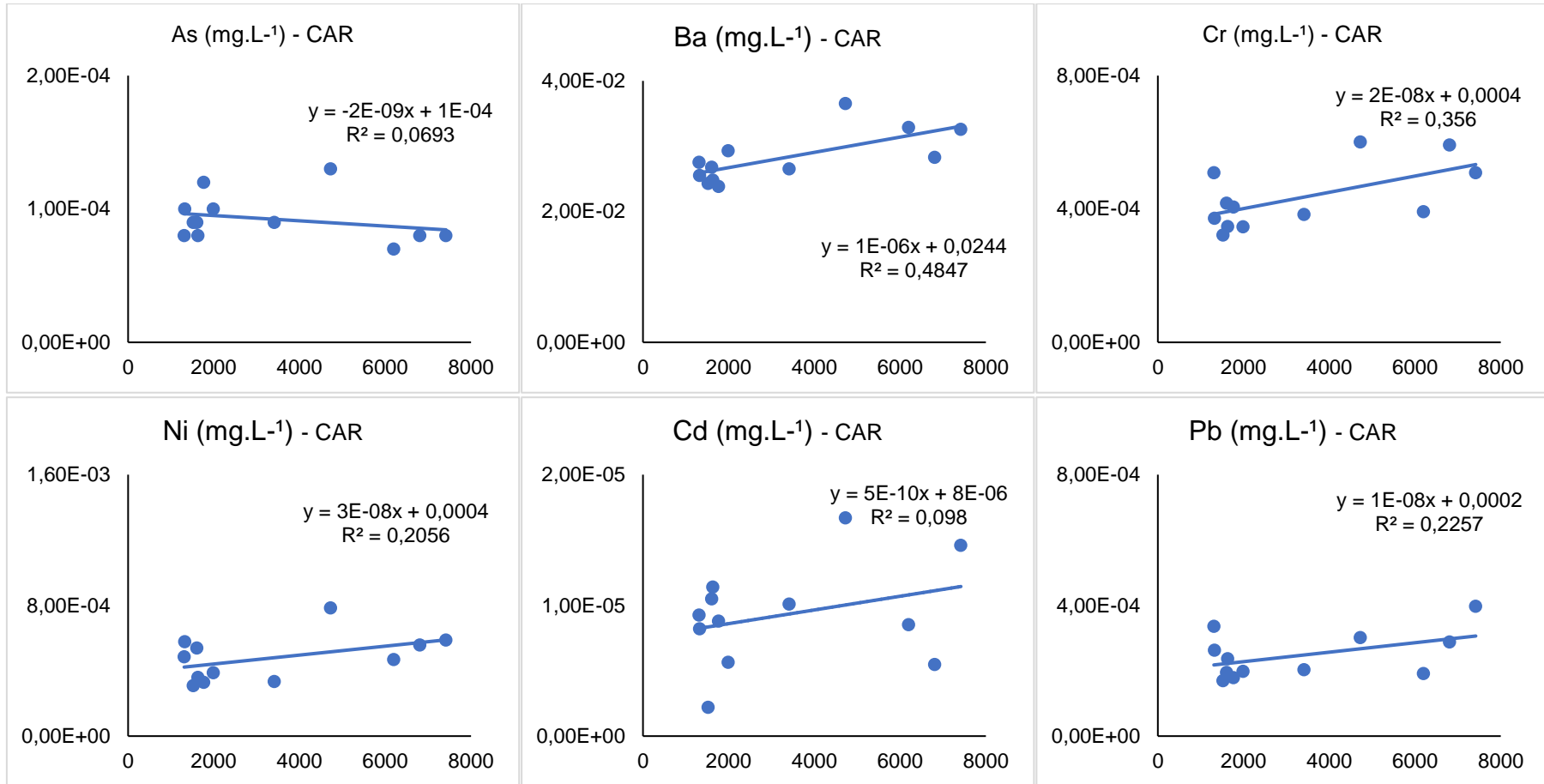
**ANEXO IX-A – Elementos-traço – Concentração de As, Cd, Ni, Ba, Cr e Pb na estação Serrinha**



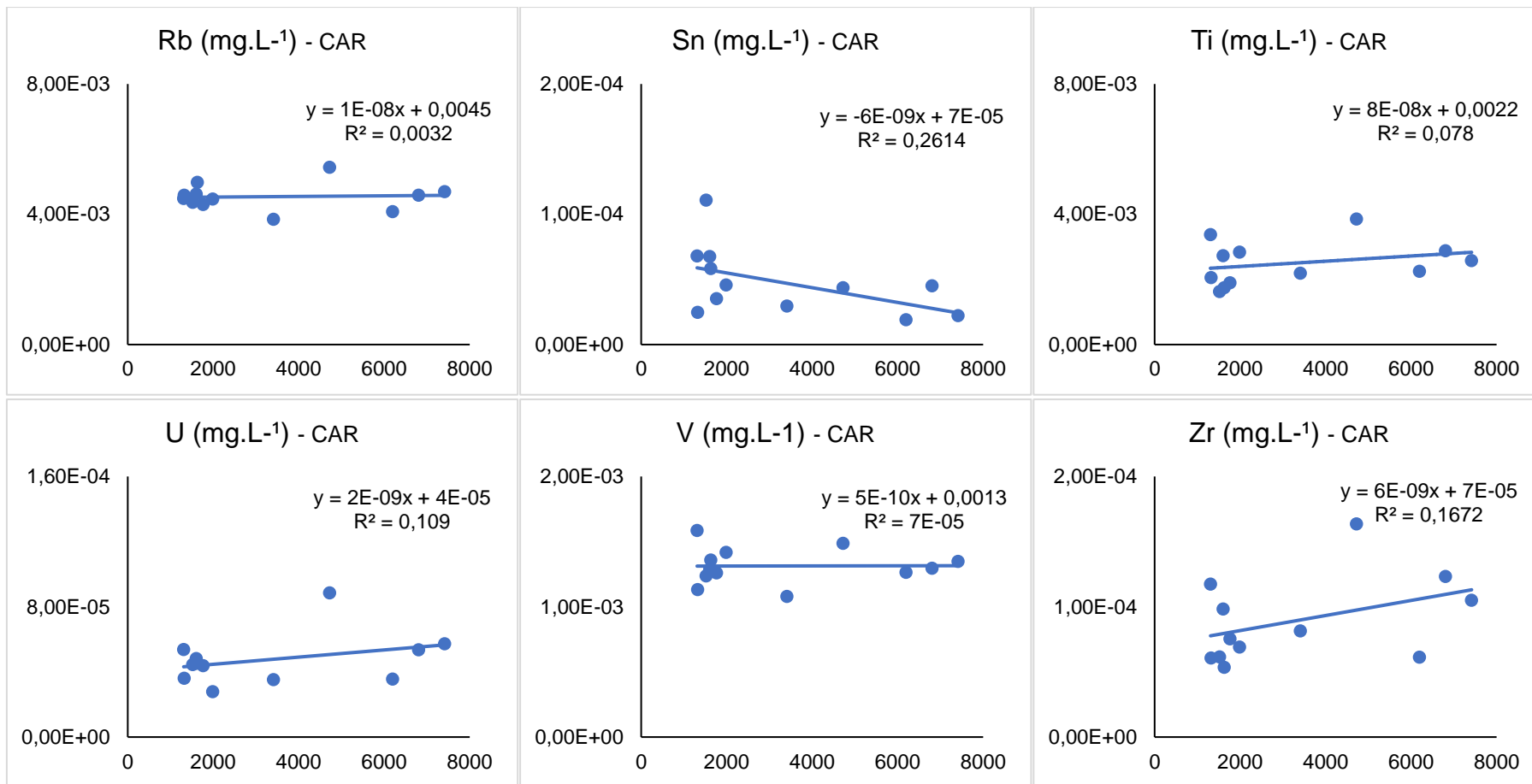
**ANEXO IX-B – Elementos-traço – Concentração de Rb, Ti, V, Sn, U e Zr na estação Serrinha**



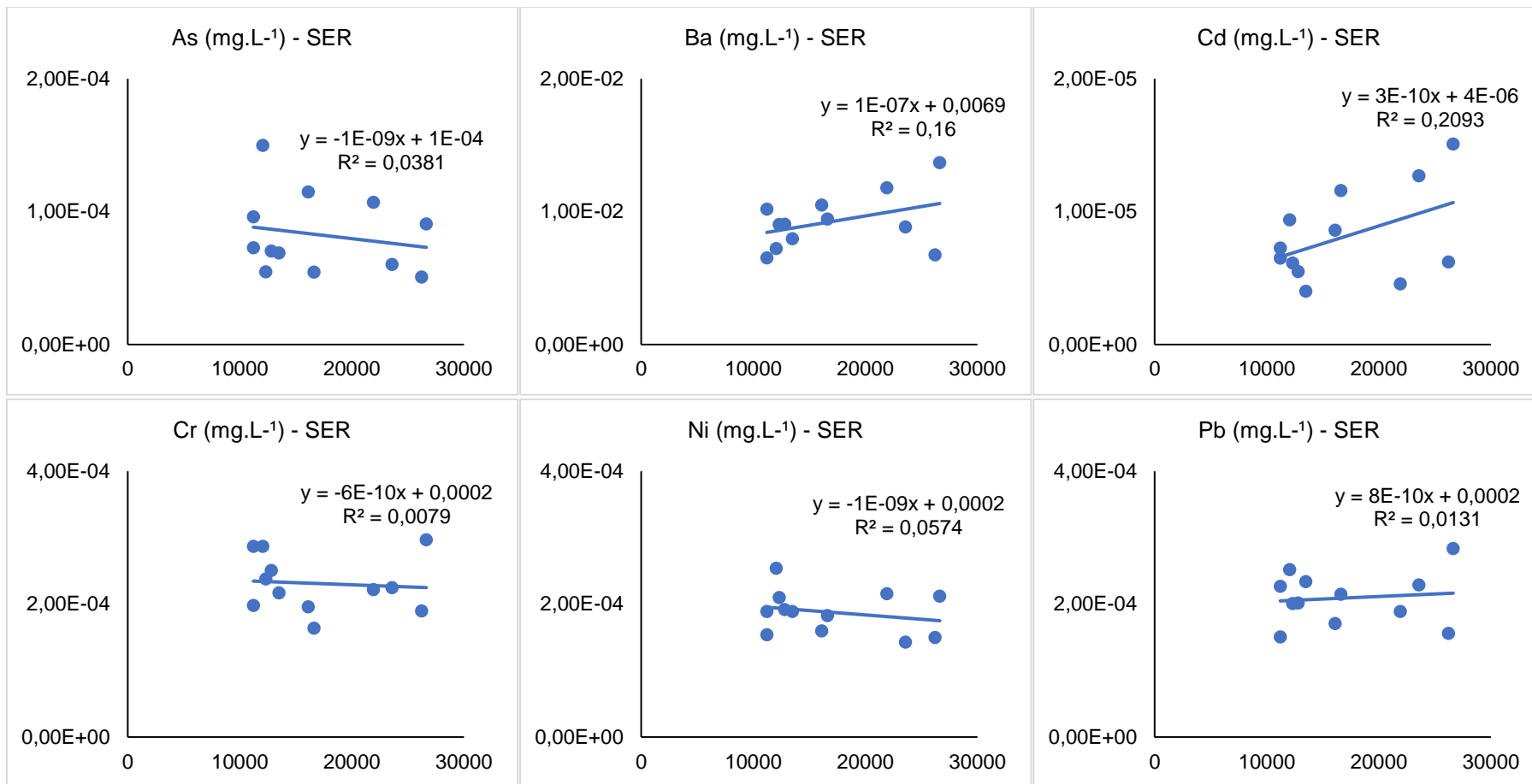
**ANEXO X-A – Elementos-traço – Correlação Linear de As, Cd, Ni, Ba, Cr e Pb na estação Caracaraí**



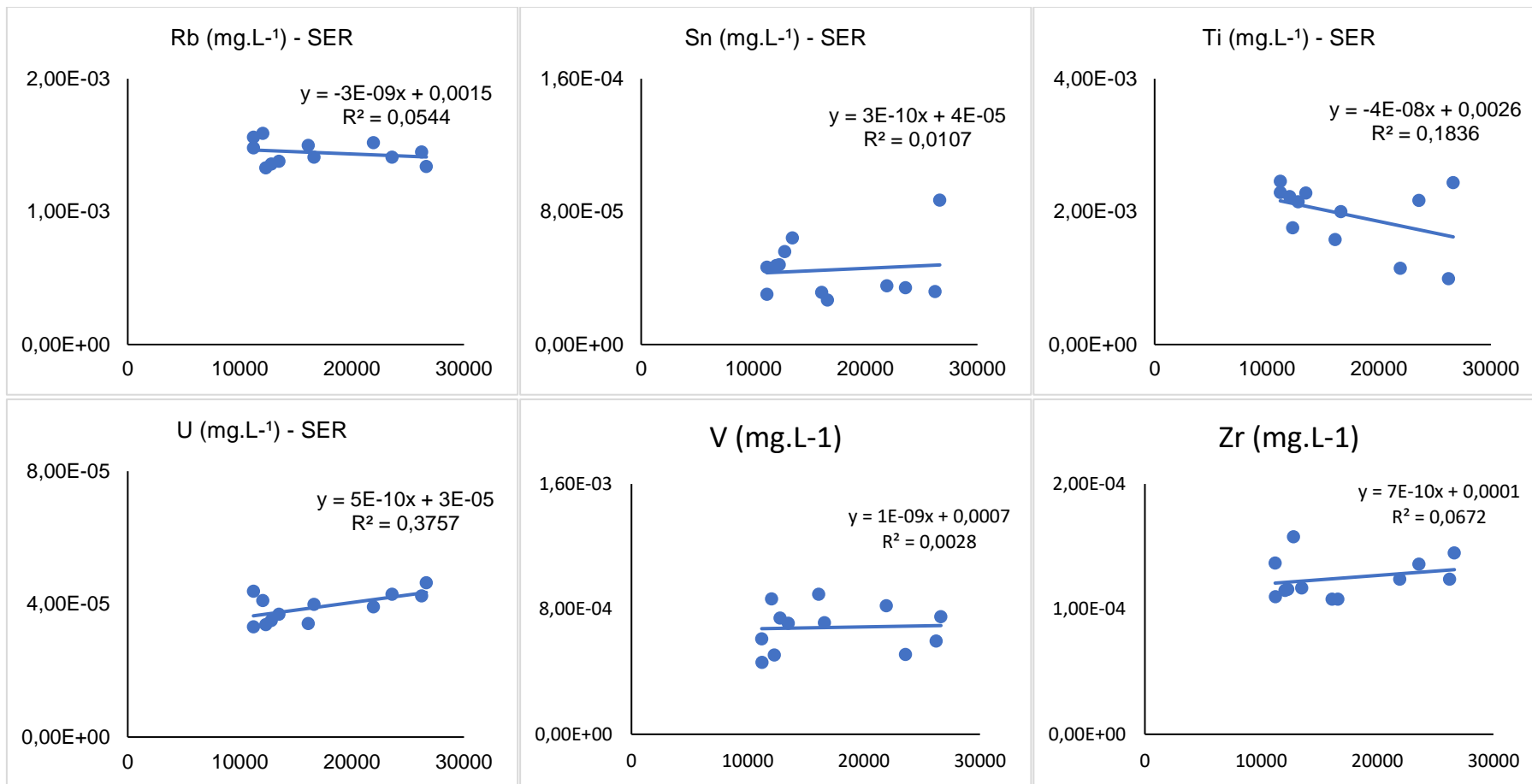
**ANEXO X-B – Elementos-traço – Correlação Linear de Rb, Ti, V, Sn, U e Zr na estação Caracaraí**



**ANEXO XI-A – Elementos-traço – Correlação Linear de As, Cd, Ni, Ba, Cr e Pb na estação Serrinha**

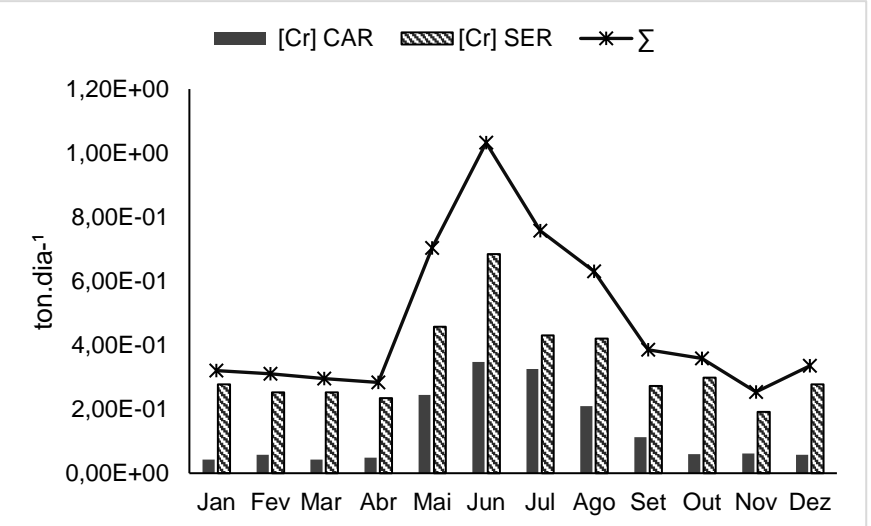
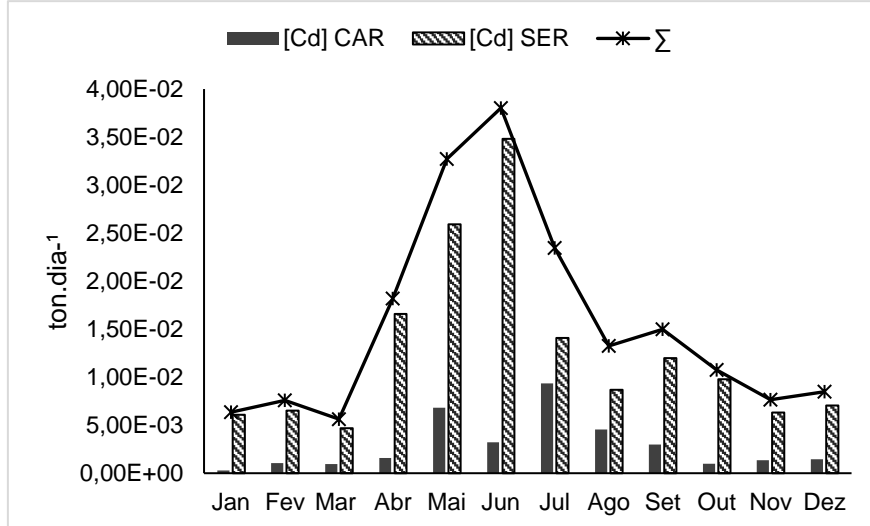
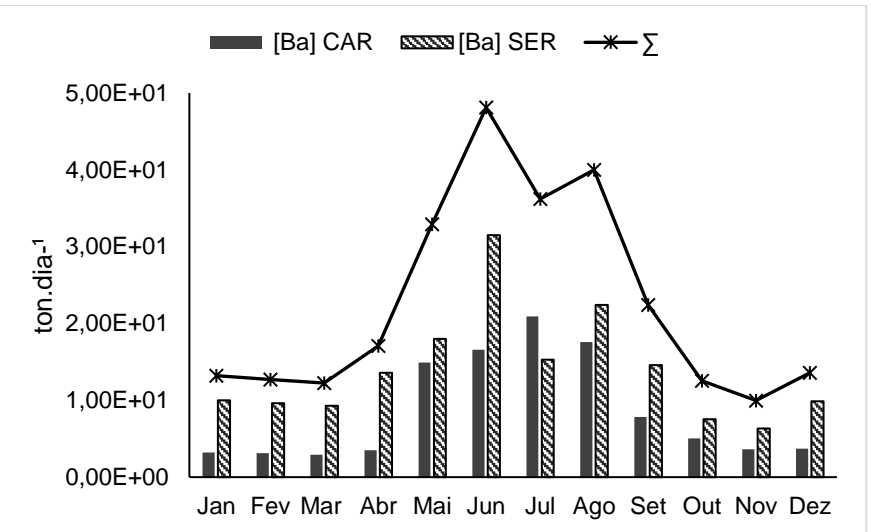
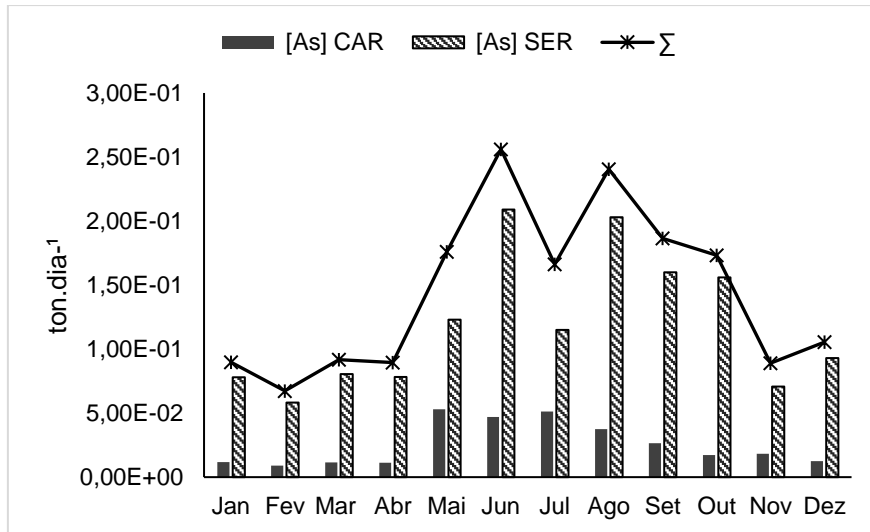


**ANEXO XI-B – Elementos-traço – Correlação Linear de Rb, Ti, V, Sn, U e Zr na estação Serrinha**

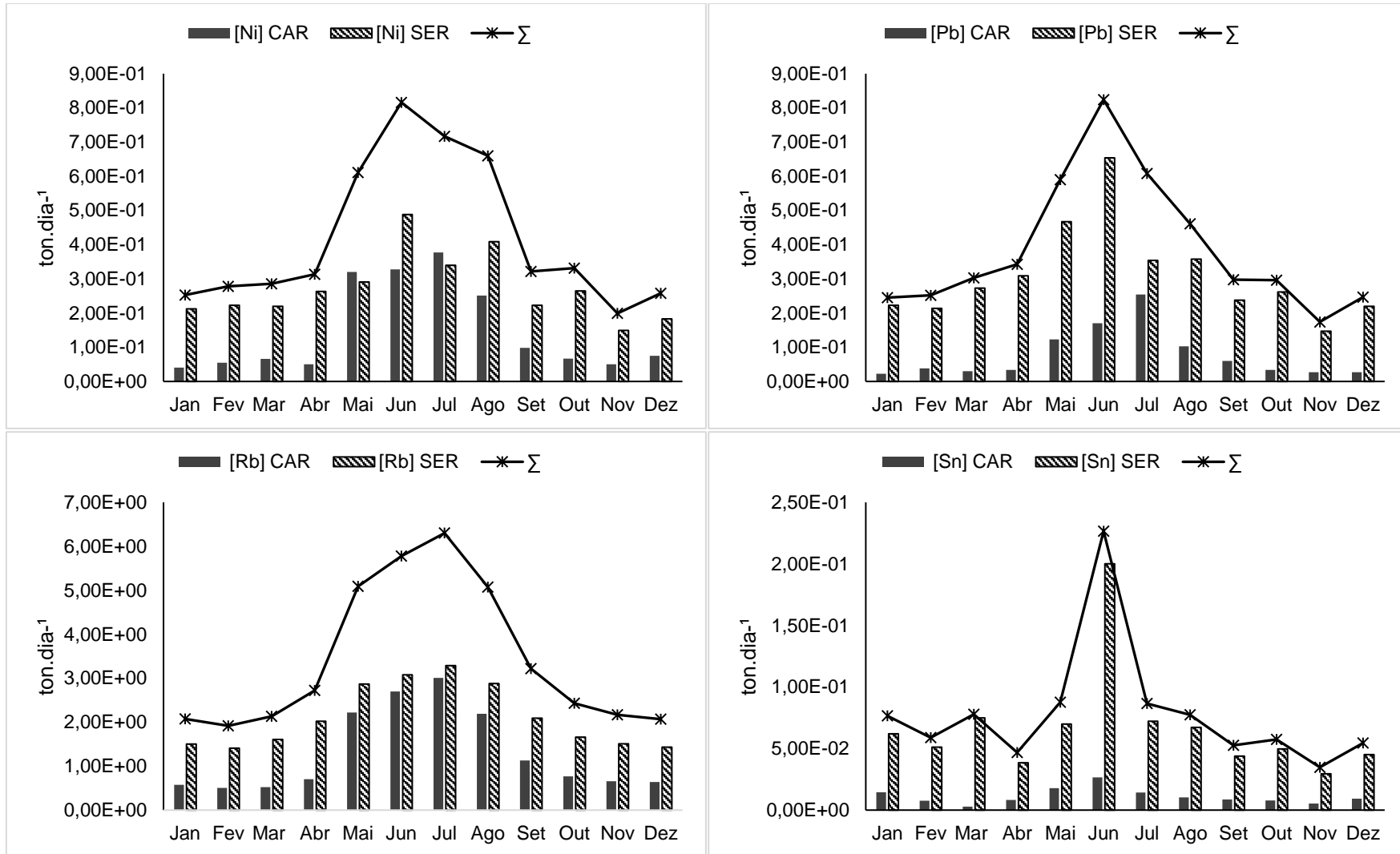




**ANEXO XII-A – Fluxo de Elementos-traço [Qs] – As, Cd, Ba e Cr nas estações de Serrinha e Caracarái**



**ANEXO XII-B – Fluxo de Elementos-traço [Qs] – Ni, Rb, Pb e Sn nas estações de Serrinha e Caracaraí**



**ANEXO XII-C – Fluxo de Elementos-traço [Qs] – Ti, V, U e Zr nas estações de Serrinha e Caracaraí**

