



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE RONDÔNIA

**MAYK DA SILVA SALES**

**DINÂMICA DO MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO NA  
ÁGUA DO MÉDIO RIO MACHADO E PRINCIPAIS  
AFLUENTES (RONDÔNIA)**

Ji-Paraná - RO  
2020

**PROFÁGUA - MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE  
NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**

**ProfÁgua**



*Campus Ji-Paraná*

**MAYK DA SILVA SALES**

**DINÂMICA DO MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO NA  
ÁGUA DO MÉDIO RIO MACHADO E PRINCIPAIS  
AFLUENTES (RONDÔNIA)**

Dissertação apresentada ao PROFÁGUA – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação Dos Recursos Hídricos, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos.

Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Ferramentas Aplicadas aos Instrumentos de Gestão

Orientador: Ronaldo de Almeida

Co-orientador: Elisabete Lourdes do Nascimento

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Fundação Universidade Federal de Rondônia  
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

---

S163d Sales, Mayk da Silva.

Dinâmica do mercúrio total e metilmercúrio na água do médio Rio Machado e principais afluentes (Rondônia) / Mayk da Silva Sales. -- Ji-Paraná, RO, 2020.

132 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Ronaldo de Almeida

Coorientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento.

Dissertação ((Prof<sup>g</sup>ua) ) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Amazônia. 2.Gestão de recursos hídricos. 3.Unidades de Conservação.  
I. Almeida, Ronaldo de. II. Título.

CDU 556.18

---

Bibliotecário(a) Alex Almeida

CRB 11.853



MINISTERIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

CERTIFICADO

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**Título da dissertação:** DINÂMICA DO MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO NA ÁGUA DO MÉDIO RIO MACHADO E PRINCIPAIS AFLUENTES (RONDÔNIA)

**Autor:** Mayk da Silva Sales

**Orientador:** Ronaldo de Almeida

**Co-orientador:** Elisabete Lourdes do Nascimento

A presente dissertação foi aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área de concentração: INSTRUMENTOS DA POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS, pela Comissão examinadora:

Prof. Dr. Ronaldo de Almeida – Prof. Água/UNIR Orientador (presidente)

Prof. Dr. Alex Mota dos Santos- Universidade Federal de Goiás-UFG (Membro externo)

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos-Prof. Água/UNIR (Membro interno)

Ji-Paraná, 16 de outubro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **RONALDO DE ALMEIDA, Docente**, em 16/10/2020, às 18:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alex Mota dos Santos, Usuário Externo**, em 16/10/2020, às 18:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MAYK DA SILVA SALES, Membro de Comissão**, em 16/10/2020, às 19:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

[https://sei.unir.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_imprimir\\_web&acao\\_origem=arvore\\_visualizar&id\\_documento=607243&infra\\_sistema=10000...](https://sei.unir.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=607243&infra_sistema=10000...) 1/2





Documento assinado eletronicamente por **WANDERLEY RODRIGUES BASTOS, Docente**, em 18/10/2020, às 10:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.unir.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0517737** e o código CRC **BDE3EE47**.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família que me incentivou a ingressar no mestrado e por tudo que eles representam pra mim, os valores e princípios que carrego comigo. Minha noiva pela compreensão. Aos meus orientadores pelas suas contribuições e disposição em me orientar.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, sabedoria tudo o mais que Ele me proporcionou até este momento. Por ter me proporcionado uma jornada segura em cada trajeto percorrido para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço aos meus pais, irmão e noiva por todo apoio emocional concedido. Agradeço os meus professores por cada conhecimento compartilhado. Também agradeço aos meus amigos do mestrado que juntos sei que promovemos um avanço significativo para a gestão dos recursos hídricos em Rondônia.

Agradeço aos meus orientadores Ronaldo de Almeida e Elisabete Lourdes do Nascimento pelas valiosas contribuições a este trabalho.

Aos gestores da Reserva Biológica do Jaru pelo apoio logístico, acomodação na base e atenção para com os pesquisadores que visitam a Unidade de Conservação.

Apoio analítico dos laboratórios de Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer (UNIR, Campus de Porto Velho), Laboratório de Limnologia e Microbiologia (UNIR, Campus de Ji-Paraná), bem como às equipes dos referidos laboratórios.

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015. Ao *campus* Ji-Paraná da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

## **EPÍGRAFE**

O temor do Senhor é o princípio da sabedoria, e o conhecimento do Santo a prudência.

Provérbios 9:10

## RESUMO

Na região da Amazônica o mercúrio (Hg) é encontrado nos solos e água e tem como forma de dispersão processos naturais e antropogênicos de deposições ao longo dos séculos. O mercúrio pode ser remobilizado dos solos para os ambientes aquáticos. Por ser um elemento químico com alto poder de biomagnificação, o Hg pode concentrar-se na biota aquática a níveis superiores aqueles recomendados como seguro para o consumo humano, como é o caso do pescado. Desta forma, compreender a distribuição espacial do mercúrio nas águas da bacia do Médio Rio Machado (RO) torna-se importante uma vez que parte desta área compreende a Unidade de Conservação Reserva Biológica do Jaru com sede nas coordenadas 10° 4' 8,86"S e 61°58'17,08"O e área agrícolas com alto grau de remoção de cobertura vegetal. O estudo considerou o ciclo hidrológico como referência temporal e para distribuição espacial 13 pontos no trecho que inclui os principais afluentes do Médio Rio Machado, sendo selecionados 4 corpos hídricos da margem esquerda e 6 corpos hídricos da margem direita e 3 do Rio Machado. A concentração de mercúrio total (Hg) foi determinada por espectrofotometria de fluorescência atômica (AFS) e o metilmercúrio (MeHg) foi determinado por espectrofotometria de fluorescência atômica acoplado ao cromatógrafo gasoso (GC-AFS). As análises foram conforme as metodologias adotadas por *American Public Health Association* (APHA), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para os parâmetros físico-químicos e *Environmental Protection Agency* (EPA) para mercúrio total (HgT) e metilmercúrio na água. Para análise de cobertura da terra foram utilizados os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com os dados de classificação de cobertura da terra do ano de 2018 disponibilizados pelo MapBiomas. Os resultados mostram que a menor concentração de mercúrio total na água foi encontrada no Rio Tarumã (REBIO Jaru) com valor de 0,90 ng.L<sup>-1</sup>. O maior valor foi verificado de HgT no Rio Machado foi 34,38 ng.L<sup>-1</sup>, valor este que é menor do que o máximo estabelecido pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente n° 357/05 para os corpos hídricos de água doce classes 1 e 2. As concentrações de metilmercúrio variaram de 0,01 ng.L<sup>-1</sup> a 0,66 ng.L<sup>-1</sup> para o Igarapé dos Milagres e Igarapé Azul, respectivamente. As diferenças sazonais que foram significativas para o metilmercúrio durante o período das águas altas quando comparados os afluentes da margem direita (0,06 ng.L<sup>-1</sup>) com o Rio Machado (0,10 ng.L<sup>-1</sup>) e afluentes da margem esquerda (0,12 ng.L<sup>-1</sup>) e direita neste mesmo período. No período da enchente os afluentes da margem direita (0,21 ng.L<sup>-1</sup>) e Rio Machado (0,12 ng.L<sup>-1</sup>). Enquanto o mercúrio

total não apresentou diferença estatística entre os períodos sazonais. Portanto, constata-se que a REBIO Jaru desempenha seu papel ambiental na preservação dos recursos hídricos de Rondônia, alinhada com Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6.

**Palavras-chave:** Amazônia, Gestão de recursos hídricos, Unidades de Conservação.

## ABSTRACT

In the Amazon region, mercury (Hg) is found in soils and water and disperses natural and anthropogenic deposition processes over the centuries. Mercury can be remobilized from soils to aquatic environments. Because it is a chemical element with a high biomagnifying power, Hg can be concentrated in aquatic biota at levels higher than those recommended as safe for human consumption, as is the case with fish. Thus, understanding the spatial distribution of mercury in the waters of the Middle Rio Machado (RO) basin becomes important since part of this area comprises a Jaru Biological Reserve Conservation Unit based on the coordinates  $10^{\circ} 4' 8,86'' S$  e  $61^{\circ} 58' 17,08'' O$  and agricultural area with a high degree of removal of vegetation cover. The study considered the hydrological cycle as a temporal reference and for spatial distribution 13 points in the stretch that includes the main tributaries of the Middle Rio Machado, being selected 4 water bodies from the left bank and 6 water bodies from the right bank and 3 from the Rio Machado. The concentration of total mercury (Hg) was determined by atomic fluorescence spectrophotometry (AFS) and methylmercury (MeHg) was determined by atomic fluorescence spectrophotometry coupled to the gas chromatograph (GC-AFS). The analyzes were in accordance with the methodologies adopted by the American Public Health Association (APHA), the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) for the physical-chemical parameters and the Environmental Protection Agency (EPA) for total mercury (HgT) and methylmercury in water. For land cover analysis, Geographic Information Systems (GIS) were used with the 2018 land cover classification data provided by MapBiomas. The results show that the lowest concentration of total mercury in water was found in the Tarumã River (REBIO Jaru) with a value of  $0.90 \text{ ng.L}^{-1}$ . The highest value for HgT in the Machado River was  $34.38 \text{ ng.L}^{-1}$ , which is less than the maximum established by the Resolution of the National Environment Council No. 357/05 for freshwater bodies classes 1 and 2. The methylmercury rules ranged from  $0.01 \text{ ng.L}^{-1}$  to  $0.66 \text{ ng.L}^{-1}$  for Igarapé dos Milagres and Igarapé Azul, respectively. The seasonal differences that were relevant for methylmercury during the high water period when comparing the tributaries of the right bank ( $0.06 \text{ ng.L}^{-1}$ ) with the Machado River ( $0.10 \text{ ng.L}^{-1}$ ) and tributaries of the margin left ( $0.12 \text{ ng.L}^{-1}$ ) and right in the same period. During the flood period, the tributaries on the right bank ( $0.21 \text{ ng.L}^{-1}$ ) and Rio Machado ( $0.12 \text{ ng.L}^{-1}$ ). While total mercury has no statistical difference between seasonal periods. Therefore, it appears that a REBIO Jaru plays its environmental role in the preservation of water resources in Rondônia, aligned with the Sustainable Development Objective (SDG) 6.

**Keywords:** Amazon, Water resources management, Conservation Units.



# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE TABELAS E QUADROS .....</b>	<b>15</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>16</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1 FONTES E DISPERSÃO DO MERCÚRIO .....	22
2.2 MERCÚRIO NA AMAZÔNIA.....	24
2.3 MERCÚRIO NA SAÚDE HUMANA E NO MEIO AMBIENTE.....	26
<b>3 materiais e métodos.....</b>	<b>27</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO E DESENHO AMOSTRAL.....	27
3.2 ANÁLISES MORFOMÉTRICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	31
3.3 ANÁLISE DA COBERTURA DA TERRA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	32
3.4 ANÁLISE DE ÁGUA: VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS, MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO .....	34
3.4.1 Coleta e preparação de amostras.....	35
3.4.2 Controle de qualidade das análises de HgT e MeHg .....	36
3.4.3 Método analítico do nitrogênio amoniacal ( $NH_3+$ e $NH_4^+$ ).....	36
3.4.4 Método analítico da Condutividade ( $\mu S.cm^{-1}$ ).....	37
3.4.5 Método para análise de Fósforo Dissolvido ( $PO_4^{3-}$ ).....	37
3.4.6 Método analítico do Fósforo Total ( $PO_4^{3-} T$ ).....	38
3.4.7 Análise Mercúrio Total (HgT).....	38
3.4.8 Método para análise de Metilmercúrio (MeHg) .....	39
3.4.9 Método analítico do Nitrato ( $NO_3^-$ ).....	40
3.4.10 Método para análise de Nitrito ( $NO_2^-$ ).....	40
3.4.11 Método analítico do Oxigênio Dissolvido.....	40
3.4.12 Método analítico do pH.....	41
3.4.13 Método analítico do Material Particulado em Suspensão.....	41
3.4.14 Método analítico da Temperatura da Água .....	42
3.4.15 Transparência.....	42
3.4.16 Turbidez.....	43
3.4.17 Tratamento estatístico.....	43
3.5 PRODUTO TÉCNICO .....	44
<b>4 resultados.....</b>	<b>45</b>
4.1 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DA ÁGUA.....	45
4.2 MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO NA ÁGUA .....	52
4.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MERCÚRIO .....	62
4.4 COBERTURA DA TERRA.....	69
4.5 MATRIZ DE CORRELAÇÃO E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) .....	72
4.5.1 Análise das componentes principais.....	75
<b>5 DISCUSSÃO.....</b>	<b>78</b>
5.1 QUALIDADE DA ÁGUA .....	78
5.1.1 Concentrações de HgT e MeHg.....	81
5.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MERCÚRIO E COBERTURA DA TERRA .....	85
<b>6 conclusão.....</b>	<b>87</b>
<b>7 Recomendações .....</b>	<b>87</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Ciclo do mercúrio nos ambientes naturais. ....	24
<b>Figura 2</b> – Carta imagem com a localização da área de estudo. ....	29
<b>Figura 3</b> - Pluviosidade da estação 1061003 da Agência Nacional de Águas. ....	30
<b>Figura 4</b> - Regime hidrológico do Rio Machado entre janeiro de 2019 a dezembro de 2019. Fonte:(ANA, 2020). Cores em azul escuro indica o período de coleta. ....	31
<b>Figura 5</b> - Fluxograma da metodologia para quantificação da cobertura da terra a partir das coleções MapBiomas. ....	33
<b>Figura 6</b> - Fluxograma da metodologia da pesquisa. ....	35
<b>Figura 7</b> – Módulos de análises sistema Merx-T e Merx-M da <i>Brooks Rand Labs</i> . ....	39
<b>Figura 8</b> – <i>Box plot</i> das concentrações de mercúrio total (HgT) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) nos afluentes e no rio principal. ....	57
<b>Figura 9</b> – <i>Box plot</i> indicando a variação sazonal das concentrações de mercúrio total (HgT) durante período hidrológico. ....	58
<b>Figura 10</b> – <i>Box plot</i> das concentrações de mercúrio total (HgT) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) por região de contribuição do Rio Machado. ....	59
<b>Figura 11</b> – <i>Box plot</i> das concentrações de metilmercúrio (MeHg) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) por tributário e no rio principal. ....	60
<b>Figura 12</b> – <i>Box plot</i> indicando a variação sazonal das concentrações de metilmercúrio (MeHg) durante período hidrológico. ....	61
<b>Figura 13</b> - Concentração de metilmercúrio (MeHg) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) por região de contribuição do Rio Machado. ....	62
<b>Figura 14</b> - Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo. ....	65
<b>Figura 15</b> - Distribuição espacial das concentrações de mercúrio total (HgT) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade. ....	66
<b>Figura 16</b> - Distribuição espacial das concentrações de metilmercúrio (MeHg) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade. ....	68
<b>Figura 17</b> - "Scree Plot" que representa a variância explicada das cinco primeiras componentes principais identificadas. ....	75
<b>Figura 18</b> - Análise de Componentes Principais (PCA) para variáveis físico-químicas, mercúrio total e metilmercúrio por localidade e sazonalidade 44,36%. ....	77

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

<b>Tabela 1</b> – Coordenadas decimalizadas dos pontos de coleta de água, codificação e coordenadas.....	28
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros e métodos de análises empregados para a qualidade de água.....	34
<b>Tabela 3</b> - Resumo estatístico mínimo, máximo e média da condutividade elétrica (CE), fósforo dissolvido (Pd), fósforo total (Pt), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), oxigênio dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Material Particulado em Suspensão (MPS), transparência (Trans) e turbidez por sazonalidade.....	48
<b>Tabela 4</b> – Estatística descritiva do Hg total e MeHg ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) e percentual de MeHg em relação ao Hg total na águas dos afluentes e rio principal.....	52
<b>Tabela 5</b> - Resultado estatístico metilmercúrio (MeHg) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) e mercúrio total (HgT) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) por sazonalidade e margem de contribuição. ....	54
<b>Tabela 6</b> - Resultado do teste de <i>Wilcoxon-Mann-Whithney</i> para os parâmetros mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em $\text{ng.L}^{-1}$ comparando as áreas de contribuição.....	55
<b>Tabela 7</b> - Parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas estudadas: Área (A) ( $\text{km}^2$ ), contribuição (C) (%), perímetro (P) (km), comprimento axial (C.Axial) (km), coeficiente de compacidade (Cc) (adimensional), fator forma (FF) (adimensional), drenagens (D) (km), densidade de drenagem (DD) ( $\text{km}/\text{km}^2$ ), cota mínima (H mín) (m), cota máxima (H máx) (m). .....	63
<b>Tabela 8</b> – Cobertura da terra nas bacias hidrográficas proporcional a área sua total percentual (%)......	70
<b>Tabela 9</b> - Classificação da cobertura da terra na Bacia do Rio Machado.....	71
<b>Tabela 8</b> - Matriz de correlação entre os parâmetros adotados para a análise de PCA (Pearson). .....	74
<b>Tabela 9</b> - Contribuições dos parâmetros na análise da PCA. ....	76
<b>Tabela 12</b> - Valores médios dos parâmetros (Pt) ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), mercúrio total (HgT) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), oxigênio dissolvido (OD) ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), Potencial Hidrogeniônico (pH) e turbidez (UNT) em relação aos valores de referência da CONAMA 357/05 e Portaria n° 5/17 do MS.....	78
<b>Tabela 13</b> - Comparação de concentração dos valores de Mercúrio total (HgT) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) e Metilmercúrio (MeHg) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) na água em diferentes regiões amazônicas. ....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AA	Águas Altas
AB	Águas Baixas
ANA	Agência Nacional de Águas
APDC	deditiocarbamato de pirrolidina de amônio
APHA	American Public Health Association
APP	Área de Preservação Permanente
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CG-AFS	<i>Cold Gas Atomic Fluorescence Spectroscopy</i>
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CP	Componente Principal
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa de Pesquisa Agropecuária
EN	ENCHENTE
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GRH	Gerenciamento dos Recursos Hídricos
HCl	ácido clorídrico
MeHg	metilmercúrio
IBMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KI	Iodeto de Potássio
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	sulfato manganoso monoidratado
MPS	Material Particulado em Suspensão

Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	tiosulfato de sódio
NaN <sub>3</sub>	Azida de Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
NH <sub>2</sub> Cl	monocloramina
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrito
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
OD	Oxigênio Dissolvido
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PET	de Poli(Tereftalato de Etileno)
pH	potencial hidrogeniônico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
REBIO	Reserva Biológica
SEDAM	Secretaria do Estado de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Datum SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SIRH	Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos
SR	Sensoriamento Remoto
TI	Terra Indígena
UC	Unidade de Conservação
UNT	unidades nefelométricas de turbidez
VZ	Vazante

# 1 INTRODUÇÃO

Naturalmente na Amazônia, o mercúrio (Hg) é encontrado sobre diversas espécies químicas em compartimentos ambientais abióticos e bióticos, sendo que neste último, a forma química predominante é o metilmercúrio (MeHg) o que torna os processos de bioacumulação e biomagnificação predominantes neste compartimento. Contudo, o aumento das concentrações de mercúrio inorgânico ocorre nos compartimentos abióticos devido as atividades antrópicas. Dentre estas atividades antrópicas podemos: o uso do Hg na mineração de ouro, a queima de florestas que libera Hg para a atmosfera, a queima de combustíveis fósseis e erosão dos solos, que tem como consequência amplificação dos processos de bioacumulação e biomagnificação nos ambientes aquáticos.

Uma vez no ambiente aquático o Hg pode ser bioacumulado pelos organismos passando de um nível trófico para outro resultando em concentrações de Hg cada vez maiores nos níveis superiores como peixes, mamíferos e seres humanos. A via alimentar é a principal rota de exposição humana ao metilmercúrio (MeHg).

Nesta perspectiva cabe ressaltar que o mercúrio bioacumulado não possui funções metabólicas conhecidas nos organismos, porém possui características lipossolúveis que tornam seus compostos de fácil absorção pelos tecidos bióticos. Este fator, associado a elevadas concentrações de mercúrio ou metilmercúrio, denotam consequências nocivas aos organismos. Na água destinada ao consumo humano o limite máximo permitido pela legislação brasileira de mercúrio total é  $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$  ( $1000,00 \text{ ng.L}^{-1}$ ) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011, 2017). A agência ambiental americana (*Environmental Protection Agency* - EPA) estabelece que o limite máximo permitido para mercúrio inorgânico é  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$  ( $2000,00 \text{ ng.L}^{-1}$ ), pois danos aos rins são um dos efeitos potenciais a saúde a longo prazo quando há consumo acima desta concentração (EPA, 2009). Já para a Organização Mundial da Saúde o valor de referência do mercúrio inorgânico na água é  $6,00 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$  (WHO, 2017).

Grandes fragmentos florestais como as unidades de conservação são remanescentes que promovem a preservação e conservação ambiental. Em estudo realizado por Sales (2015) foi constatado que outras terras indígenas foram os maiores fragmentos identificados em um entorno de 50,00 km da terra indígena Tubarão Latundê, e que estes encontram-se isolado.

Ainda segundo o autor, as margens dos rios situados fora dos limites das terras indígenas na região de sudeste de Rondônia, mesmo sendo áreas protegidas por lei, apresentam áreas de pastagem, reforçando o argumento de que as unidades de conservação e terras indígenas são porções florestais estratégicas para a manutenção ecológica.

Os rios são considerados sistemas abertos, o que remete ao recebimento de aportes de elementos externos (alóctones) aos seus próprios limites e sofrem interferência da cobertura da terra. Assim, dentre os compartimentos abióticos, a compreensão da dinâmica do Hg na água e sedimentos são relevantes, pois estes têm a capacidade de transportar nutrientes, sedimentos e mercúrio seja na forma dissolvida ou associada aos materiais em suspensão por longas distâncias. Neste contexto, os sedimentos atuam como depósitos de poluentes e habitat de muitas espécies de invertebrados, e nesta matriz são maiores concentrações de Hg em relação à água, inclusive o sedimento é um importante sítio de metilação do Hg e, posterior fonte de metilmercúrio para água e incorporação pela biota aquática. Desta forma, em uma bacia hidrográfica o seu manejo, assim como seu estado de conservação e usos múltiplos da água podem alterar os valores da concentração do mercúrio nos diferentes compartimentos.

Em Rondônia, a bacia hidrográfica do Rio Machado, com 75421,67 km<sup>2</sup>, é a maior em extensão territorial dentre as bacias do Estado. Nela são identificados, diferentes tipos de usos do solo contendo áreas protegidas como unidades de conservação, terras indígenas e áreas consolidadas por das atividades agrícolas, pecuária e núcleos urbanos.

Para compreender a distribuição sazonal do mercúrio nos corpos hídricos e sua associação a outros parâmetros de qualidade da água é necessário compreender as coberturas do solo presente nestas bacias hidrográficas. Nesta perspectiva a legislação brasileira através da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) considera como recorte da área de gestão territorial hídrica as bacias hidrográficas (BRASIL, 1997).

A Secretaria do Estado de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM) consolidou a criação do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) no ano de 2018, representando um marco na gestão hídrica no Estado (SEDAM, 2018). Este mesmo documento, prevê a implantação de um Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos (SIRH), também previsto no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Para efeito da política é necessário que haja o levantamento de informações sobre substâncias químicas nos corpos hídricos, à exemplo do

mercúrio. Paralelamente, há a necessidade de ampliação de bases de informações espaciais que auxiliem na avaliação de contaminantes presentes na água, de forma que a integração destas informações tem a contribuir na tomada de decisão visando a gestão dos recursos hídricos.

O Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGERH) apresenta como um dos instrumentos o Sistema de Informações sobre os Recursos Hídricos que se faz necessário o uso das ferramentas das análises físicas, químicas e biológicas da água combinadas as ferramentas de geotecnologias para a distribuição espacial dos dados (BRASIL, 1997).

Para cumprimento dos objetivos do SINGERH, as geotecnologias possuem vantagens econômicas relacionadas a aquisição de dados e potencial de integração interdisciplinar com área limnológica (SOBRAL *et al.*, 2017). Além disso, tal tecnologia permite espacialização das informações das bacias hidrográficas contidas em um território de cada município. Já as análises de água oferecem subsídios para o enquadramento dos corpos hídricos conforme consta na Resolução nº 91/08 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (CNRH, 2008).

De semelhante modo, o uso do Sensoriamento Remoto (SR), possibilita obtenção de informações, como a qualidade de água de forma indireta como mostra os trabalhos de Lopes *et al.* (2014), Oliveira; Silva; Galnício (2015) e Rodrigues *et al.* (2015). Bem como é possível especializar informações de agricultura e irrigação, climatologia, educação ambiental, fauna, flora, gestão hídrica, qualidade da água e impactos ambientais através das geotecnologias (ROCHA; SANTOS; ROCHA, 2017).

Os impactos causados na cobertura do solo tem reflexos nos recursos hídricos acarretando na alteração dos parâmetros químicos, físicos, microbiológicos e econômicos uma vez que a presença da vegetação contribui para a manutenção destes parâmetros em condições naturais (ANDRIETTI *et al.*, 2016; PAULA; BENEDETTI; FILHO, 2016; PINHEIRO *et al.*, 2014).

Em estudos realizados na região amazônica constatou-se a presença de mercúrio inorgânico e metilmercúrio nos sedimentos de lagos naturais e artificiais. O Hg acumulado nos sedimentos podem ser mobilizados para a coluna d'água. Estudos indicam que conhecer a dinâmica do Hg inorgânico e MeHg como sendo importantes para determinar efeitos bioacumulativos tanto em plânctons quanto em peixes (ALMEIDA, 2006, 2012; NASCIMENTO, 2006; ZIEMNICZAK, 2019).



Quanto a análise da qualidade das águas superficiais no Estado de Rondônia, estimou-se através do PERH as cargas poluidoras proveniente dos efluentes domésticos, da pecuária e da agricultura demonstrando a necessidade da obtenção de mais informações (SEDAM, 2018). Quanto as cargas decorrentes de atividades como as agroindústrias de laticínios, frigoríficos e curtumes, além das explorações de minérios não foram avaliadas. Quanto ao lançamento de mercúrio, estimas-se que na década de 80 (1980) foram lançados entre 96,20 e 128,27 kg em toda a Amazônia (PFEIFFER; DE LACERDA, 1988). De semelhante modo, lançamentos de mercúrio como ocorrido no Rio Madeira podem ter ocorrido diariamente em outros corpos hídricos através da atividade de garimpo ou indiretamente através da erosão dos solos das bacias hidrográficas e deposição atmosférica úmida ou seca.

Sendo o mercúrio uma substância que: (1) foi largamente utilizada no garimpo de ouro no Estado de Rondônia principalmente entre 1970 e 1980 o que acarretou sua entrada nos compartimentos bióticos de diferentes corpos hídricos, (2) por ser uma substância que não possui função biológica, (3) e que pode transformar-se quimicamente na sua forma química mais tóxica, o MeHg, que por sua vez resulta no processo de bioacumulação através da cadeia alimentar aquática. A avaliação das suas concentrações nas diferentes bacias hidrográficas do estado precisa ser realizada a fim de garantir uma base de informações espaciais e temporais consistentes. Atualmente por exemplo, não é possível determinar se o trecho em questão sofreu alterações ao longo do tempo quanto aos teores de mercúrio, por consequência da ausência de programas de monitoramento como já relatado por Wasserman e Hacon (2001) para outras áreas da bacia amazônica.

Assim, diante das pressões antrópicas, constatar a função ecológica da manutenção da biodiversidade é importante para caracterizar o exercício da função esperada para uma Unidade de Conservação (UC), nestes casos além da manutenção da fauna e flora, tais áreas também desempenham papéis fundamentais na preservação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Neste sentido pergunta-se com este trabalho, qual a dinâmica das concentrações de mercúrio presentes no Rio Machado ao longo do ciclo hidrológico? Levanta-se hipóteses de que as bacias hidrográficas externas a REBIO Jaru (margem esquerda do Rio Machado), portanto antropizadas, apresente os parâmetros de qualidade da água inferiores as bacias hidrográficas que estão no interior da UC (margem direita do Rio Machado).

Assim, este trabalho tem como objetivo analisar a distribuição espacial e sazonal do mercúrio total e metilmercúrio da água no trecho do médio Rio Machado incluindo os tributários da Unidade de Conservação Reserva Biológica do Jaru e afluentes de área antropizada.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na água do Rio Machado e seus afluentes;
- Comparar as concentrações de mercúrio com a legislação brasileira vigente;
- Relacionar a dinâmica do mercúrio e sua relação com as variáveis físico-químicas;
- Realizar o levantamento dos parâmetros morfométricos da bacia;
- Elaborar mapas da distribuição espacial das concentrações de mercúrio e metilmercúrio na área de estudo;
- Produzir relatório técnico destinado aos gestores dos recursos hídricos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 FONTES E DISPERSÃO DO MERCÚRIO

O ciclo do mercúrio inicia pela evaporação, seguido da circulação pela atmosfera e através da precipitação retorna a água e ao solo (AZEVEDO, 2003). Em temperaturas ambiente, o mercúrio pode ocorrer em três estados de oxidação: íon mercúrio ( $\text{Hg}^{2+}$ ), mercúrio elementar ( $\text{Hg}^0$ ) e íon mercurioso ( $\text{Hg}_2^{2+}$ ). Siqueira *et al.* (2018) mencionam que o mercúrio tem tempo de residência atmosférico curto e que suas interações com os ambientes aquáticos dependem das espécies químicas formadas pelo elemento.

O mercúrio presente na atmosfera majoritariamente tem como fonte natural as erupções vulcânicas, disponibilização por partículas de solo transportadas pelos ventos, evaporação da superfície das águas oceânicas, vulcões e degaseificação da crosta terrestre (LACERDA; MARINS, 1997). Já as fontes antrópicas são originárias das queima de combustíveis fósseis,

atividades de mineração de ouro, industrialização e lançamento de efluentes (LACERDA; MARINS, 1997).

Pestana *et al.* (2019) indicam fontes de metilmercúrio em reservatórios de hidrelétricos sendo o carreamento de matéria orgânica rica em Hg que passa por metilação. O processo de metilação na coluna d'água que pode estar associada a comunidade microbiana e da suspensão do mercúrio metilado no fundo (MIRANDA, 2010). Além destes, há a liberação do metilmercúrio através da raízes de macrófitas aquáticas (MAURO; GUIMARÃES; MELAMED, 2001).

Todas estas formas químicas de mercúrios são encontradas na água em concentrações baixas. Na cadeia alimentar são encontrados níveis elevados de metilmercúrio, que em maior proporção são espécies químicas tóxicas.

As espécies de mercúrio é regulada por processos biológicos, químicos e físicos nas transições entre sedimento e água, água e ar de modo que estes se estabilizam na forma orgânica e inorgânica (MICARONI; BUENO; JARDIM, 2000).

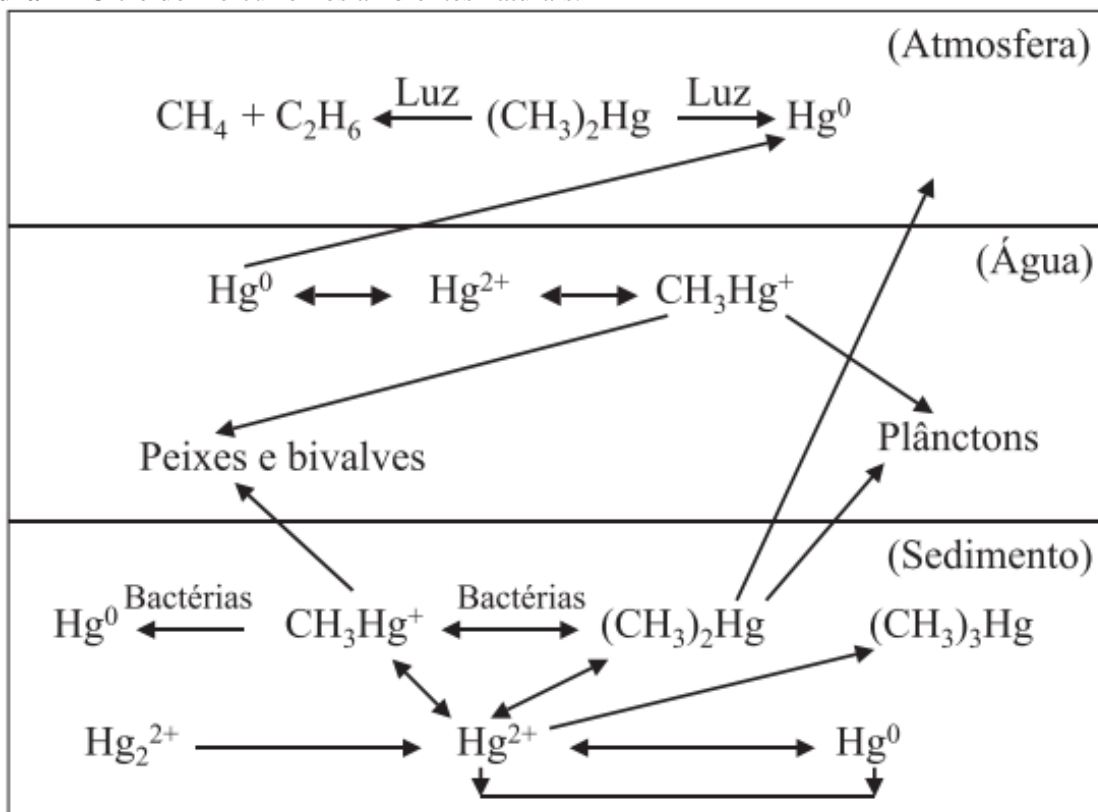
Nas suas diferentes formas do mercúrio, que variam entre orgânico e inorgânico, os compostos orgânicos como dimetilmercúrio ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Hg), metilmercúrio (CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>), ou com ligantes orgânicos naturais são os mais comuns (MICARONI; BUENO; JARDIM, 2000). Complexos de menor toxicidade podem ser formados como CH<sub>3</sub>HgSH ou CH<sub>3</sub>HgSR, estes são observados em maiores concentrações na água em relação a biota (MARINS; PARAQUETTI; AYRES, 2002).

Assim, dentre as variações de forma química do mercúrio, o metilmercúrio é considerada a espécie mais tóxicas, que ainda não tem seu ciclo completamente compreendido, mas que constata-se uma grande influência das bactérias e da luz solar na formação da molécula durante o ciclo do Hg (BISINOTI; JARDIM, 2004; GIONFRIDDO *et al.*, 2016). A Figura 1 demonstra o ciclo do mercúrio em ambientes naturais. O processo de metilação é favorecido quando há ambientes anóxicos, entretanto este processo já foi identificado a ocorrência em ambientes aeróbicos de baixas concentrações (GIONFRIDDO *et al.*, 2016).

O mercúrio tem como propriedade a volatilidade e toxicidade, entretanto seus cátions podem formar cadeias curtas com átomos de carbono formando as composições mais tóxicas. O

mercúrio pode entrar na cadeia alimentar é principalmente pela conversão do íon  $\text{Hg}^{2+}$  em metilmercúrio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  ou  $\text{MeHg}$ ) (NASCIMENTO, 2006).

**Figura 1** - Ciclo do mercúrio nos ambientes naturais.



Fonte: Bisinoti e Jardim (2004).

## 2.2 MERCÚRIO NA AMAZÔNIA

Busca-se compreender se a principal fonte de mercúrio na Amazônia é natural ou antropogênica, independente da origem o volume de Hg disponível pode ser transportado pelos corpos hídricos e sedimentos (SIQUEIRA *et al.*, 2018; SIQUEIRA; APRILE, 2012). Na Amazônia, a presença do mercúrio esteve intimamente ligada a extração do ouro por muitos anos (FADINI; JARDIM, 2001).

Wasserman e Hacon (2001) relatam lançamento de mais de duas mil toneladas de mercúrio na Amazônia advindo das atividades de garimpo do ouro. Apesar da redução dos garimpos de ouro na Amazônia, o lançamento de Hg no Brasil proveniente da atividade corresponde a emissões de Hg na atmosfera estimada em 20 t.ano<sup>-1</sup> assim como entre os anos de 1998 e 2002, sendo esta a maior contribuição dentre as fontes de emissão (LACERDA; SANTOS; MARINS, 2007). Já na década de 90 foram quantificados emissões de cerca de 70 t.ano<sup>-1</sup> derivados da mineração informal (MEECH; VEIGA; TROMANS, 1997).

Contudo o Hg do garimpo de ouro não foi a única fonte de emissão de Hg, uma vez que Fadini e Jardim (2001) identificaram a presença de mercúrio nos solos da bacia do Rio Negro (AM). Lacerda, Santos e Marins (2007) descreveram como fonte de emissão de Hg na Amazônia as queimadas, que apresentaram contribuição de 8,7 t.ano<sup>-1</sup> (1998-2002). Após estudos contarem elevadas concentrações de Hg em peixes na Amazônia em regiões de baixa concentração natural do metal, diversas hipóteses surgiram para explicar o fenômeno sendo que a mais aceita considera o transporte aéreo como principal via de transporte (WASSERMAN; HACON, 2001). Lacerda (1995) afirma que as queimadas são uma contribuição de Hg para a atmosfera, porém a principal fonte de emissão são os garimpos de ouro. Siqueira *et al.* (2018) afirmam que há evidências de que a principal fonte de mercúrio na Amazônia tem origem geoquímica proveniente das bacias dos Rios Negro e Tapajós, mas reconhece as contribuições dos garimpos de ouro na bacia hidrográfica do Rio Madeira.

Com a disponibilização desta quantidade de Hg inorgânico na Amazônia os processos de metilação são favorecidos. As planícies de inundação são locais que promovem a produção e acúmulo do metilmercúrio e dentro destas é nas serapilheiras que apresentam as maiores taxas de produção (ROULET; GUIMARÃES; LUCOTTE, 2001). Pestana *et al.* (2019) identificaram em um reservatório hidroelétrico na Amazônia que as raízes de macrófitas tiveram a maior proporção de MeHg e que os sedimentos tiveram maior concentração do analito em relação aos demais compartimentos.

## 2.3 MERCÚRIO NA SAÚDE HUMANA E NO MEIO AMBIENTE

Os valores máximos permitidos de mercúrio na água é de  $6,00 \mu\text{g.L}^{-1}$  por dia, enquanto no consumo alimentar os aportes semanais toleráveis são  $5,00 \mu\text{g.kg}^{-1}$  corporal para mercúrio total e  $1,60 \mu\text{g.kg}^{-1}$  massa corporal para metilmercúrio segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) (WHO, 2008, 2017). Neste sentido, estudos foram desenvolvidos a fim de compreender quais os principais vetores da chegada do Hg nos seres humanos, concluindo que o consumo dos peixes são os principais contribuintes da parcela de Hg ingeridos.

Em peixes na Amazônia foram já foram identificadas concentrações entre  $383,00 (\pm 143,00) \mu\text{g.kg}^{-1}$  e  $733,00 (\pm 354,00) \mu\text{g.kg}^{-1}$  (AM) (KASPER *et al.*, 2014). No Rio Machado, região da REBIO Jaru, foram identificadas concentrações de mercúrio total no músculo de peixes entre  $40,00$  e  $790,00 \mu\text{g.kg}^{-1}$  enquanto o metilmercúrio variou entre  $20,00$  a  $460,00 \mu\text{g.kg}^{-1}$  (ZIEMNICZAK, 2019).

Lebel *et al.* (1997) no final dos anos 90 na bacia do Rio Tapajós, encontraram concentrações muito superiores aos níveis que poderiam causar efeitos deletérios, além da redução da concentração de mercúrio na população com nível de escolaridade mais elevada.

Entre os efeitos do mercúrio a saúde humana podem ser citados efeitos nas funções motoras, visuais e cognitivas (PASSOS; MERGLER, 2008). Já no final dos anos 90, Maurice-Bourgoin *et al.* (2000) indicam, que os humanos mais impactados pelos efeitos do Hg não são as pessoas que trabalham nos garimpos de ouro, mas aqueles que consomem peixes.

Neste contexto, a avaliação da concentração de MeHg está diretamente relacionada a contaminação da biota aquática e da saúde humana. Segundo Malm, (1998) a principal fonte de MeHg para os seres humanos é o consumo de peixes, nos quais foram identificados concentrações variando entre  $0,011$  e  $5,900 \mu\text{g.g}^{-1}$  em espécies piscívoras e carnívoras de diferentes regiões amazônicas, assim como no cabelo de seres humanos foram identificados concentrações entre  $0,22$  e  $240 \mu\text{g.g}^{-1}$ .

Já no trabalho de Nascimento *et al.* (2020) identificaram para a comunidade planctônica do reservatório de Samuel (Rio Jamari) concentrações de mercúrio total na ordem de  $5,00 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , relatando que este valor é similar ao encontrado em outras áreas da Amazônia.

No ambiente natural, foram identificados concentrações de composto organometálicos com mercúrio em concentrações acima de  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$  nas fontes geotérmicas e gás condensado na Nova Zelândia (DOPP *et al.*, 2004).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo e desenho amostral**

A área de estudo compreende o trecho do Rio Machado entre o Igarapé Azul até o Igarapé Buenos Aires (Figura 2), sendo este o trecho que margeia e delimita a porção da Reserva Biológica do Jaru (Sede da REBIO Jaru nas coordenadas  $10^{\circ} 4' 8,86''$  S e  $61^{\circ} 58' 17,08''$  O) no estado de Rondônia. Este trecho possui uma extensão de 144,60 km. Neste curso foram estudados os principais contribuintes do Rio Machado, sendo 4 afluentes da margem esquerda (ME) fora de REBIO e 6 afluentes da margem (MD) direita dentro da REBIO localizados conforme demonstrado na Tabela 1 e figura 2. As coordenadas georreferenciais foram obtidas pelo aparelho Garmin® Oregon 650.

Neste sentido, respeitando a ordem de montante para a jusante os corpos hídricos estudados foram: Igarapé Azul (margem direita), Igarapé dos Milagres (margem esquerda), Igarapé Monte Cristo (margem direita), Rio Jaru (margem esquerda), Igarapé Cajueiro (margem direita), Rio Anari (margem esquerda), Igarapé Tarifa (margem esquerda), Rio Tarumã (margem direita), Igarapé Pascana (margem direita), Igarapé Buenos Aires (margem direita).

O desenho amostral considerou os afluentes que apresentam contribuição mais elevadas em termos de vazão ao Rio Machado o que permitiu o estudo da variação espacial entre os afluentes no tempo e a variação espacial do próprio Rio Machado, este último com três pontos amostrais a montante, meio do percurso e jusante do limite da REBIO do Jaru.

Para compreender o período hidrológico e as variações sazonais foram selecionados como período de coleta os períodos das águas altas (janeiro a março), vazante (abril a junho), águas baixas (julho a setembro) e enchente (outubro a dezembro).

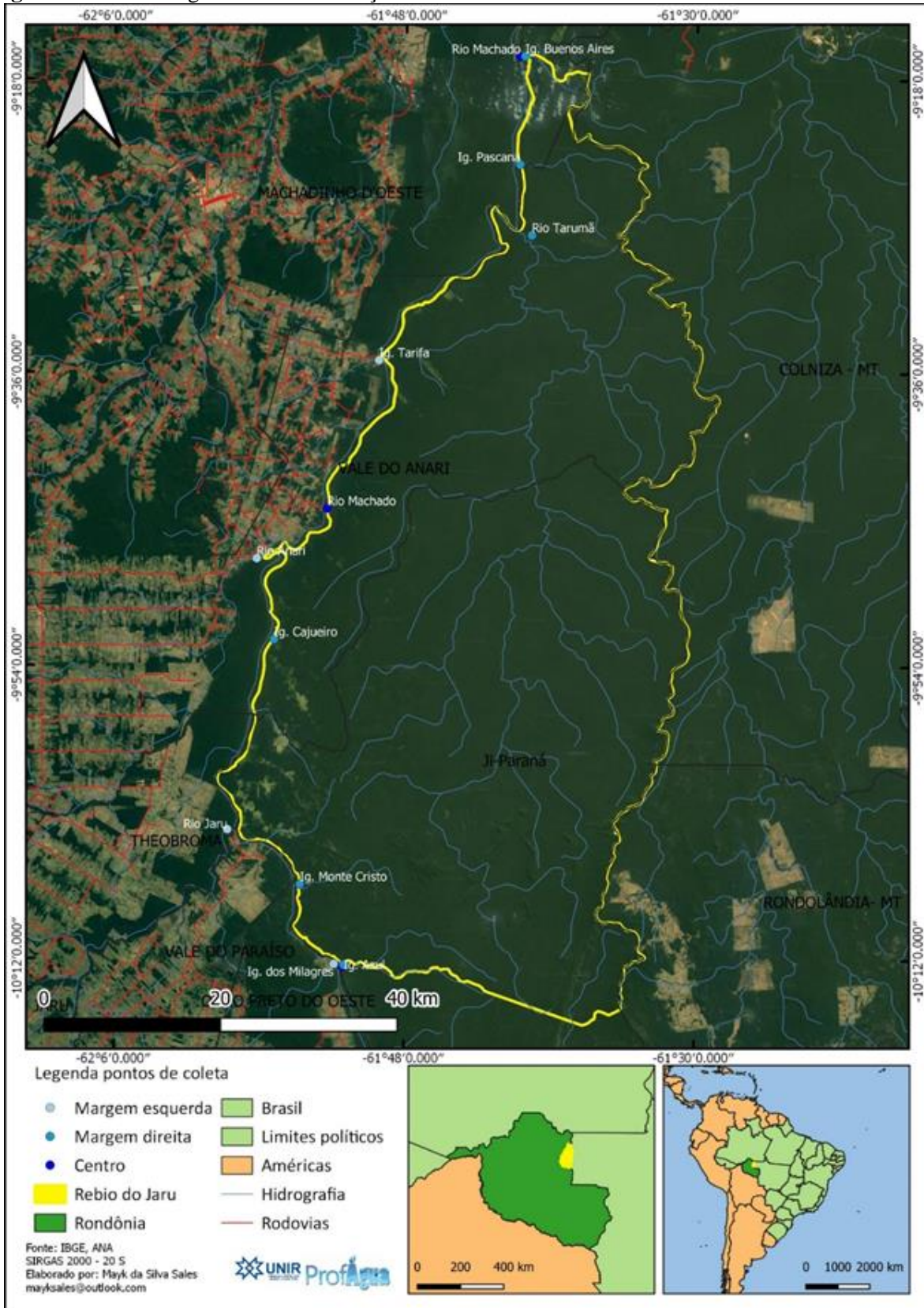
**Tabela 1** – Coordenadas decimalizadas dos pontos de coleta de água, codificação e coordenadas.

<b>Nome</b>	<b>Código</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Descrição</b>
Igarapé Azul	P1	-10,20592	-61,86213	Foz com Rio Machado
Rio Machado <sup>m</sup>	P2	-10,20808	-61,86360	Entre leitos Rio Machado
Igarapé dos Milagres	P3	-10,20518	-61,87240	Foz com Rio Machado
Igarapé Monte Cristo	P4	-10,12351	-61,90670	Foz com Rio Machado
Igarapé Cajueiro	P5	-9,87305	-61,93507	Foz com Rio Machado
Rio Anari	P6	-9,79020	-61,95318	Foz com Rio Machado
Rio Machado <sup>me</sup>	P7	-9,73899	-61,88068	Entre leitos Rio Machado
Igarapé Tarifa	P8	-9,58721	-61,82470	Foz com Rio Machado
Rio Machado <sup>j</sup>	P9	-9,27610	-61,68258	Entre leitos Rio Machado
Igarapé Buenos Aires	P10	-9,27563	-61,67765	Foz com Rio Machado
Igarapé Pascana	P11	-9,38651	-61,68263	Foz com Rio Machado
Rio Tarumã	P12	-9,45895	-61,67028	Foz com Rio Machado
Rio Jaru	P13	-10,06767	-61,98288	Foz com Rio Machado

Observações: Montante = <sup>m</sup>; Médio = <sup>me</sup>; Jusante = <sup>j</sup>. Fonte: Próprio autor. *Datum* SIRGAS 2000 - 20 S.



Figura 2 – Carta imagem com a localização da área de estudo.



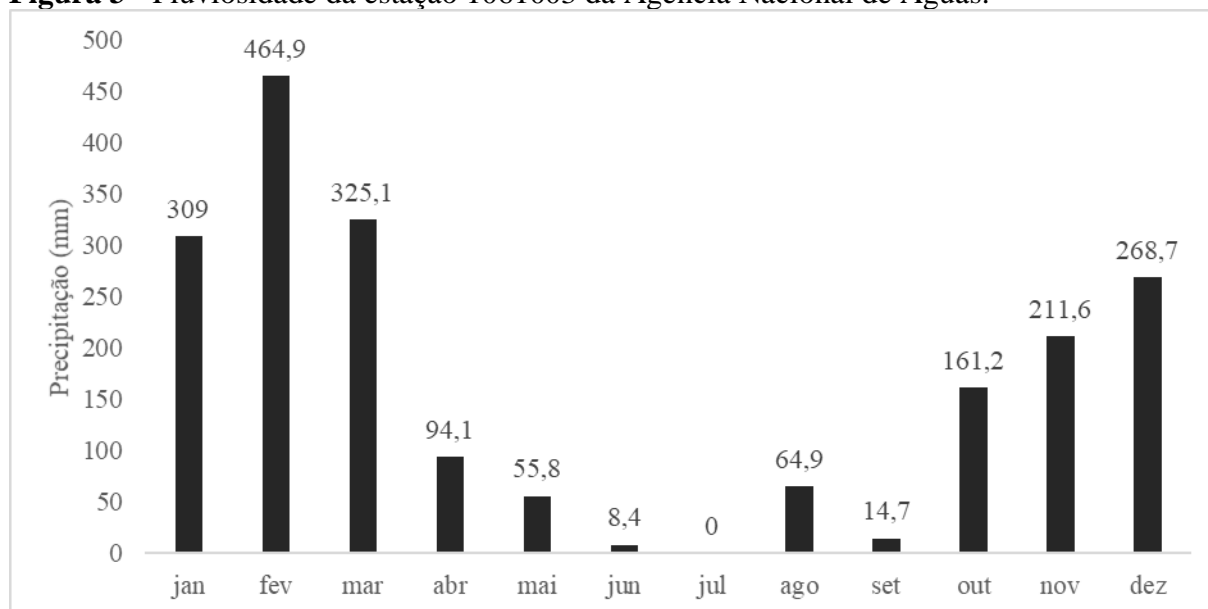
Fonte: Próprio Autor.

Os afluentes da margem direita drenam a área da REBIO Jaru. A área total da REBIO Jaru é de 3.467,55 km<sup>2</sup>, destes, 2102,74 km<sup>2</sup> (60,62%) pertencem ao município de Ji-Paraná, 55,22 km<sup>2</sup> (1,59%) ao município de Machadinho D'Oeste e o município de Vale do Anari 1310,65 km<sup>2</sup> (37,79%). Os afluentes da margem esquerda drenam áreas de agropecuária, núcleos urbanos, agricultura e fragmentos florestais com uma área total de 8834,45 km<sup>2</sup>.

A temperatura média anual é de 24 a 26 °C, com um precipitação média anual de 2200 a 2500 mm, portanto o clima na classificação Köppen é Am (ALVARES *et al.*, 2013). Desta forma, de acordo com Aguiar (2013), na REBIO Jaru os períodos mais chuvosos são de janeiro a abril, enquanto de junho a agosto os meses com pouca ou nenhuma chuva.

De acordo com a estação pluviométrica 1061003 da Agência Nacional de Águas (ANA) obtidos através da plataforma HidroWeb, os meses mais chuvosos foram janeiro, fevereiro e março sendo que fevereiro apresentou 464,9 mm de precipitação, por outro lado a mínima foi obtida em julho com 0 mm registrado (Figura 3). Os valores de precipitação têm relação direta com o regime de escoamento superficial.

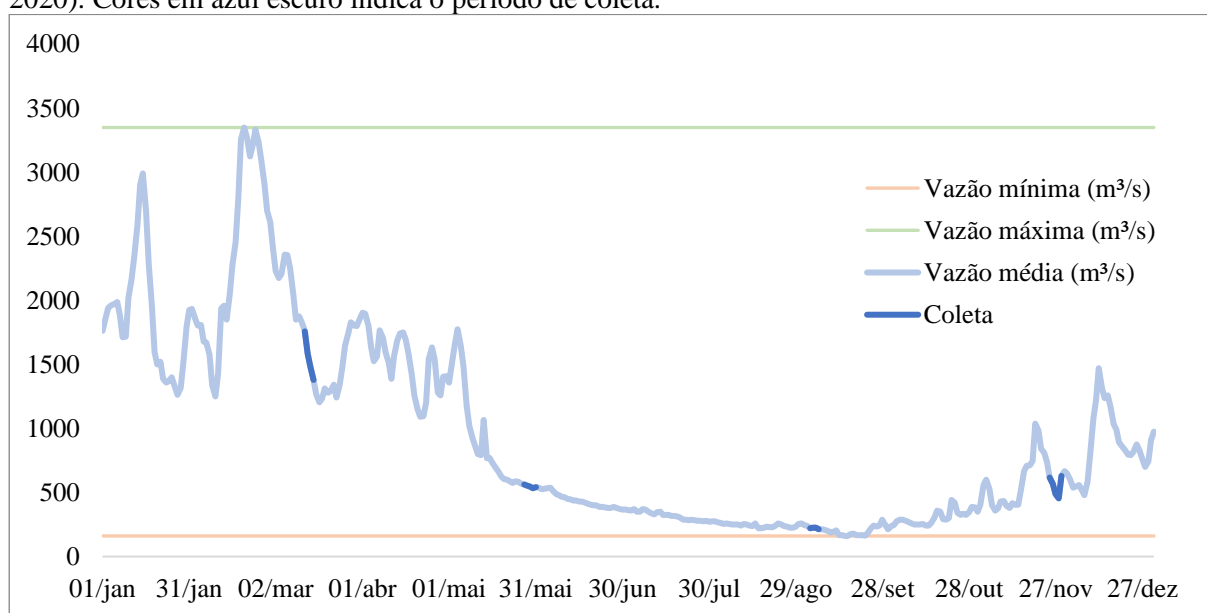
**Figura 3** - Pluviosidade da estação 1061003 da Agência Nacional de Águas.



Fonte: ANA (2020).

De acordo com os dados da estação 15560000 da Agência Nacional de Águas (ANA), obtidos através da plataforma HidroWeb o regime de vazão compreendido entre 01 de janeiro de 2019 a 31 de dezembro de 2019, constatou que  $160,58 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  foi a vazão a menor média diária registrada referente ao dia 15/09/2019 enquanto que a máxima média diária registrada no período foi de  $3.346,81 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  no dia 19/02/2019 (ANA, 2020). A Figura 4 apresenta o regime hidrológico com destaque para as datas das coletas realizadas que ocorreram em março (águas altas), maio (vazante), setembro (águas baixas) e novembro (enchente) de 2019.

**Figura 4** - Regime hidrológico do Rio Machado entre janeiro de 2019 a dezembro de 2019. Fonte:(ANA, 2020). Cores em azul escuro indica o período de coleta.



Fonte: ANA (2020).

### 3.2 Análises morfométricas das bacias hidrográficas

Para a realização deste trabalho foi realizado o levantamento de dados bibliográficos em sítios governamentais como o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade –ICMBio, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Agência Nacional de Águas – ANA, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Empresa Brasileira de Pesquisa de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – SEDAM e legislações pertinentes sobre o assunto obtidas na página oficial da Presidência da República.

Outras fontes utilizadas para a obtenção de dados foi os dados de elevação (cotas topográficas) e delimitação de bacias disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Para análises de dados morfométricos foi empregado o método de delimitação de bacias hidrográficas utilizando imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), adaptada para o TopoDATA (SOBRINHO *et al.*, 2010). Os dados do TopoDATA apresentam ampla vantagem na aplicação de análises morfométricas pois o mesmo trabalha com imagens SRTM tratadas pela posição nominal, cota altimétrica célula a célula (VALERIANO, 2005; VALERIANO; ROSSETI; ALBUQUERQUE, 2009).

Os dados vetoriais e matriciais também foram processados no Sistema de Informações Geográficas - “QGIS” da abordagem “GIS” (*Geographic Information System*) com base nos *shapes*, que são arquivos vetoriais disponibilizados pelos sítios já supracitados. As informações foram processadas para se obter os principais parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica, sendo eles a área, perímetro, comprimento axial, fator forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, comprimento da rede de drenagem e densidade de drenagem (SALES; JUNIOR; SANTOS, 2015). Tal dados foram levantados a fim de verificar relação entre os dados morfométricos e dados de qualidade da água, em especial para as concentrações de mercúrio.

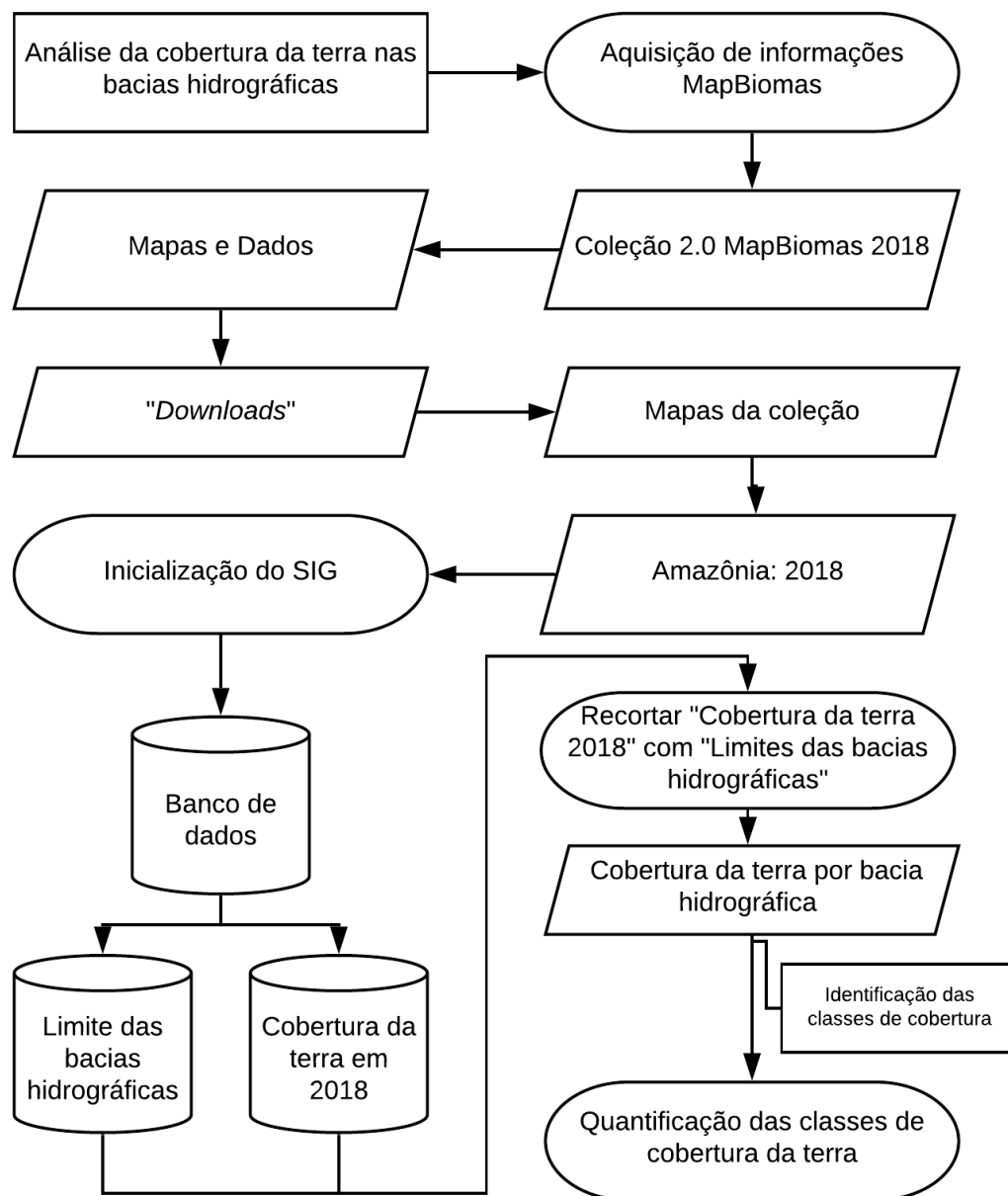
### **3.3 Análise da cobertura da terra nas bacias hidrográficas**

Para a análise da cobertura da terra foram utilizados os produtos da classificação do projeto MapBiomas, Coleção 2.0, com séries históricas de 1985 a 2018 em formato matricial (*GeoTiff*). Para acessar as informações matriciais foi necessário utilizar SIG para especializar as informações georreferenciadas da base de dados. Foram selecionados os dados de 2018 pois são os mais recentes em relação a série histórica disponibilizada pela plataforma. A resolução espacial dos dados matriciais são 30 m e a bases de referência há a consulta dos dados Terra Class Amazônia (2014) e Land Cover Rondônia (1984-2010) (MAPBIOMAS, 2020). A Figura 5 demonstra a metodologia empregada para a obtenção dos resultados de cobertura da terra.

A partir da legenda do MapBiomas (202) foram identificadas classes: Cultura Anual e Perene; Floresta Plantada; Formação Florestal; Infraestrutura Urbana; Mineração; Não identificado; Outra Área não Vegetada; Outra Formação Natural não Florestal; Pastagem; Rio, Lago e Oceano.

A partir da base de dados com recorte das bacias hidrográficas foi realizada a conversão dos arquivos matriciais para vetoriais e em seguida quantificada através da tabela de atributos dos arquivos a área que cada classe ocupou em relação a área total da bacia. Com estas informações foram gerados produtos cartográficos.

**Figura 5** - Fluxograma da metodologia para quantificação da cobertura da terra a partir das coleções MapBiomas.



.Fonte: Próprio autor.

### 3.4 Análise de água: variáveis limnológicas, mercúrio total e metilmercúrio

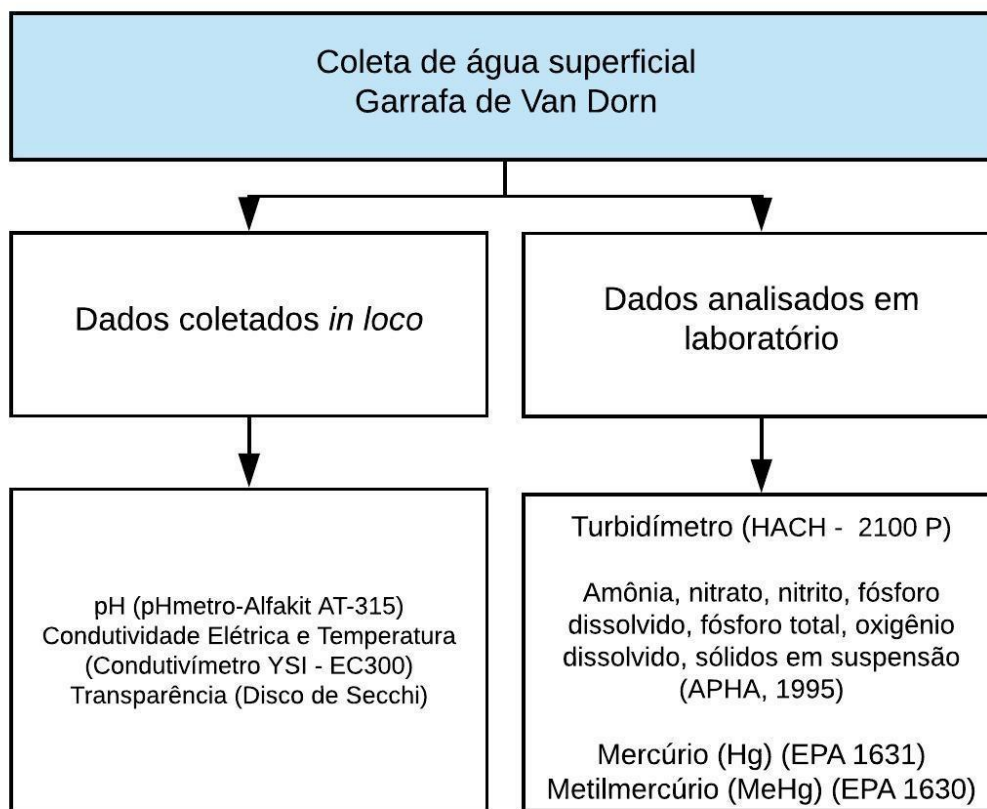
A Tabela 2 apresenta os parâmetros determinados nesta pesquisa e sua respectiva metodologia. Foram realizadas quatro campanhas de monitoramento durante o ciclo hidrológico representando os períodos de águas altas, vazante, águas baixas e enchente (Figura 4). Desta forma, para as análises de nutrientes (fósforo, amônia, nitrito e nitrato) e parâmetros físico-químicos (turbidez, pH, oxigênio dissolvido e material particulado em suspensão) a coleta de água seguiu o guia nacional de coleta e preservação de amostras (CETESB, 2011). Os procedimentos de coleta de água para análise de Hg total (HgT) e MeHg foi de acordo com Kasper *et al.* (2015). Já para preparo das amostras em laboratório e determinação de Hg e MeHg, foi utilizado os métodos da *Environmental Protection Agency* (EPA, 1631, 1630, respectivamente, USA, 1998, 2002). A Figura 6 mostra a metodologia empregada para a obtenção dos resultados de qualidade da água categorizando as análises conforme a matriz e método empregado.

**Tabela 2** - Parâmetros e métodos de análises empregados para a qualidade de água.

<b>Parâmetro</b>	<b>Métodos</b>	<b>Referências</b>
Amônia	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Condutividade Elétrica	<i>In loco</i> por Sonda	(CETESB, 2011)
Fósforo Dissolvido	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Fósforo Total	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Hg	AFS	EPA (2003)
MeHg	CG-AFS	EPA (2003)
Nitrato	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Nitrito	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Oxigênio Dissolvido (OD)	Titulométrico	APHA (1995)
Potencial Hidrogeniônico (pH)	<i>In loco</i> por Sonda	CETESB (2011)
Material Particulado em Suspensão	Gravimétrico	APHA (1995)
Temperatura	<i>in loco</i> por sonda	CETESB (2011)
Transparência da Água	Disco de <i>Secchi</i>	Esteves (1998)
Turbidez	Turbidímetro de bancada	CETESB (2011)

Fonte: Próprio autor.

**Figura 6** - Fluxograma da metodologia da pesquisa.



Fonte: Próprio autor.

### 3.4.1 Coleta e preparação de amostras

Para a realização deste estudo foi considerada as águas superficiais. A obtenção das amostras de água foi realizada com o uso de garrafa de *Van Dorn* com a captação de volume de 500 mL de água. Para análise de nutrientes e material particulado em suspensão, as amostras de água foram acondicionadas em recipientes de Poli(Tereftalato de Etileno) (PET), previamente descontaminados com ácido clorídrico (HCl) a 5% (v/v) por 24 horas. Após a coleta as amostras foram acondicionadas em ambiente refrigerado e, posteriormente levados ao Laboratório de Limnologia e Microbiologia – LABLIM da Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, campus de Ji-Paraná, e mantidas resfriadas até a realização das análises supracitadas. Quanto ao recipiente das amostras destinadas às análises de mercúrio, estes constituíram frascos

do tipo âmbar de 1 L, o quais foram previamente descontaminadas com ácido clorídrico (HCl) a 10% (v/v) por 24 horas (KASPER *et al.*, 2015). Em campo, os frascos enxaguados com a água do próprio ponto amostral, após a coleta o frasco foi fechado com tampa rosqueável e ainda revestido com saco plástico, a fim de evitar contaminações externas. Estas foram transportadas até o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer da Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, campus de Porto Velho, onde foram analisados os parâmetros mercúrio total e metilmercúrio na água.

### **3.4.2 Controle de qualidade das análises de HgT e MeHg**

Controle da qualidade analítica se inicia a descontaminação das vidrarias que acondicionam a amostra até as análises laboratoriais, além disso em campo os recipientes são envoltos de sacos plásticos para evitar a contaminação conforme relatado por Carvalho (2016). Assim os recipientes de coleta foram descontaminados a partir da imersão do recipiente em meio ácido clorídrico (5-10%) (v/v) diluído em água ultrapura por tempo superior a 24 horas e revestidos com sacos plásticos (KASPER *et al.*, 2015).

Para averiguação de possível contaminação das vidrarias foram adotadas amostras de “branco analítico” que correspondo uma amostra que passa pelos processos analíticos. O branco analítico passou pelos mesmos processos ao qual foram submetidas as demais amostras que foram analisadas em duplicatas de cada ponto amostral.

### **3.4.3 Método analítico do nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ e $\text{NH}_4^+$ )**

Para determinar o nitrogênio amoniacal foi adotado o método colorimétrico (Azul de indofenol). Para isto, as amostras foram previamente filtradas com filtros de microfibras de vidro de 0,45  $\mu\text{m}$  (AP-20) a qual a solução estar com faixa de pH entre 8,00 e 11,5 para que o



hipoclorito de sódio reaja com o radical de amônia formando a monocloramina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ). Assim, na presença do fenol e o excesso de hipoclorito sobre a ação do catalisador de íons nitroprussiato, forma-se o azul de indofenol, que segundo a Lei de Beer pode determinar concentrações inferiores a  $500 \mu\text{g}$  de  $\text{N. NH}_3/\text{L}$ .

Em soluções que apresentam o amoníaco, ocorre a precipitação na tonalidade amarelo-acastanhado. As tonalidades serão mais intensas conforme a concentração da substância analisada. Após 3 horas de repouso em ambiente escuro pode ocorrer a leitura das amostras em comprimento de onda de 630 nm. O aparelho utilizado foi o Espectrofotômetro Digital UV-VIS com Scan da marca Kasuaki, modelo IL-593-S-BI

#### **3.4.4 Método analítico da Condutividade ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )**

A condutividade sendo um parâmetro físico-químico fez-se necessário a utilização da sonda de bolso modelo YSI – EC 300 de leitura direta, ou seja, leituras in loco. Para isto, o eletrodo deve ser lavado com água destilada antes da sua imersão no corpo hídrico. Após a inserção deve aguardar a estabilização da leitura.

#### **3.4.5 Método para análise de Fósforo Dissolvido ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**

Para a mensuração do fósforo dissolvido na água adotou-se o método colorimétrico para o ortofosfato inorgânico dissolvido ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Para a realização deste método não se deve fazer o uso de detergentes na lavagem das vidrarias.

Com a adição de ácidos, como o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ –15%) na solução o ortofosfato forma complexos amarelos com íons de molibdato de amônio. Desta forma, é possível reduzi-lo para

um complexo azul. Para isto, faz-se necessário a adição de ácido ascórbico. Após a adição e homogeneização, manteve-se a amostra em repouso por 20 minutos e realizou-se a leitura a 882 nm em aparelho espectrofotômetro Kasuaki IL-226-NM.

#### **3.4.6 Método analítico do Fósforo Total ( $\text{PO}_4^{3-}$ T)**

O fósforo total na água, reage com a solução molibdato-vanadato, inferindo a amostra a coloração amarelo devido os íons molibdato (molibdato de amônia). Assim, é possível reduzir para que se forme um complexo azul. Sendo assim, foi adicionado de ácido ascórbico. Após a homogeneização, amostra permaneceu em repouso por 20 minutos e realizou-se a leitura a 882 nm em aparelho espectrofotômetro Kasuaki IL-226-NM.

#### **3.4.7 Análise Mercúrio Total (HgT)**

Para a determinação do mercúrio total na água foram pesados 25,00 g das amostras. Em seguida foram adicionados 0,20 mL de cloreto de bromo ( $\text{BrCl}_2$ ,  $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ ). Após 40 minutos ocorreu a adição de cloridrato de hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) 30% (m/v) com volume de 400  $\mu\text{L}$ . Após repouso de 5 min, as amostras foram adicionadas 2,0 mL de cloreto estanoso ( $\text{SnCl}_2$ ) e finalmente o Hg total foi determinado utilizando o espectrofotômetro de fluorescência atômica (AFS, Merx-T, Model III, Brooks Rand Instruments<sup>®</sup>) (TAYLOR *et al.*, 2011).

### 3.4.8 Método para análise de Metilmercúrio (MeHg)

Para determinação de MeHg alíquotas de 50 ml de água total foi previamente destilada conforme o método *Environmental Protection Agency* – EPA 1630 (USA, 1998). Brevemente as amostras foram tomadas em duplicata e submetidas sistema de destilação de metilmercúrio (DMS Brooks Rand Labs®) em temperatura constante de 125° em fluxo constante de gás argônio (Ultra Puro 5.0). Para isto, foi necessário o uso de tubos de politetrafluoretileno (PTFE) Teflon®, sendo que ao início foi realizado a adição de 200 µl de deditiocarbamato de pirrolidina de amônio (APDC) da Sigma Aldrich®, sendo este o agente de complexação. Desta forma, após a destilação a amostra permaneceu em repouso por cerca de 24 horas para que então a leitura fosse realizada no aparelho (Figura 7) de cromatografia gasosa acoplada a espectrofotômetro de fluorescência atômica (CG-AFS Merx-M, Model III, Brooks Rand Instruments®) (TAYLOR *et al.*, 2011).

**Figura 7** – Módulos de análises sistema Merx-T e Merx-M da *Brooks Rand Labs*.



Fonte: Próprio autor.

### **3.4.9 Método analítico do Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )**

Para a determinação de nitrato na água empregou-se a brucina pois esta reage com o nitrato em meio ácido resultando na coloração amarelo. Assim, com o equipamento espectrômetro em 410 nm é possível determinar sua concentração. A amplitude de detecção de nitrato por este método é de 1 a 50  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ . Em sintaxe o método consiste em adicionar brucina e em seguida  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (levando a amostra no escuro por 10min), posteriormente adiciona-se água destilada e retorna-se a amostra no escuro por mais 20 min, após este procedimento deve-se ler as amostras no espectrômetro.

### **3.4.10 Método para análise de Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ )**

Para a determinação do nitrito o espectrofotômetro deve estar calibrado em 543 nm. Por ser um nutriente instável em meio aquoso este é um elemento intermediário de forma que se localiza na cadeia de reações entre a oxidação da amônia e da redução amônia à nitrato. Este nutriente reage com a sulnil-amida em meios ácidos formando o diazônico. Este último reage com o N-(1 naftil) etilenodiamina dicloreto e forma o azo-composto cujo a coloração é em tonalidades rosa. A partir deste composto é possível determinar sua concentração em meio aquoso.

### **3.4.11 Método analítico do Oxigênio Dissolvido**

Para a fixação do OD em campo foi utilizado o sulfato manganoso monoidratado ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e solução alcalina de iodeto de azida composto pelas seguintes substâncias e concentrações: Hidróxido de Sódio ( $\text{NaOH}$ ) 50%; Água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 34%; Iodeto de Potássio ( $\text{KI}$ ) 15% e Azida de

Sódio ( $\text{NaN}_3$ ) 1%. Já em laboratório foi realizado a titulação com o uso do tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  a 0,01N) até atingir a concentração de reação do método. Com os volumes utilizados foi empregado a fórmula apresentada por Golterman, Clymo e Ohnstad (1978). Já o método utilizado é titulométrico (APHA, 1995). O iodométrico de Winkler é procedimento volumétrico baseado na propriedade oxidante do OD, obtido por titulometria. A titulação refere-se à análise química quantitativa feita pela determinação do volume de uma solução cuja concentração é conhecida com exatidão, necessário para reagir quantitativamente com um volume determinado da solução que contém a substância a ser analisada (amostra).

Procedimento no Campo: com o uso do frasco de coleta de oxigênio (previamente calibrado o volume) de 60ml, coleta-se a amostra sem formar bolhas. Tampa-se o frasco retirando-se o excedente. Adiciona-se 250  $\mu\text{L}$  da solução de sulfato manganoso e 250 $\mu\text{L}$  da solução de azida. Tampa-se o frasco e homogeneíza-se. No Laboratório: adiciona-se na amostra 5 mL de solução de ácido sulfúrico 50%, tampa-se o frasco e agita-se para dissolver todo o precipitado. Transfere-se 50mL da amostra para um Erlenmeyer de 250 mL. Titula-se com solução de tiosulfato 0,01N, até que a amostra fique incolor. Anota-se o volume de tiosulfato gasto na titulação.

#### **3.4.12 Método analítico do pH**

O potencial hidrogeniônico indica as condições de acidez, neutralidade e alcalinidade da água podendo variar de 0 a 14,  $\text{pH}=7$  é neutro,  $\text{pH}<7$  indica acidez, e maiores indicam alcalinidade (VON SPERLING, 2014). Equipamento utilizado: Sonda LUTRON - PH-221.

#### **3.4.13 Método analítico do Material Particulado em Suspensão**

Gravimétrico. Para a pesquisa de material particulado em suspensão, foram filtradas 100 mL de amostra de água bruta, utilizando um sistema de filtração a vácuo com membranas de acetato

de celulose (Millipore) com porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$ , previamente pesadas em balança analítica. Após a filtração, as membranas com o (Material Particulado em Suspensão) MPS foram levadas para secagem em dessecador em temperatura ambiente e, posteriormente pesadas novamente para se obter o total de material particulado em suspensão (MPS).

#### **3.4.14 Método analítico da Temperatura da Água**

A medição da temperatura da água na superfície foi realizada diretamente no corpo através do sensor de temperatura equipamento eletrométrico sonda LUTRON - PH-221, utilizando como resultado da medição o valor expresso no display do equipamento. A determinação de temperatura do ar também foi realizada com o sensor acima, mantendo-o na posição vertical, evitando incidência direta da luz solar.

#### **3.4.15 Transparência**

A transparência da água foi obtida com auxílio do disco de Secchi segundo Esteves (1998) onde o disco foi submerso no local onde foi realizada a determinação até seu desaparecimento do campo visual. Repetindo-se a operação para certificação de que o disco permanecia no seu limite de visualização e efetuando-se a medição (cm) deste limite no cabo graduado de apoio do equipamento.

### 3.4.16 Turbidez

A turbidez da água é a sua capacidade em dispersar a radiação, devido a partículas suspensas (argila, silte, areia, rochas) sendo o material em suspensão responsável pela cor aparente da água (ESTEVEZ, 1998). O equipamento utilizado é o Turbidímetro de bancada HACH - modelo 2100 P. Após a calibração do aparelho insere-se uma amostra na cubeta e limpa-se qualquer fator interveniente na leitura, como marca de dedo na cubeta, onde a marcação na parte superior da cubeta fica na marcação do equipamento para a realização da leitura. O método consiste na utilização de um turbidímetro, equipamento dotado com fonte de luz (filamento de tungstênio), que incide na amostra, e um detector fotoelétrico capaz de medir a luz que é dispersada em um ângulo de 90° em relação à luz incidente. A luz dispersada, quando passa através da água, dá a medida em unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

### 3.4.17 Tratamento estatístico

O tratamento estatístico dos dados teve início com a organização das planilhas eletrônicas (Microsoft Office Excel 2016) com o auxílio do software XLStat versão de testes e RStudio versão 1.3 *Desktop*. Neste foram realizadas parte das análises estatísticas descritiva univariada e multivariada.

Para a análise estatística univariada foi aplicado o cálculo das médias, medianas, mínimas e máximas para todos os parâmetros de qualidade da água e o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney aplicadas aos dados do mercúrio total e metilmercúrio a fim de detectar diferenças significativas entre os períodos sazonais e margem de contribuição.

Após estas análises foi empregado o método de análises estatística multivariada a partir da *Principal Component Analysis* (PCA). Este método permite a análise multivariada gerando como produto um gráfico com vetores apresentando a dispersão das variáveis analisadas de forma simplificada (CABRAL; ALMEIDA, 2018). Além disso, permite que sejam verificadas

similaridades de variáveis assim como amostras e pontos de forma simultânea. Tais características reforçam sua aplicação em recursos hídricos considerando as variações espaciais dos diferentes corpo hídricos estudados quanto as variações temporais do ciclo hidrológico como pode ser visto nos trabalhos de (CASTRO, 2015; KOUMROUYAN; SANTANA, 2008; NASCIMENTO, 2012; SOUZA, 2009).

O método faz o uso da matriz de variância e covariância das variáveis construindo combinação destas variáveis de forma linear. Tais combinações são então denominadas de componentes principais (CP's) que podem ser independentes ou correlacionadas, auxiliando na interpretação das variáveis envolvidas. Cabral e Almeida (2018) ressaltam que o objetivo da PCA é analisar o conjunto total de variáveis a partir das componentes principais.

Os vetores resultantes revelam a correlação entre as variáveis a partir do ângulo formado entre seus pares. O método de PCA tem como objetivo reduzir o número de variáveis não correlacionadas (BORŮVKA; VACEK; JEHLIČKA, 2005; SANTOS, 2014). Os resultados do PCA resultam em duas componentes principais que graficamente são representadas pelos eixos das ordenadas e abscissa.

### **3.5 PRODUTO TÉCNICO**

Os produtos gerados que versam sobre o tema Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos no Brasil conforme a Resolução nº004/2017 do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos são esta dissertação e relatório técnico final de pesquisa. O relatório técnico citado refere-se a texto dissertativo e pode ser encontrado nos apêndices deste documento.



## 4 RESULTADOS

### 4.1 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DA ÁGUA

A Tabela 3 apresenta a estatística descritiva (mínima, média e máxima) dos principais resultados da qualidade água. Entre os parâmetros estão as concentrações de amônia, condutividade elétrica, fósforo dissolvido, fósforo total, nitrato, nitrito, oxigênio dissolvido, pH, material particulado em suspensão, transparência e turbidez.

A concentração de oxigênio dissolvido na água variou entre 4,67 mg.L<sup>-1</sup> (Rio Tarumã) e 11,67 mg.L<sup>-1</sup> (Rio Machado) onde a mínima foi encontrada no período da vazante e águas baixas, enquanto as maiores máximas foram observadas na águas baixas (11,67 mg.L<sup>-1</sup>) e vazante (10,67 mg.L<sup>-1</sup>). A concentração de oxigênio dissolvida é importante para a comunidades aquáticas em especial as aeróbicas, considerando que teores ideais para comunidades aquáticas é acima de 5,00 mg.L<sup>-1</sup>. O oxigênio dissolvido apresentou as mínimas durante a vazante e águas baixa (4,67 mg.L<sup>-1</sup>) ambos no Rio Tarumã e maiores máximas do período das águas altas no Igarapé Pascana (8,89 mg.L<sup>-1</sup>), vazante no Igarapé Cajueiro (10,67 mg.L<sup>-1</sup>) e enchente no Rio Machado (8,00 mg.L<sup>-1</sup>). As concentrações de OD médias no Rio Machado variaram entre 6,12 e 11,67 mg.L<sup>-1</sup> e nos afluentes da margem esquerda as médias ficaram entre 6,73 e 8,75 mg.L<sup>-1</sup>. Os afluentes da margem direita apresentaram a média mais elevada no período da vazante (7,72 mg.L<sup>-1</sup>).

O pH variou entre 4,07 e 7,30 dentre os tributário e Rio Machado durante todo o período hidrológico. A variação entre mínimo e máxima do pH no Rio Machado foram identificados ambos no mesmo período com valores de 6,60 e 7,40, respectivamente. As médias dos afluentes da margem esquerda apresentaram valores variando entre 5,85 (águas baixas) e 7,63 (águas baixas), sendo as médias destes afluentes 6,82 (águas altas), 6,50 (vazante), 6,66 (águas baixas) e 6,61 (enchente). Os afluentes da margem esquerda tiveram médias de pH de 6,77 (águas altas), 5,75 (vazante), 6,20 (águas baixas) e 6,21 (enchente).

A condutividade elétrica variou entre 5,50  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  e 75,10  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ , sendo que o menor valor observado no Igarapé Cajueiro no período da vazante e o maior valor observado no Rio Jaru no

período das águas baixas. Considerando os valores médios de acordo com a sazonalidade foi observado que os igarapés da margem direita apresentaram as menores médias de condutividade elétrica. O Rio Machado (RM) apresentou pouca variação entre os períodos estudados, enquanto os afluentes da margem direita e esquerda apresentaram maior variabilidade devido a maior heterogeneidade das águas dos afluentes que se apresentam distintas entre si. Os valores de condutividade elétrica observados indicam que os rios estudados apresentaram características predominantemente de rios de águas claras.

Os menores valores de condutividade foram observados na vazante ( $5,50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), águas baixas ( $5,60 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), enchente ( $8,00 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) e águas altas ( $8,10 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), respectivamente. As águas baixas apresentaram o maior valor encontrado tem relação com o uso e ocupação da bacia, tipo de solo e vazão do corpo hídrico.

A concentração do MPS variou entre  $4,00$  e  $112,00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , onde os menores valores foram observados nas águas baixas ( $4,00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) seguido do período da enchente ( $8,00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), vazante ( $10,00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e águas altas ( $14,00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). A relação dos períodos com maiores máximas inicia-se no período das águas altas com  $112,00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Rio Machado) já o segundo maior valor encontrado foi durante as águas altas quando o valor encontrado foi de  $96,60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Rio Jaru). Os afluentes da margem direita do Rio Machado apresentaram menores médias de MPS ao longo do período hidrológico com exceção do período das águas baixas. Assim, os afluentes da margem esquerda apresentaram médias mais elevadas em relação aos demais no períodos das águas baixas ( $49,50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), enquanto neste mesmo período o Rio Machado apresentou a menor média de MPS em relação a suas margens ( $17,00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

A transparência e a turbidez possuem relação inversa, por isso serão apresentadas juntamente e verificado se para a área de estudo seguem as ocorrências de outras regiões. A transparência da água variou entre  $0,20$  e  $1,20 \text{ m}$  nos afluentes e no rio principal, respectivamente. O menor valor foi observado no Igarapé Monte Cristo no período das águas baixas, contudo este tributário apresentou regime de escoamento intermitente. A maior transferência verificada foi de  $1,20 \text{ m}$  foi no Igarapé Buenos Aires durante o período das águas altas. Os dados mostram que o Rio Machado apresenta o maior valor de transparência da água durante o período das águas baixas ( $0,70 \text{ m}$ ) enquanto o maior valor verificou foi de  $0,22 \text{ m}$  no período da enchente.

A turbidez medida do Rio Machado apresentou valores mínimos superiores aos registrados nos afluentes da margem esquerda e direita em todos os períodos hidrológicos. Os afluentes da margem direita apresentaram as menores mínimas exceto nos períodos das águas baixas quando ao valor de turbidez mínimo encontrado nos afluentes da margem esquerda foi de 5,20 UNT. Médias elevadas dos Rio Machado foram 75,93 UNT (enchente), 34,60 UNT (águas altas), 34,00 UNT (vazante) e 12,19 UNT (águas baixas), para os afluentes da margem direita os valores mais elevados foram 29,10 UNT (enchente), 18,40 UNT (águas altas), 16,19 UNT (águas baixas) e 9,92 UNT (vazante).

A transparência por sua vez apresentou valores maiores nos afluentes da margem direita com exceção para o período das águas baixas (Tabela 3). A temperatura da água não foi inferior a 24,90°C em nenhum dos períodos hidrológicos, mas chegaram a atingir 33,70°C durante o período das águas baixas. A mensuração das temperaturas foi realizada durante o período diurno e tem relação direta com a incidência solar sobre a superfície da água. As temperaturas elevadas nos períodos das águas baixas podem ser justificadas pelas baixas vazões somado com a baixa nebulosidade.

**Tabela 3** - Resumo estatístico mínimo, máximo e média da condutividade elétrica (CE), fósforo dissolvido (Pd), fósforo total (Pt), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), oxigênio dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Material Particulado em Suspensão (MPS), transparência (Trans) e turbidez por sazonalidade.

Parâmetro	Sistema	Águas altas			Vazante			Águas baixas			Enchente		
		Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média
CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	RM	32,40	34,80	33,60	32,60	34,70	33,83	35,50	36,00	35,80	34,90	37,40	35,77
CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	MD	8,10	33,30	22,73	5,50	29,90	15,10	5,60	72,60	31,05	8,00	36,60	24,63
CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	ME	14,20	44,40	30,98	13,10	49,90	28,00	18,50	75,10	41,40	19,00	47,00	32,85
Pd ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	RM	16,57	34,43	25,14	10,40	37,33	23,36	17,67	32,67	25,44	44,94	48,28	46,33
Pd ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	MD	9,43	33,71	16,21	9,40	51,40	26,83	17,67	68,50	35,58	4,94	44,94	19,25
Pd ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	ME	9,43	19,43	13,54	7,40	95,40	31,87	17,67	33,50	28,92	8,28	55,78	26,82
Pt ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	RM	38,86	63,14	47,43	19,83	103,40	68,54	61,83	98,50	85,17	101,00	119,33	110,44
Pt ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	MD	13,86	68,86	39,57	15,40	104,58	49,95	51,00	107,67	67,25	22,67	109,33	57,53
Pt ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	ME	28,86	56,00	42,61	35,67	197,40	108,66	63,50	102,00	87,71	36,00	100,17	61,21
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	RM	25,20	35,99	32,24	29,02	37,41	32,48	0,65	1,22	1,02	0,58	1,01	0,82
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	MD	28,50	33,57	30,76	27,20	36,36	31,79	0,17	1,11	0,66	0,47	1,85	0,97
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	ME	21,15	30,25	27,40	30,74	35,48	32,88	0,29	1,02	0,60	0,36	2,03	1,09
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	RM	4,10	9,27	6,16	4,43	4,93	4,71	1,86	7,21	4,95	23,11	25,07	24,24
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	MD	2,10	6,93	3,74	0,77	4,77	2,49	0,96	8,64	4,74	5,61	24,89	13,20
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	ME	4,43	8,93	6,48	0,93	5,60	2,89	0,00	7,57	4,92	9,54	21,14	14,36
$\text{NH}_3$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	RM	24,60	92,10	65,10	26,60	71,60	48,77	7,10	23,60	15,43	8,10	18,21	11,97
$\text{NH}_3$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	MD	12,10	773,10	156,35	26,10	168,10	59,77	23,60	1277,60	248,85	7,55	11,47	8,83
$\text{NH}_3$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	ME	15,60	255,60	89,98	2,10	72,60	41,60	9,10	34,10	22,10	8,26	20,82	12,93
OD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	RM	6,12	6,94	6,53	7,00	10,33	8,44	8,00	11,67	10,00	6,67	8,00	7,44
OD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	MD	5,31	8,89	6,86	4,67	10,67	7,72	4,67	10,67	7,17	7,00	8,00	7,28
OD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	ME	5,71	7,14	6,73	7,33	10,33	8,75	7,33	10,33	8,75	6,33	7,00	6,83
pH	RM	6,78	6,91	6,83	7,00	7,20	7,09	6,60	7,40	6,97	6,70	6,72	6,71
pH	MD	6,55	6,94	6,77	4,07	6,65	5,75	4,74	7,30	6,20	5,35	6,75	6,21
pH	ME	6,57	7,13	6,82	5,94	7,00	6,50	5,85	7,63	6,66	6,24	6,87	6,61
MPS ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	RM	91,00	112,00	92,40	65,00	80,00	66,00	5,00	65,00	17,00	51,00	66,00	55,00
MPS ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	MD	14,00	79,80	59,50	10,00	57,00	42,50	4,00	34,00	18,50	16,00	43,00	31,50
MPS ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	ME	37,80	96,60	86,10	27,00	69,00	61,50	31,00	79,00	49,50	8,00	55,00	38,50

Parâmetro	Sistema	Águas altas			Vazante			Águas baixas			Enchente		
Transp (m)	RM	0,53	0,69	0,59	0,28	0,38	0,35	0,65	0,70	0,68	0,22	0,31	0,25
Transp (m)	MD	0,80	1,20	0,96	0,32	1,09	0,71	0,20	1,15	0,55	0,36	1,17	0,79
Transp (m)	ME	0,63	1,19	0,80	0,33	0,95	0,58	0,49	0,73	0,59	0,41	0,63	0,49
UNT (UNT)	RM	32,40	36,60	34,60	23,50	52,00	34,00	8,88	14,40	12,19	57,40	86,10	75,93
UNT (UNT)	MD	7,15	33,90	18,40	4,00	16,50	9,92	7,54	40,50	16,19	8,60	66,40	29,10
UNT (UNT)	ME	9,34	46,40	27,41	5,00	28,50	16,75	5,20	34,80	19,98	24,70	43,70	37,40

Sistema: RM = Rio Machado; MD = Margem direita; ME = Margem esquerda.

Fonte: Próprio autor.

Com relação ao fósforo dissolvido foi observado que os valores médios nas águas altas, mais elevado, foi registrado no próprio Rio Machado (25,14  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), seguido do valor encontrado na margem direita (16,21  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) e margem esquerda (13,54  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), respectivamente. Já no período da vazante os valores maiores foram registrados nos afluentes da margem esquerda, isto indica maior aporte de matéria orgânica advinda destes afluentes, enquanto nas águas baixas foram os afluentes da margem direita e novamente o Rio Machado apresenta a maior média para o período das enchentes.

O fósforo dissolvido é assimilado pelos plânctons e vegetais aquáticos, por isso seu estudo é importante para verificar o índice de estado trófico dos ambientes aquáticos. Contudo, em regiões tropicais é necessário verificar as concentrações de oxigênio na água para avaliação de possibilidade de eutrofização do corpo hídricos.

Na média sazonal os valores mais elevados da concentração de fósforo total são encontrados nas águas baixas e enchentes. Contudo, o Rio Anari apresentou comportamento distinto apresentando a maior concentração no período da vazante de (197,40  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ).

A fração de fósforo que está contida nas partículas inferiores a 0,45  $\mu\text{m}$  refere-se a parte dissolvida deste nutriente. Assim, os valores de fósforo dissolvido evidenciam que as relações intertemporais apresentam baixa tendências.

O fósforo dissolvido, tido como um fator limitante dos microrganismos apresentou máxima de 95,50  $\mu\text{g.L}^{-1}$  durante a vazante e a mínima foi registrada no período da 4,94  $\mu\text{g.L}^{-1}$  na enchente. As médias apresentaram os valores de 17,45  $\mu\text{g.L}^{-1}$  na águas altas, 27,58  $\mu\text{g.L}^{-1}$  na vazante 31,19  $\mu\text{g.L}^{-1}$  nas águas baixas e 27,83  $\mu\text{g.L}^{-1}$  na enchente. Nas águas altas e enchente foram os que apresentaram as médias mais próximas em valores.

As concentrações de fósforo total na água também leva em consideração o fósforo presente na biomassa presente das algas e possui relação com o fósforo dissolvido (LAMPARELLI, 2004). Os valores médios por período hidrológico são 42,32  $\mu\text{g.L}^{-1}$  nas águas altas, 72,30  $\mu\text{g.L}^{-1}$  durante a vazante, 77,68  $\mu\text{g.L}^{-1}$  nas águas baixas e 70,87  $\mu\text{g.L}^{-1}$  durante as enchentes.

O nitrato apresentou menores valores de mínimas por período hidrológico foram águas baixas (0,17  $\text{mg.L}^{-1}$ ), enchente (0,36  $\text{mg.L}^{-1}$ ), águas altas (21,15  $\text{mg.L}^{-1}$ ) e vazante (27,20  $\text{mg.L}^{-1}$ ). Desse modo, é importante salientar que os compostos com radical nitrogênio possuem relação entre si, pois são participantes do mesmo ciclo biogeoquímico. Por outro lado, as máximas acompanharam as mínimos apresentando a menor máxima nas águas baixas (1,22  $\text{mg.L}^{-1}$ ), enchente (2,09  $\text{mg.L}^{-1}$ ), águas altas (35,99  $\text{mg.L}^{-1}$ ) e vazante (37,41  $\text{mg.L}^{-1}$ ).

Como já citado anteriormente as porções e nitrogênio estão relacionadas e o nitrito é uma destas porções. Neste sentido as mínimas do nitrito identificadas águas baixas (<Limite de Detecção - LDT), vazante (0,77  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), águas altas (2,10  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) e enchentes (5,61  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). As máximas encontradas foram 25,07  $\mu\text{g.L}^{-1}$  nas enchente, 9,27  $\mu\text{g.L}^{-1}$  nas águas altas, 8,64  $\mu\text{g.L}^{-1}$  durante as águas baixas e 5,60  $\mu\text{g.L}^{-1}$  na vazante.

Em relação ao parâmetro amônia constata-se que no período de enchentes encontram-se os menores valores, enquanto a vazante já apresenta a tendência de aumento das concentrações, este parâmetro está relacionado com a decomposição da matéria orgânica, resultado das entradas durante os períodos de águas altas e enchentes e que durante o período das águas baixas favorecem este processo. Os teores de nitrogênio amoniacal apresentaram concentração média mais elevada durante o período das águas baixas foi de  $125,22 \mu\text{g.L}^{-1}$ , sendo esta a maior concentração encontrada.

Os valores do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nos afluentes da margem esquerda variaram entre 0,29 e  $35,48 \text{ mg.L}^{-1}$  ao longo do período hidrológico, sendo a mínima encontrada no período das águas baixas e a máxima no período da vazante. Nos afluentes da margem direita foram observados valores a partir de  $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$  nas águas baixas até  $36,36 \text{ mg.L}^{-1}$  durante a vazante, enquanto no Rio Machado variaram entre  $0,58 \text{ mg.L}^{-1}$  nas enchente a  $37,41 \text{ mg.L}^{-1}$  na vazante (Tabela 3).

O nitrito variou entre  $0,77 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Igarapé Buenos Aires) e  $25,07 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Rio Machado). Entre os afluentes da margem esquerda a variação foi entre 0,93 e  $21,14 \text{ } 25,07 \mu\text{g.L}^{-1}$ . Nos afluentes da margem direita a variação foi entre 0,77 e  $24,89 \mu\text{g.L}^{-1}$ . No período das águas altas o nitrito teve maior concentração no Rio Machado ( $9,27 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), porém a média entre os afluentes da margem esquerda ( $6,48 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) foi maior que a média do Rio Machado ( $6,16 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) para o mesmo período. A máxima encontrada para nitrito nos afluentes da margem direita foi de  $6,93 \mu\text{g.L}^{-1}$  na águas altas. Para o período de vazante a média dos afluentes da margem direita foram  $2,49 \mu\text{g.L}^{-1}$ , tributário das margem esquerda  $2,89 \mu\text{g.L}^{-1}$  e do Rio Machado  $4,71 \mu\text{g.L}^{-1}$ . No período das águas baixas a média dos tributário da margem esquerda ( $4,92 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) apresentou-se muito próximo do valor de nitrito encontrado no Rio Machado ( $4,95 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) para o mesmo período. Na enchente os valores tendem a aumentar apresentando a maior média no Rio Machado ( $24,24 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) seguido dos afluentes da margem esquerda ( $14,36 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e margem direita ( $13,20 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) (Tabela 3).

Os valores de amônia ( $\text{NH}_3$ ) no Igarapé Monte Cristo apresentaram um valor de  $1277,60 \mu\text{g.L}^{-1}$  nas águas baixas, porém isso se deve a uma condição de regime de escoamento superficial intermitente do afluente. Assim os valores encontrados no Rio Machado estão entre  $7,10 \mu\text{g.L}^{-1}$  e  $92,10 \mu\text{g.L}^{-1}$ , nos afluentes da margem esquerda entre  $2,10 \mu\text{g.L}^{-1}$  e  $255,60 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

## 4.2 MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO NA ÁGUA

A Tabela 4 apresenta a estatística descritiva do mercúrio total e metilmercúrio nos afluentes e no Rio Machado. No Rio Machado os valores do mercúrio total variaram entre 1,06 ng.L<sup>-1</sup> (águas baixas) e 34,38 ng.L<sup>-1</sup> (enchente). Nos tributários da margem esquerda a mínima foi de 1,70 ng.L<sup>-1</sup> (águas baixas) e máximas de 21,78 ng.L<sup>-1</sup> (enchente). Considerando os afluentes observa-se que o Hg total variou entre 0,90 ng.L<sup>-1</sup> e 21,68 ng.L<sup>-1</sup> e 1,70 ng.L<sup>-1</sup> e 21,78 ng.L<sup>-1</sup> nos afluentes localizados na REBIO Jaru e igarapés da margem esquerda, respectivamente. O MeHg variou entre 0,01 ng.L<sup>-1</sup> no Igarapé Azul período da vazante e 0,66 ng.L<sup>-1</sup> no Igarapé dos Milagres período das águas baixas.

**Tabela 4** – Estatística descritiva do Hg total e MeHg (ng.L<sup>-1</sup>) e percentual de MeHg em relação ao Hg total na águas dos afluentes e rio principal.

Ponto	HgT	HgT	HgT	MeHg	MeHg	MeHg	MeHg.HgT*100%
	Mín	Média	Max	Mín	Média	Max	Média
Ig. Azul	2,52	6,18	13,03	0,01	0,12	0,23	2,78 (8,58-0,47)
Ig. Buenos Aires	1,20	12,23	21,68	0,03	0,12	0,21	4,87 (17,84-0,17)
Ig. Cajueiro	1,41	6,59	11,75	0,05	0,13	0,20	4,74 (14,57-0,43)
Ig. dos Milagres	1,74	5,81	10,55	0,08	0,28	0,66	11,34 (37,90-0,80)
Ig. Monte Cristo	1,84	5,33	9,03	0,03	0,14	0,23	4,37 (12,43-0,76)
Ig. Pascana	1,66	8,16	16,85	0,07	0,15	0,22	4,10 (11,86-0,58)
Ig. Tarifa	4,32	9,15	15,23	0,08	0,21	0,46	2,75 (5,12-0,60)
Rio Anari	1,70	8,26	16,03	0,04	0,14	0,20	3,65 (11,05-0,64)
Rio Jaru	1,74	10,89	21,78	0,05	0,13	0,20	3,56 (11,80-0,44)
Rio Machado	1,06	10,10	34,38	0,02	0,12	0,21	4,77 (17,43-0,05)
Rio Tarumã	0,90	4,21	8,32	0,04	0,12	0,19	6,47 (19,63-0,79)

Fonte: Próprio autor.

Os resultados de mercúrio total mostram que há a diferença entre os valores dos corpos hídricos que afluem do interior da REBIO Jaru. Contudo, o Igarapé Buenos Aires apresentou valores elevados no período da vazante e enchentes. Já os valores de metilmercúrio apresentaram mais elevados no período das águas baixas e enchentes.

As concentrações de MeHg mais elevadas foram nos períodos das águas baixas (0,66 ng.L<sup>-1</sup>) e os menores teores de metilmercúrio foram na vazante (0,01 ng.L<sup>-1</sup>). O valor mais elevado do



mercúrio total foi registrado durante a enchente (34,38 ng.L<sup>-1</sup>) e a mínima nas águas baixas (0,90 ng.L<sup>-1</sup>).

O metilmercúrio apresentou concentrações média de 0,10 ng.L<sup>-1</sup> (águas altas), 0,05 ng.L<sup>-1</sup> (vazante), 0,20 ng.L<sup>-1</sup> (águas baixas) e 0,12 ng.L<sup>-1</sup> (enchente). Quando comparados as médias por sazonalidade do Rio Machado em relação a seus afluentes da margem esquerda constata-se que nestes afluentes as médias sazonais são mais elevadas que o Rio Machado.

Os afluentes da margem direita apresentaram os menores valores médios de MeHg em relação ao Rio Machado nos períodos de águas altas com valores de 0,06 ng.L<sup>-1</sup> e 0,10 ng.L<sup>-1</sup>, respectivamente. No período da vazante com valores médios de MeHg da margem direita foi de 0,04 ng.L<sup>-1</sup> e no Rio Machado foi de 0,05 ng.L<sup>-1</sup>. Já nos períodos das águas baixas e enchente o Rio Machado apresentou valores médios de metilmercúrio inferiores aos encontrados nos afluentes da margem direita (Tabela 5)

A Tabela 5 apresenta os resultados de Hg distribuídos espacialmente considerando por área de contribuição sendo considerados dos afluentes da margem esquerda, direita e centro (Rio Machado). Os rios que apresentaram as maiores médias de mercúrio total foram Igarapé Buenos Aires (margem direita), Rio Jaru (margem esquerda) e Rio Machado. Em relação ao metilmercúrio os valores médios mais elevados foram os Igarapé dos Milagres, Igarapé Tarifa e Rio Anari, todos da margem esquerda (Tabela 5).

**Tabela 5** - Resultado estatístico metilmercúrio (MeHg) (ng.L<sup>-1</sup>) e mercúrio total (HgT) (ng.L<sup>-1</sup>) por sazonalidade e margem de contribuição.

Parâmetro	Sistema	Águas altas			Vazante			Águas baixas			Enchente		
		Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média
MeHg	RM	0,08	0,11	0,10	0,03	0,06	0,05	0,18	0,21	0,20	0,02	0,18	0,12
MeHg	MD	0,03	0,10	0,06	0,01	0,07	0,04	0,18	0,23	0,21	0,19	0,23	0,21
MeHg	ME	0,09	0,15	0,12	0,04	0,08	0,06	0,19	0,66	0,32	0,19	0,46	0,26
HgT	RM	5,43	6,16	5,79	10,33	27,60	16,29	1,06	1,44	1,27	8,54	34,38	21,46
HgT	MD	4,95	16,85	8,45	2,20	20,95	7,28	0,90	2,68	1,61	5,21	21,68	12,55
HgT	ME	4,39	8,48	6,77	6,85	12,65	10,43	1,70	4,32	2,37	5,15	21,78	14,55

Observações: RM = Rio Machado; MD = Margem direita; ME = Margem esquerda.

Fonte: Próprio autor.

Considerando os valores médios para mercúrio total as concentrações observadas variaram entre 1,77 ng.L<sup>-1</sup> nas águas baixas até 15,13 ng.L<sup>-1</sup> na enchente. Para o parâmetro do metilmercúrio as médias apresentaram concentrações médias de 0,05 ng.L<sup>-1</sup> na vazante, 0,09 ng.L<sup>-1</sup> nas águas altas, 0,20 ng.L<sup>-1</sup> na enchente e 0,24 ng.L<sup>-1</sup>.

Os valores de metilmercúrio no Rio Machado variaram entre 0,02 ng.L<sup>-1</sup> (enchente) e 0,21 ng.L<sup>-1</sup> (enchente) enquanto nos afluentes da margem esquerda variaram entre 0,04 ng.L<sup>-1</sup> (vazante) e máxima de 0,66 ng.L<sup>-1</sup> (águas baixas). Já na margem direita as mínimas e máximas foram 0,01 ng.L<sup>-1</sup> e 0,23 ng.L<sup>-1</sup> nos períodos das vazante e águas baixas, respectivamente.

O resultado apresentado mostra que o Rio Machado apresenta concentrações mais elevadas em relação a seus afluentes durante os períodos de transição águas altas para águas baixas e águas baixas e águas altas.

No Rio Machado os valores de mercúrio total variaram entre 1,06 ng.L<sup>-1</sup> (águas baixas) e 34,38 ng.L<sup>-1</sup> (enchente), nos afluentes da margem esquerda a mínima foi de 1,70 ng.L<sup>-1</sup> (águas baixas) e máximas de 21,78 ng.L<sup>-1</sup> (enchente).

No Rio Machado as médias variaram entre 1,27 ng.L<sup>-1</sup> (águas baixas) e 21,46 ng.L<sup>-1</sup> (enchente). Para os afluentes da margem esquerda os valores médios foram registrados entre 2,37 ng.L<sup>-1</sup> (águas baixas) e 14,55 ng.L<sup>-1</sup> (enchente). Os afluentes da margem direita apresentaram médias entre 1,61 ng.L<sup>-1</sup> (águas baixas) e 12,55 ng.L<sup>-1</sup> (enchente).

A Tabela 6 apresenta o resultado do teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney* comparando as médias dos parâmetros mercúrio total e metilmercúrio conforme a área de contribuição, agrupados por sazonalidade. Observa-se diferença estatística entre os afluentes a margem direita e o Rio Machado, isto indica que o MeHg varia com a sazonalidade nos rios da margem direita.

**Tabela 6** - Resultado do teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney* para os parâmetros mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em ng.L<sup>-1</sup> comparando as áreas de contribuição.

Sazonalidade	Parâmetro	Grupo 1	Média (ng.L <sup>-1</sup> )	Grupo 2	Média (ng.L <sup>-1</sup> )	p
Águas altas	MeHg	MD	0,06	RM	0,10	0,05*
Águas altas	MeHg	MD	0,06	ME	0,12	0,02*
Águas altas	MeHg	RM	0,10	ME	0,12	0,63
Vazante	MeHg	MD	0,04	RM	0,05	0,91
Vazante	MeHg	MD	0,04	ME	0,06	0,07
Vazante	MeHg	RM	0,05	ME	0,06	0,40
Águas baixas	MeHg	MD	0,21	RM	0,20	0,38
Águas baixas	MeHg	MD	0,21	ME	0,32	0,83
Águas baixas	MeHg	RM	0,20	ME	0,32	0,40
Enchente	MeHg	MD	0,21	RM	0,12	0,02*
Enchente	MeHg	MD	0,21	ME	0,26	1,00
Enchente	MeHg	RM	0,12	ME	0,26	0,06
Águas altas	HgT	MD	8,45	RM	5,79	0,55
Águas altas	HgT	MD	8,45	ME	6,77	0,76
Águas altas	HgT	RM	5,79	ME	6,77	0,63
Vazante	HgT	MD	7,28	RM	16,29	0,26
Vazante	HgT	MD	7,28	ME	10,43	0,35
Vazante	HgT	RM	16,29	ME	10,43	0,86
Águas baixas	HgT	MD	1,61	RM	1,27	0,55
Águas baixas	HgT	MD	1,61	ME	2,37	0,26
Águas baixas	HgT	RM	1,27	ME	2,37	0,06

Sazonalidade	Parâmetro	Grupo 1	Média (ng.L <sup>-1</sup> )	Grupo 2	Média (ng.L <sup>-1</sup> )	p
Enchente	HgT	MD	12,55	RM	21,46	0,69
Enchente	HgT	MD	12,55	ME	14,55	0,45
Enchente	HgT	RM	21,46	ME	14,55	1,00

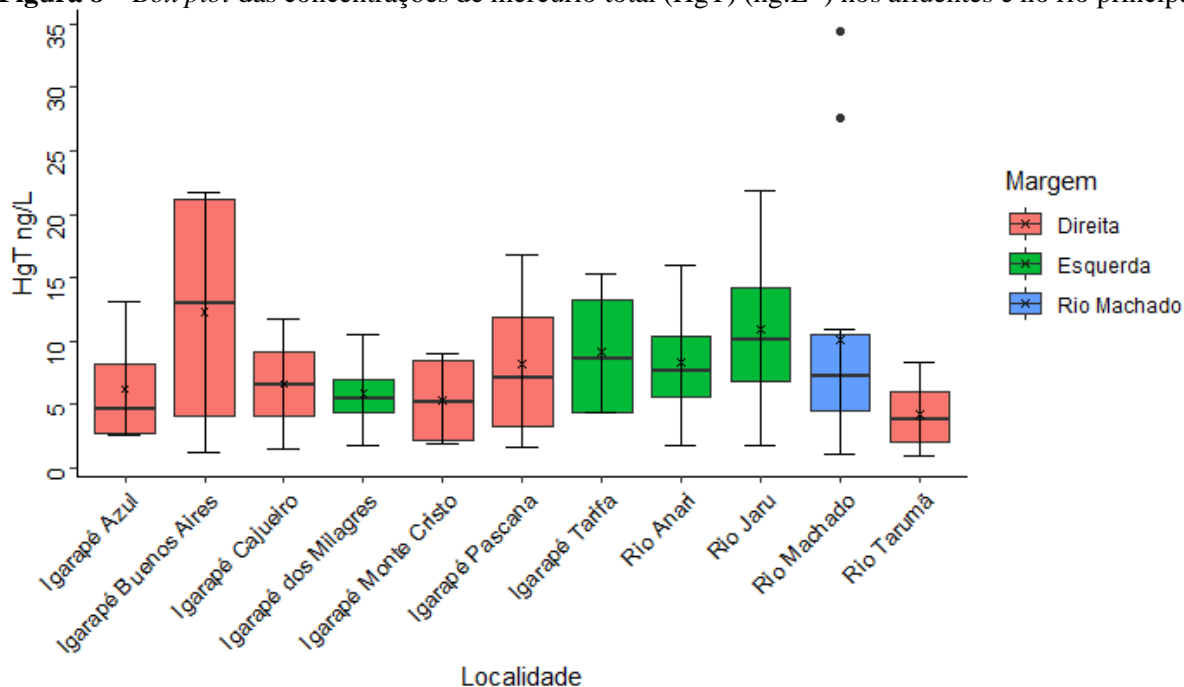
Fonte: Próprio autor. Observação: MD = Margem direita; ME = Margem esquerda; RM = Rio Machado.

Os resultados do teste revelaram que houve diferença significativa das médias de MeHg entre as áreas de contribuição da margem direita em relação ao Rio Machado como também entre margem direita e margem esquerda no período das águas altas Tabela 6. No período das enchentes o MeHg apresentou diferença estatística quando comparadas as médias deste parâmetro na área de contribuição da margem direita em relação ao Rio Machado. Enquanto o mercúrio total não apresentou diferenças estatísticas significativas entre os parâmetros analisados nas diferentes áreas de contribuição.

A Figura 8 mostra a *boxplot* da distribuição estatística do mercúrio total em relação ao ponto destacando-se a margem de contribuição. Os maiores valores foram encontrados no Igarapé Buenos Aires e Rio Jaru, as médias mais elevadas foram do Igarapé Buenos Aires, Rio Jaru e Rio Machado. Por outro lado, as mínimas encontradas foram no Rio Tarumã, Rio machado e Igarapé Buenos Aires. Destaca-se que o Rio Tarumã que representa 71,48% da REBIO Jaru e apresentou baixo valor de Hg. Como exceção do igarapé dos milagres os afluentes da margem esquerda apresentaram valores médios mais elevados do que os afluentes da margem direita

A resolução CONAMA nº 357/05 preconiza que o HgT na água deve ser menor que 200 ng.L<sup>-1</sup>, desta forma, todos os valores encontrados estão abaixo do valor máximo estabelecido nesta resolução. Para o metilmercúrio não há valor de referência na legislação.

**Figura 8** – Box plot das concentrações de mercúrio total (HgT) ( $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ) nos afluentes e no rio principal.

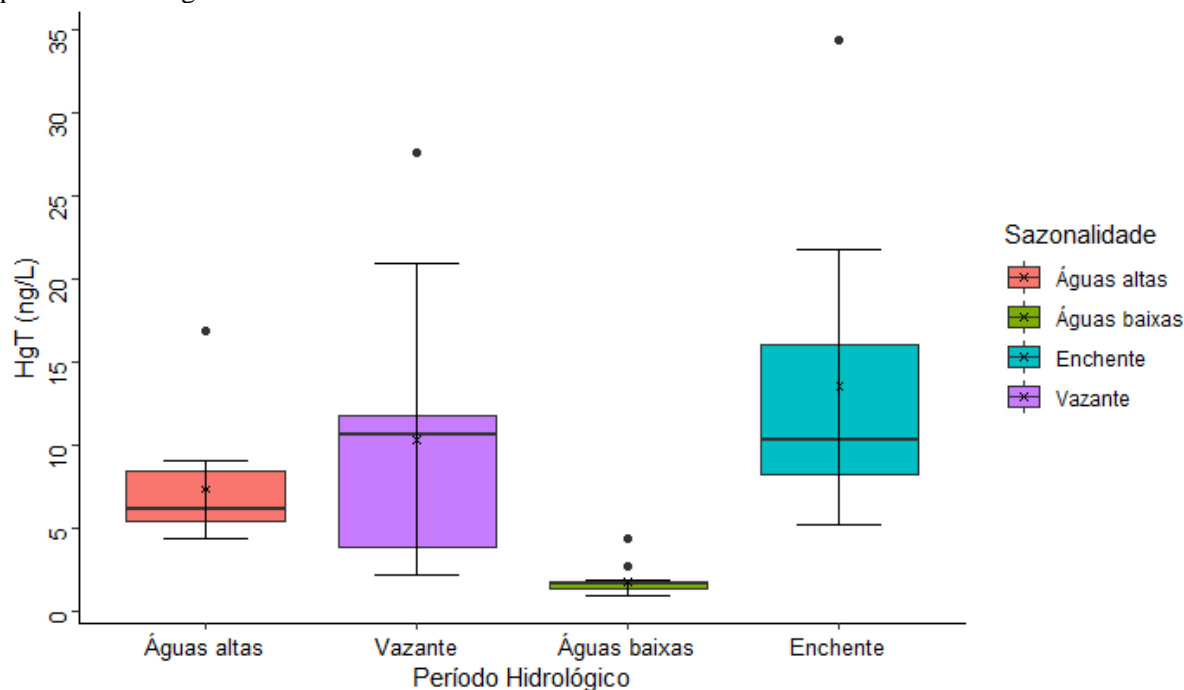


Fonte: Próprio autor.

Os valores máximos de mercúrio total encontrados nos afluentes da margem esquerda, com exceção do Igarapé dos Milagres, foram maiores do que o valor máximo de mercúrio total do Rio Machado. Os corpos hídricos que apresentaram maior variação foram o Igarapé Buenos Aires, Igarapé Pascana, Rio Anari e Rio Jaru.

A Figura 9 mostra concentração do HgT distribuídas por período hidrológico. Os menores valores de HgT médios foram encontrados no período das águas baixas. Entretanto, os maiores valores foram observados no período da enchente. Estes dados indicam que a dinâmica do HgT depende da sazonalidade.

**Figura 9** – *Box plot* indicando a variação sazonal das concentrações de mercúrio total (HgT) durante período hidrológico.

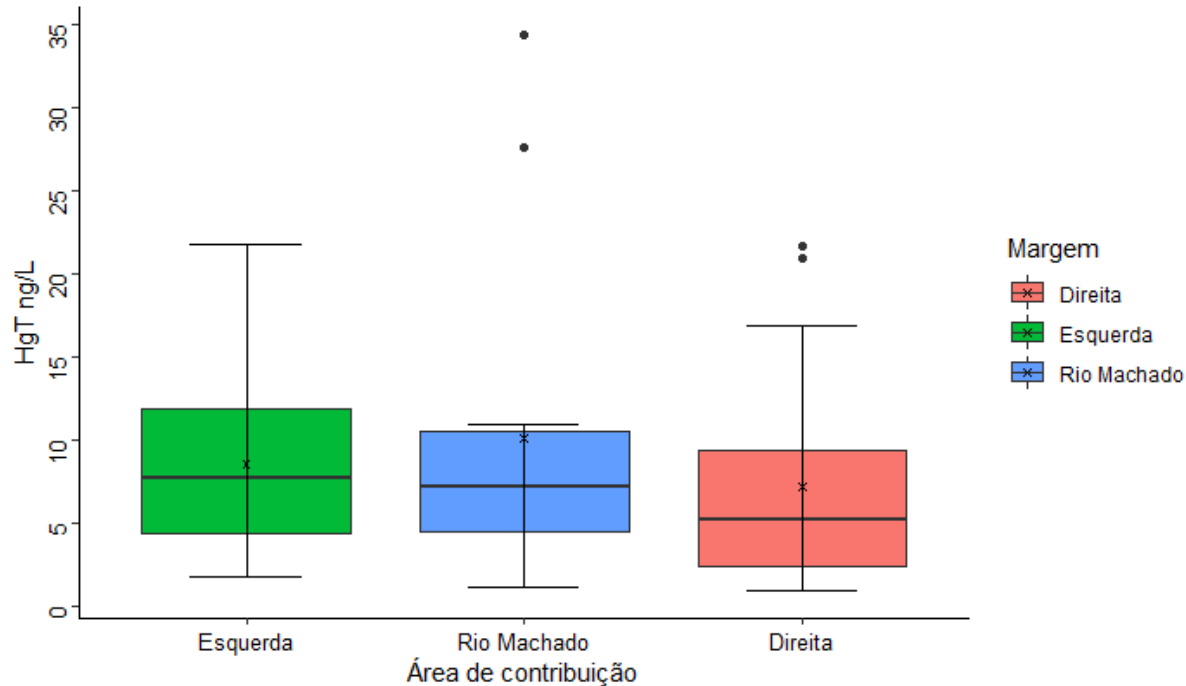


Fonte: Próprio autor.

A Figura 10 mostra as concentrações de mercúrio total no rio principal e afluentes das margens direita e esquerda. Os dados indicam que não há diferença estatisticamente significativa entre as concentrações encontradas nos afluentes e no Rio Machado.

Os afluentes da margem esquerda e direita apresentaram maior variabilidade que o Rio Machado (Figura 10), indicante heterogeneidade entre os afluentes. A média dos afluentes da margem direita apresentaram-se menores do que as contribuições do Rio Machado e margem esquerda. Apesar disso, não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores.

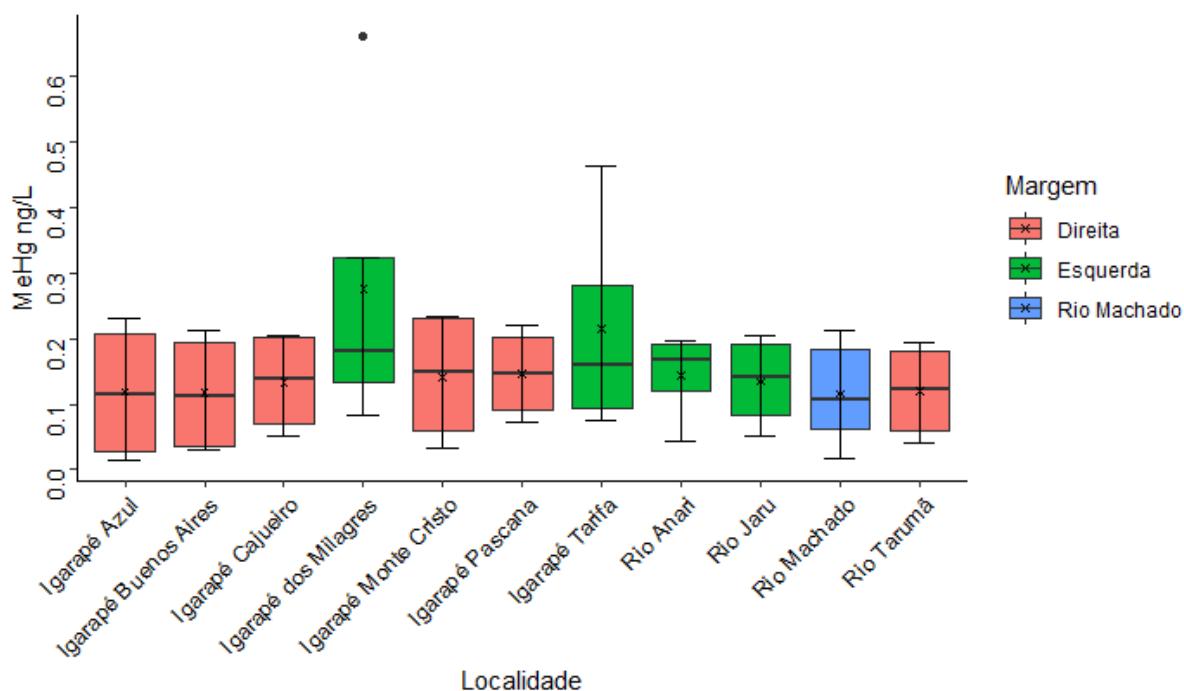
**Figura 10** – *Box plot* das concentrações de mercúrio total (HgT) ( $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ) por região de contribuição do Rio Machado.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 11 apresenta os resultados das concentrações de metilmercúrio nos afluentes e rio principal. Foi observado que o metilmercúrio apresenta relação com o mercúrio total, pois a concentração de MeHg na água depende mais das condições ambientais favoráveis a metilação que a concentração do Hg total na água.

**Figura 11** – *Box plot* das concentrações de metilmercúrio (MeHg) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) por tributário e no rio principal.



Fonte: Próprio autor.

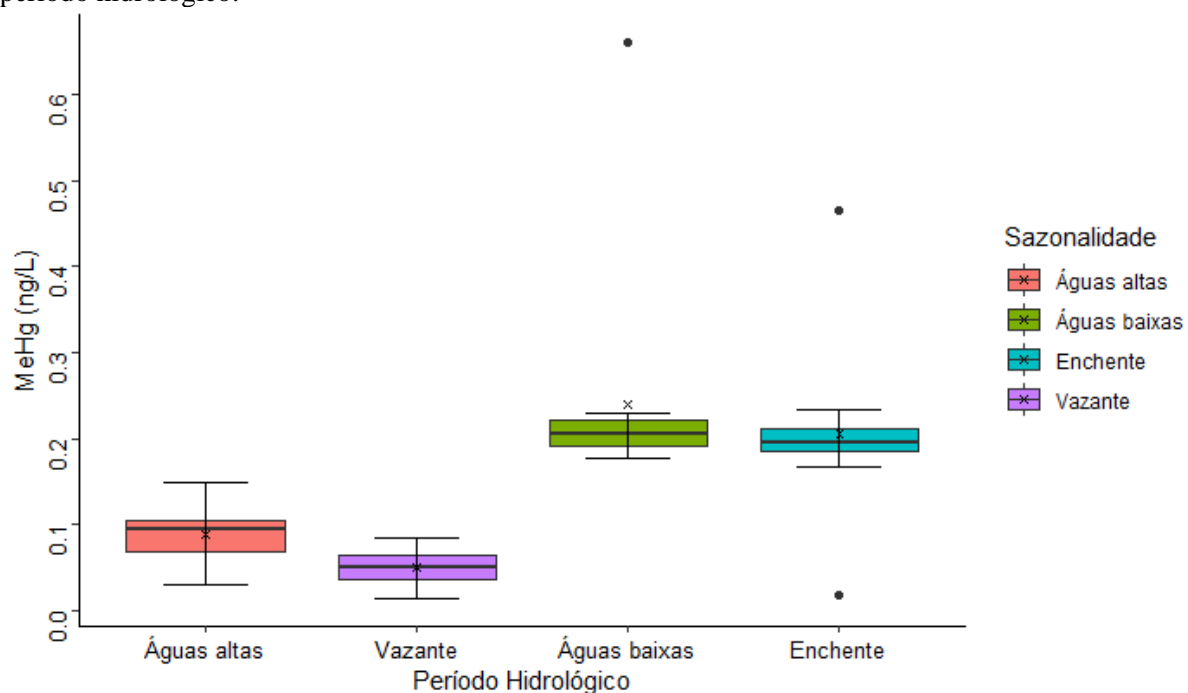
O Igarapé dos Milagres apresenta o maior valor de metilmercúrio encontrado seguido dos pontos Igarapé Tarifa e Igarapé Monte Cristo. O gráfico também mostra que os valores mínimos são observados no Igarapé Azul, Rio Machado e Igarapé Buenos Aires.

Para verificar a distribuição sazonal dos afluentes foi confeccionado gráficos da Figura 12 é observado a distribuição da concentração do mercúrio. Os períodos são divididos em águas altas, vazante, águas baixas e enchente.

O período das águas baixas apresentou a maior média e mediana, entretanto os valores de mínima e máxima deste período foram inferiores ao mínimo e máximo do período da enchente. As médias e medianas são similares nos períodos das águas altas, vazante e enchente.



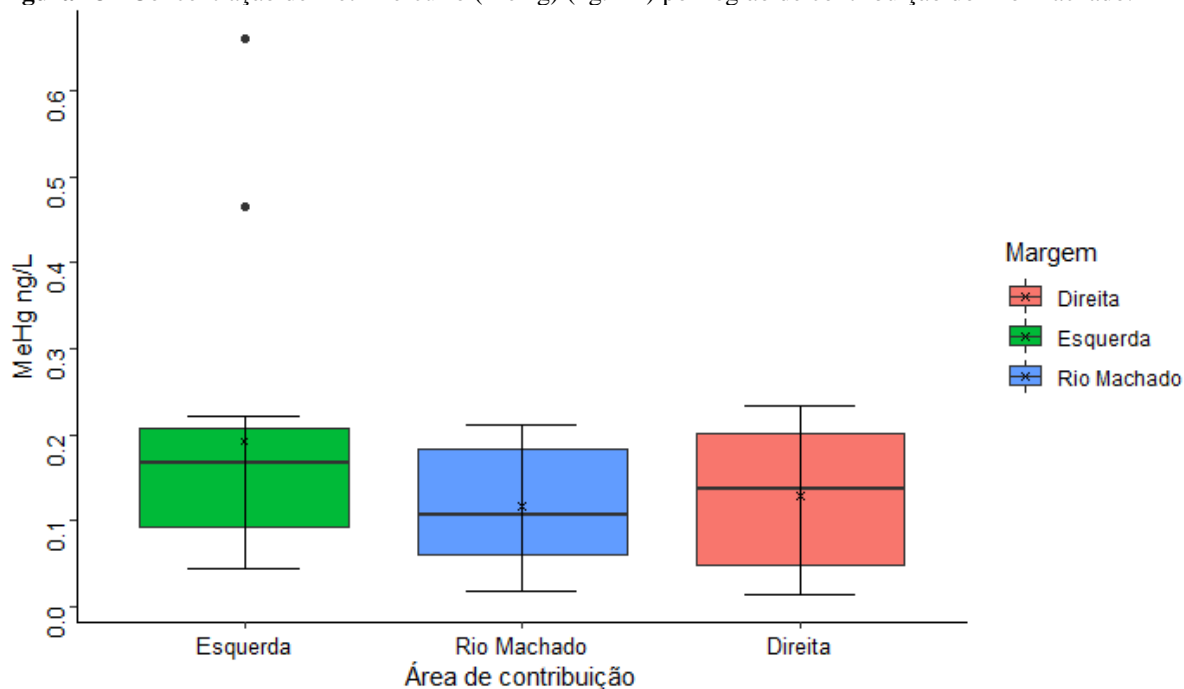
**Figura 12** – *Box plot* indicando a variação sazonal das concentrações de metilmercúrio (MeHg) durante período hidrológico.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 13 mostra a concentração de metilmercúrio por região de contribuição sendo elas margem esquerda, Rio Machado e margem direita.

**Figura 13** - Concentração de metilmercúrio (MeHg) (ng.L-1) por região de contribuição do Rio Machado.



Fonte: Próprio autor.

Os resultados revelam que os afluentes da margem esquerda apresentam valores de média e mediana superiores ao Rio Machado e os afluentes da margem direita, porém não houve diferença estatisticamente significativa entre os dados. Os valores médios de metilmercúrio na margem direita, assim como a mediana foram superiores aos valores encontrados no Rio Machado. A maior amplitude é observada nos afluentes da margem direita e os afluentes da margem esquerda apresentaram valores de média e mediana divergentes.

#### **4.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MERCÚRIO**

Os resultados dos parâmetros morfométricos são apresentados na Tabela 7 com informações da área total da bacia hidrográfica, perímetro, comprimento axial, coeficiente de compacidade, fator forma, índice de circularidade, comprimento das drenagens da bacia, densidade de drenagens, cota mínima e cota máxima de acordo com a bacia hidrográfica.

**Tabela 7** - Parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas estudadas: Área (A) (km<sup>2</sup>), contribuição (C) (%), perímetro (P) (km), comprimento axial (C.Axial) (km), coeficiente de compactidade (Cc) (adimensional), fator forma (FF) (adimensional), drenagens (D) (km), densidade de drenagem (DD) (km/km<sup>2</sup>), cota mínima (H mín) (m), cota máxima (H máx) (m).

Bacia	Margem	A	C	P	C. Axial	Cc	FF	IC	D	DD	H mín.	H máx.
Igarapé Azul	MD	149,67	1,28	69,25	17,81	1,58	0,47	0,39	130,66	0,87	120,00	413,00
Igarapé Buenos Aires	MD	25,84	0,22	30,81	8,72	1,70	0,34	0,34	20,98	0,81	91,00	169,00
Igarapé Cajueiro	MD	30,09	0,26	29,93	7,80	1,53	0,49	0,42	26,37	0,88	110,00	192,00
Igarapé dos Milagres	ME	133,72	1,14	66,16	19,93	1,60	0,34	0,38	113,45	0,85	117,00	368,00
Igarapé Monte Cristo	MD	66,26	0,56	43,83	13,65	1,51	0,36	0,43	59,04	0,89	120,00	402,00
Igarapé Pascana	MD	120,67	1,03	59,90	14,91	1,53	0,54	0,42	123,40	1,02	97,00	232,00
Igarapé Tarifa	ME	110,77	0,94	56,27	15,46	1,50	0,46	0,44	139,35	1,26	100,00	258,00
Rio Anari	ME	1345,21	11,47	244,62	66,86	1,87	0,30	0,28	1014,83	0,75	102,00	342,00
Rio Jaru	ME	7244,75	61,78	605,95	171,33	1,99	0,25	0,25	5201,95	0,72	105,00	586,00
Rio Tarumã	MD	2500,59	21,32	331,89	90,89	1,86	0,30	0,29	1983,98	0,79	100,00	503,00
Rio Machado	RM	75421,67	-	2259,80	610,46	2,30	0,20	0,19	54803,67	0,73	53,00	592,00

Fonte: Próprio autor.

A maior sub-bacia hidrográfica da área de estudo é a do Rio Jaru, seguida bacia do Rio Tarumã e Rio Anari. Desta forma, as áreas das bacias hidrográficas estudadas totalizam 11727,57 km<sup>2</sup> dos quais não são consideradas as demais área de contribuição além das bacias. As áreas das bacias hidrográficas variaram entre 25,84 e 7244,75 km<sup>2</sup>, sendo a menor bacias estudada a do Igarapé Buenos Aires. A maior área de contribuição são dos afluentes da margem esquerda que juntos possuem uma área de 8834,45 km<sup>2</sup>, o que representa 75,33% do total da área das bacias estudadas. As demais bacias hidrográficas contribuem em área total 2893,12 km<sup>2</sup> representando 24,67%.

Os maiores perímetros quantificados são das bacias que apresentam a maior área, assim como o comprimento axial. Os resultados do coeficiente de compactidade demonstram que as bacias do Rio Jaru (1,99), Rio Anari (1,87) e Rio Tarumã (1,86), contudo, todos os valores foram superiores as 1,50 (Igarapé Tarifa). O fator forma ficou entre os valores 0,25 (Rio Jaru) e 0,54 (Igarapé Pascana) de forma que os as maiores área apresentaram os menores valores.

Em relação ao índice de circularidade, foi observados resultados seguindo a tendência do fator forma em que as maiores bacias hidrográficas apresentaram os menores valores de índice de circularidade. O Igarapé Tarifa (0,44), Igarapé dos Milagres (0,43), Igarapé Buenos Aires (0,42) e Igarapé Monte Cristo (0,42) apresentaram os maiores valores de índice de circularidade.

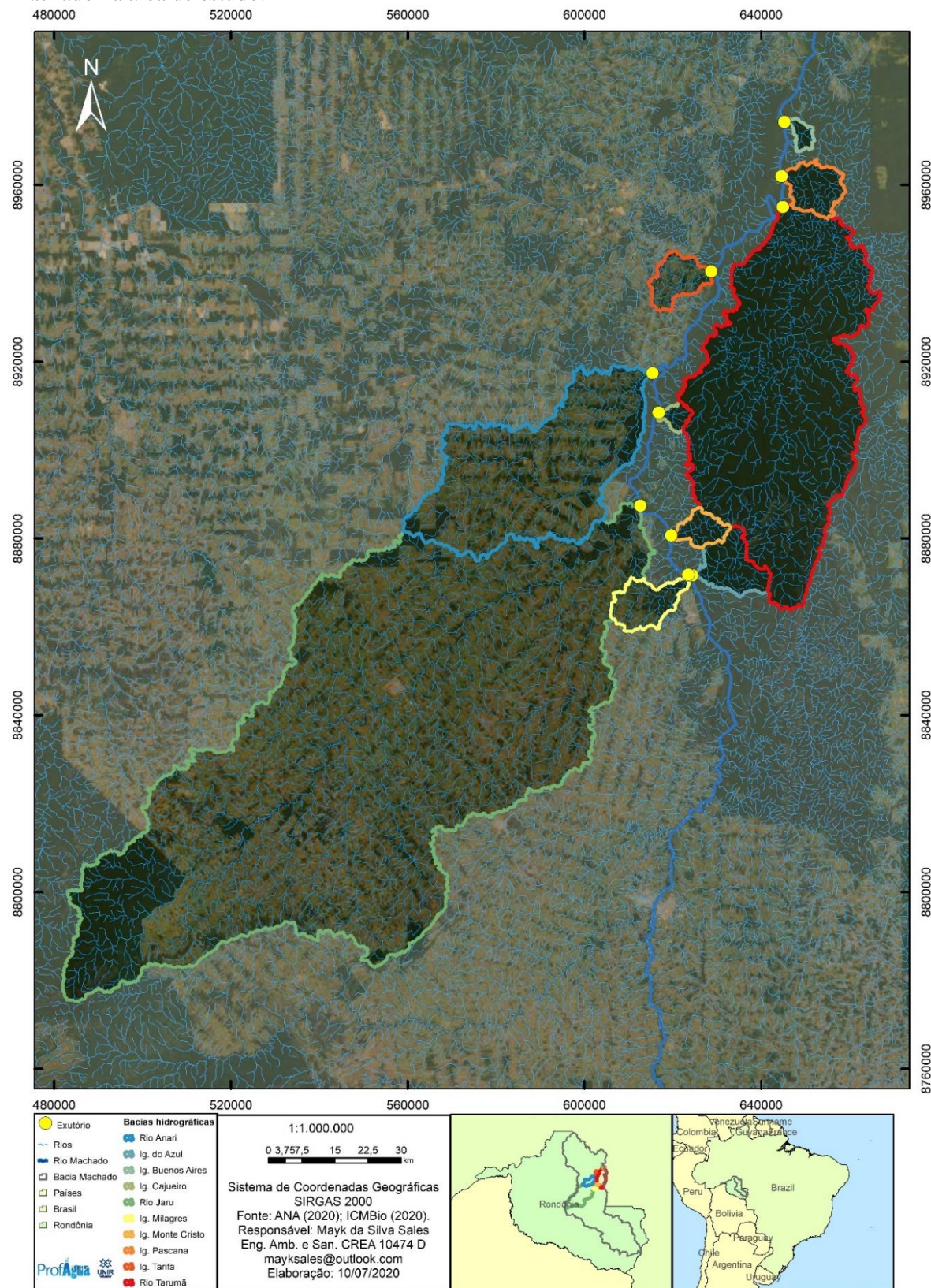
Os valores de drenagem por bacia hidrográfica representa a extensão total dos corpos hídricos contidos na bacia. As extensões das drenagem foram maiores nas bacias do Rio Jaru (5201,95 km), Rio Tarumã (1983,98 km), Rio Anari (1014,83 km). As menores redes de drenagem foram identificadas nas bacias do Igarapé Buenos Aires (20,98 km), Igarapé Cajueiro (26,37 km) e Igarapé Monte Cristo (59,04 km).

Os resultados de densidade de drenagem refletem a extensão das redes de drenagem por área de bacia hidrográfica. Assim, diferentes dimensões de bacias hidrográficas podem apresentar uma boa drenagem proporcional ao tamanho de sua bacia. No caso das bacias hidrográficas estudadas os resultados das bacias do Igarapé Tarifa apresentou a maior densidade de drenagem (1,26 km/km<sup>2</sup>) seguida do Igarapé Pascana (1,02 km/km<sup>2</sup>) e Igarapé Monte Cristo (0,89 km/km<sup>2</sup>). Cabe salientar que o Igarapé Monte Cristou apresentou regime de drenagem intermitente mesmo sendo no interior da REBIO Jaru, tendo cobertura florestal preservada e estando na região amazônia.

As variações entre a cota mínima e máxima de uma bacia hidrográfica podem refletir na velocidade de escoamento dos corpos hídricos estudados. Este dado refere-se a bacia como um todo e não somente ao talvegue do corpo hídrico, que é onde realmente ocorre o escoamento. A menor cota altimétrica entre as bacias hidrográficas estudadas foi a do Igarapé Buenos Aires (91,00 m), Igarapé Pascana (97,00 m), Igarapé Tarifa e Rio Tarumã apresentaram os mesmos valores de cota mínima com o valor de 100,00 m. A cota máxima entre as bacias identificadas são as do Rio Jaru (586,00 m), Rio Tarumã (503,00 m) e Igarapé Azul (413,00 m).

A área ocupada pelas bacias hidrográficas é apresentada na Figura 14 juntamente com espacialização dos pontos de coleta, limites das bacias hidrográficas e redes de drenagem. Em seguida a Figura 15 apresenta a distribuição espacial das concentrações de mercúrio total de acordo com os pontos e período sazonal do regime hidrológico.

**Figura 14** - Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo.

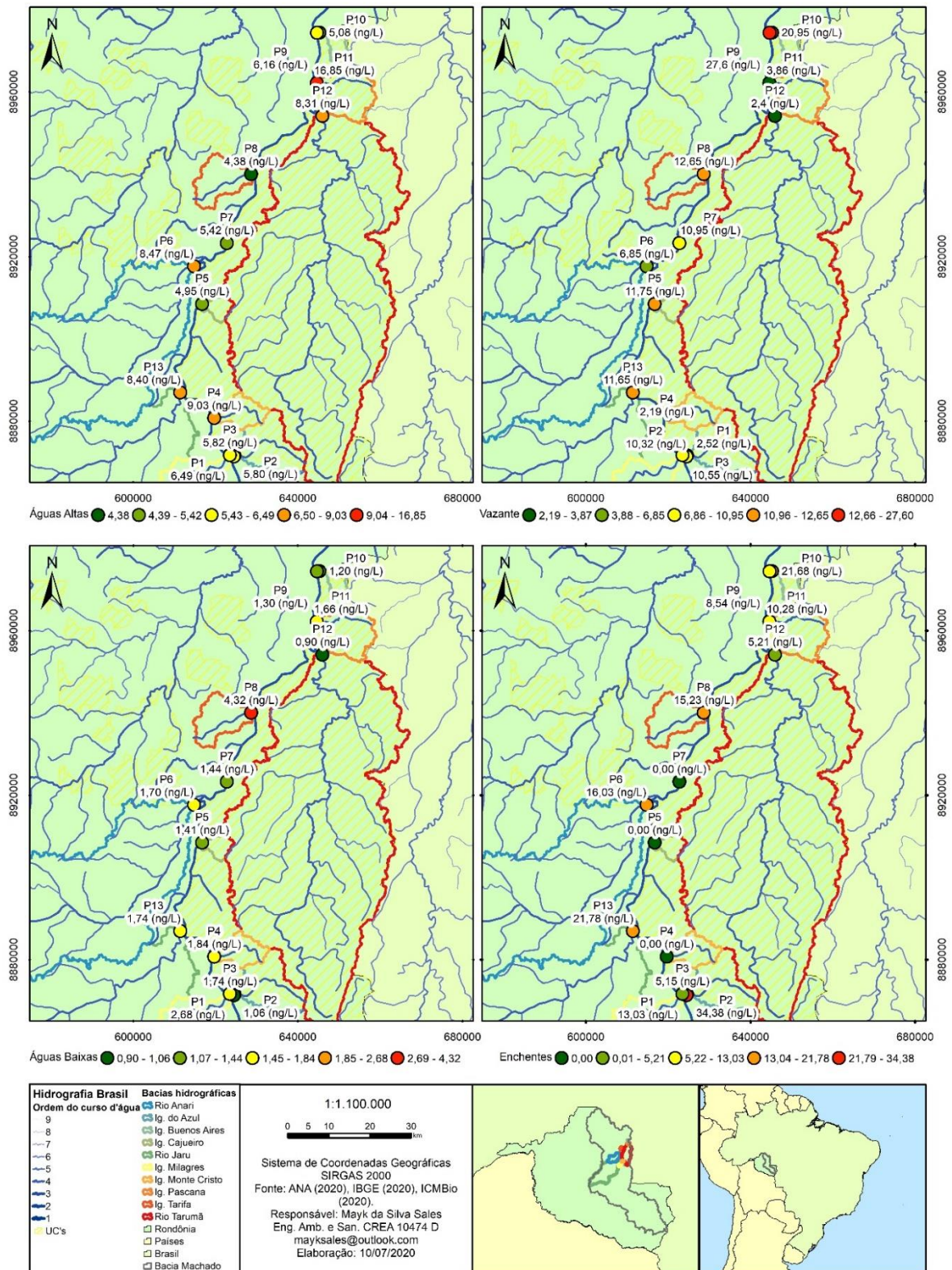


Fonte: Próprio autor.



**Figura 15 - Distribuição espacial das concentrações de mercúrio total (HgT) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade.**

**Distribuição espacial do Hg na água do Rio Machado no trecho da Rebio Jaru (2019)**



Fonte: Próprio autor.

A Figura 16 evidencia que durante o período das águas altas que a concentração de mercúrio total nas massas de águas, que passaram pelo ponto mais a montante no Rio Machado (P2) apresentaram valores maiores quando comparados os valores mais a jusante (P9). Quando observado o valor de mercúrio total no ponto médio do Rio Machado (P7) encontra-se o valor de 5,42 ng.L<sup>-1</sup>, sendo este valor inferior ao dos pontos P2 e P9, neste mesmo período.

No período da vazante é constatado uma elevação da concentração de mercúrio total entre os pontos montante (início do trecho da REBIO Jaru) (10,32 ng.L<sup>-1</sup>) e jusante (27,6 ng.L<sup>-1</sup>) do Rio Machado, as concentrações da margem esquerda que ocorreram até o ponto médio do Rio Machado foram mais expressivas do que as contribuições da margem direita, com exceção do Igarapé Cajueiro (P5).

No período das águas baixas a configuração das concentrações do HgT na entrada do trecho de estudo é de 1,06 ng.L<sup>-1</sup> e o de saída do trecho é de 1,30 ng.L<sup>-1</sup>, porém no ponto médio o valor é de 1,44 ng.L<sup>-1</sup>, revelando que houve uma redução da concentração ao longo do trecho posterior após o ponto P7. Neste caso, os dados podem indicar uma remoção do Hg das bacias estudadas.

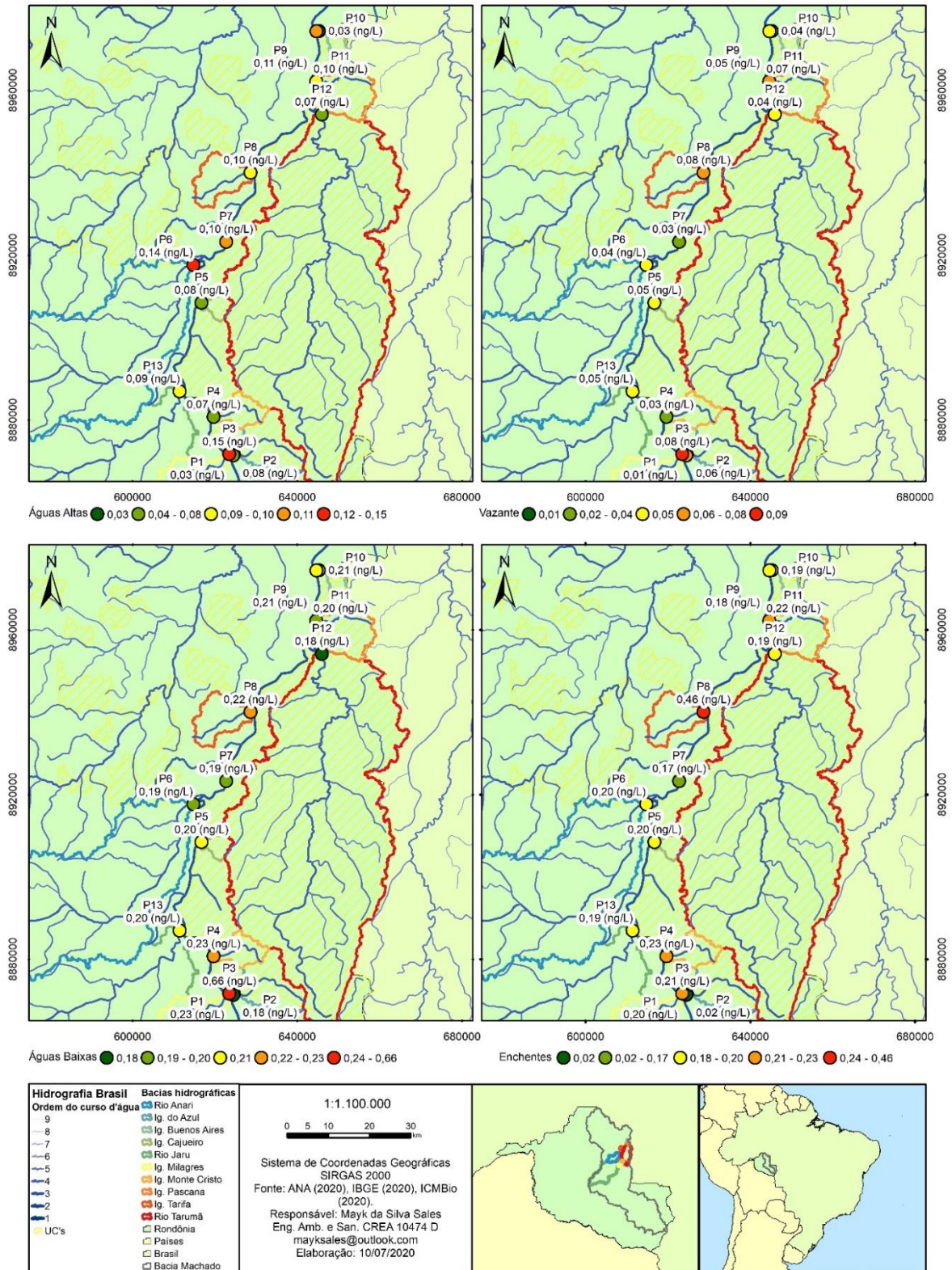
Nos pontos P4, P5 e P7 não houve a quantificação das concentrações do mercúrio total neste período. Contudo, ao longo do trecho quando comparados o valor que é encontrado no ponto P2 34,38 ng.L<sup>-1</sup> e o ponto P9 8,54 ng.L<sup>-1</sup> é observado a diminuição da concentração do mercúrio total no Rio Machado.

Na Figura 16 é apresentada a distribuição espacial dos valores do metilmercúrio nos diferentes períodos hidrológicos na área de estudo.



**Figura 16 - Distribuição espacial das concentrações de metilmercúrio (MeHg) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade.**

**Distribuição espacial do MeHg na água do Rio Machado no trecho da Rebio Jaru (2019)**



Fonte: Próprio autor.



De forma diferente do mercúrio total, o metilmercúrio apresentou redução de sua concentração entre a montante e jusante na área de estudo, tendo como valores registrados 0,08 ng.L<sup>-1</sup> na montante e 0,11 ng.L<sup>-1</sup> na jusante. O ponto médio do Rio Machado apresentou 0,10 ng.L<sup>-1</sup> de metilmercúrio. Assim, os pontos que apresentaram a menor concentração são os da margem direita.

No períodos da vazante as concentrações de MeHg apresentam uma queda no valor das concentrações e o maior valor registrado é proveniente do tributário da margem esquerda P3 (0,08 ng.L<sup>-1</sup>). Durante o período das águas baixas a maior concentração de metilmercúrio é proveniente do tributário da margem esquerda Igarapé dos Milagres (P3) com um valor de 0,08 ng.L<sup>-1</sup>. A concentração do ponto médio do Rio Machado apresentou valor inferior ao encontrado nos demais pontos do Rio Machado neste mesmo período (0,03 ng.L<sup>-1</sup>)

A sazonalidade do período das águas baixas revelou que neste período podem ser encontrados as maiores concentrações de metilmercúrio na águas. Neste período a concentração do metilmercúrio a montante do trecho estudado apresentou um valor de 0,18 ng.L<sup>-1</sup>, enquanto que no ponto a jusante do Rio Machado apresentou valor de 0,21 ng.L<sup>-1</sup>. Neste período as maiores concentrações foram identificadas em afluentes da margem direita como o Igarapé Monte Cristo (P4) e Igarapé Buenos Aires (P10). Já na margem esquerda o Igarapé dos Milagres apresentou o maior valor do período hidrológico (0,66 ng.L<sup>-1</sup>).

Durante a enchente o Igarapé Tarifa, bacia na margem esquerda do Rio Machado, apresentou o maior valor encontrado (0,46 ng.L<sup>-1</sup>). Na outra margem, o Igarapé Monte Cristo apresentou o maior concentração do analito (0,23 ng.L<sup>-1</sup>). O Igarapé Buenos Aires também apresentou valor elevado em relação aos demais afluentes como em outros períodos.

#### **4.4 COBERTURA DA TERRA**

As bacias hidrográficas da margem direita apresentam o estado de conversação natural tendo como cobertura predominante a formação florestal por estarem inseridas nos limites da REBIO Jarú. Este são os casos das bacia hidrográficas do Igarapé Azul (99,97% Formação Florestal),

Igarapé Buenos Aires (99,69% Formação florestal), Igarapé Cajueiro (99,29% Formação Florestal), Igarapé Monte Cristo (98,48% Formação Florestal), Igarapé Pascana (98,63% Formação Florestal) e Rio Tarumã (99,66% Formação florestal).

Além da Formação Florestal foram identificadas nas bacias da margem direita do Rio Machado as classes pastagem, rio, lago e água (rios e lagos) e no caso do Igarapé Monte Cristo, Pascana e Rio Tarumã identificou a da classe cultura anual e perene. Tal constatação pode ter relação com a confusão do método de amostragem que interpreta as respostas espectrais como sendo estas classes, embora não haja este uso no interior da REBIO. Estas então podem ser áreas de vegetação primária ocorrida por conta de clareiras no interior da floresta ou ainda vegetação ripária próxima aos leitos dos igarapés.

Os resultados de cobertura a terra são apresentados nas Tabelas 8 e 9 conforme a bacia hidrográfica.

**Tabela 8** – Cobertura da terra nas bacias hidrográficas proporcional a área sua total percentual (%).

Bacia	Formação Florestal	Outra Formação Natural não Florestal	Pastagem	Cultura anual e Perene	Infraestrutura Urbana	Rio e Lago
Igarapé Azul	99,97	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Igarapé Buenos Aires	99,69	0,04	0,20	0,00	0,00	0,07
Igarapé Cajueiro	99,29	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00
Igarapé dos Milagres	24,65	0,00	74,96	0,10	0,00	0,29
Igarapé Monte Cristo	98,48	0,04	1,42	0,05	0,00	0,00
Igarapé Pascana	98,63	1,02	0,18	0,06	0,00	0,11
Igarapé Tarifa	19,46	0,00	80,07	0,01	0,00	0,46
Rio Anari	24,25	0,00	75,33	0,08	0,02	0,32
Rio Jaru	21,79	0,54	77,01	0,02	0,23	0,42
Rio Tarumã	99,66	0,02	0,22	0,01	0,00	0,09

Fonte: Map Biomas (2020).

**Tabela 9** - Classificação da cobertura da terra na Bacia do Rio Machado.

<b>Classe</b>	<b>Proporção (%)</b>
Cultura anual e perene	0,90
Floresta plantada	0,00
Formação Florestal	49,30
Infraestrutura urbana	0,22
Mineração	0,00
Não identificado	1,01
Outra área não vegetada	0,01
Outra formação natural não florestal	2,62
Pastagem	45,29
Rio e lago	0,64

Fonte: MapBiomias (2020)

As bacias hidrográficas com maior grau de antropização são as bacias do Igarapé Tarifa (80,07% pastagem), Rio Jaru (77,01% pastagem) e Rio Anari (75,33% pastagem). Outra classe relevante para o estudo é a “infraestrutura urbana” que se refere aos núcleos urbanos em cada bacia hidrográfica, assim a bacia do Rio Jaru (0,23% de infraestrutura urbana) seguida da bacia hidrográfica do Rio Anari (0,02% de infraestrutura urbana).

A classe rio e lago apresentaram-se mais elevada nas bacias hidrográficas com maior cobertura desmatada e são elas a bacia hidrográfica do Igarapé Tarifa (0,46%), Rio Jaru (0,42%) e Rio Anari (0,32%). Este valores são referentes as lâmina d’água detectadas pelo sensoriamento remoto indicando maior exposição dos corpos hídricos resultante da supressão da vegetação ciliar ou ainda o aumento da construção de reservatório artificiais para desdentação animal, piscicultura ou irrigação.

Para a análise de cobertura da terra deve ser considerada as áreas totais descrita na Tabela 7, de forma que mesmo para valores proporcionais relativamente baixos esta bacia hidrográfica pode apresentar área de uma determinada classe superior a outras bacias quando comparado com outras bacias hidrográficas.

A exemplo, no caso da bacia hidrográfica do Rio Jaru o uso pastagem que representa 77,01% possui área total de 5457,47 km<sup>2</sup>, ou seja, somente a classe “pastagem” nesta bacia hidrográfica é maior que a das bacias hidrográficas da margem direita.

A bacia hidrográfica do Rio Machado, apresenta mais classes de cobertura do que as apresentam nos afluentes no trecho da área de estudo e tem área total igual a 75421,67 km<sup>2</sup> sendo a maior parte de sua ocupação é formação florestal (49,30%) e pastagem (45,29%). Dentre as demais classes a que tem maior destaque é a “outra formação natural não florestal” que supõe-se que sejam as áreas de transição bioma amazônia com o cerrado. A classe “não identificado” representa 1,01% e a classe rio e lago 0,64% que são as superfícies de corpos hídricos visíveis pelos produtos de sensoriamento remoto.

#### **4.5 MATRIZ DE CORRELAÇÃO E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)**

A Tabela 8 mostra a matriz de correlação de *Pearson* entre os parâmetros físicos-químicos, metilmercúrio e mercúrio total na água. Os dados indicam que a condutividade elétrica apresentou correlação positiva principalmente com os parâmetros temperatura da água (0,68), pH (0,66), fósforo dissolvido (0,44), amônia (0,28).

O fósforo dissolvido apresentou correlação positiva com os parâmetros fósforo total com a temperatura da água. O fósforo dissolvido correlacionou-se negativamente com a transparência da água assim como o fósforo total apresentou correlação negativa com a transparência (-0,52) indicando que a concentração de fósforo dissolvido é menor onde a transparência é maior. Foram observadas ainda correlações positivas com a temperatura da água (0,36) e turbidez (0,35).

Os dados indicam que o fósforo total e dissolvido pode ter origem no MPS uma vez que a turbidez apresenta correlação positiva com este parâmetro, ou seja, águas com maior grau de turbidez apresentam maiores concentrações de fósforo.

O nitrato apresentou correlação negativa com metilmercúrio e com temperatura da água e correlação positiva foi identificada com o material particulado em suspensão. Certamente a presença de material particulado de origem orgânica contribuiu para a correlação entre as

concentrações de nitrato e MPS. Já o nitrito apresentou o maior valor de correlação positiva com a turbidez (0,77) e com mercúrio total.

A correlação negativa entre nitrato e metilmercúrio, evidencia que para a formação deste composto, é necessário a presença não apenas de substâncias orgânicas, mas outras variáveis também são importantes, tais como a concentração de carbono orgânico e condições anóxicas.

**Tabela 10** - Matriz de correlação entre os parâmetros adotados para a análise de PCA (Pearson).

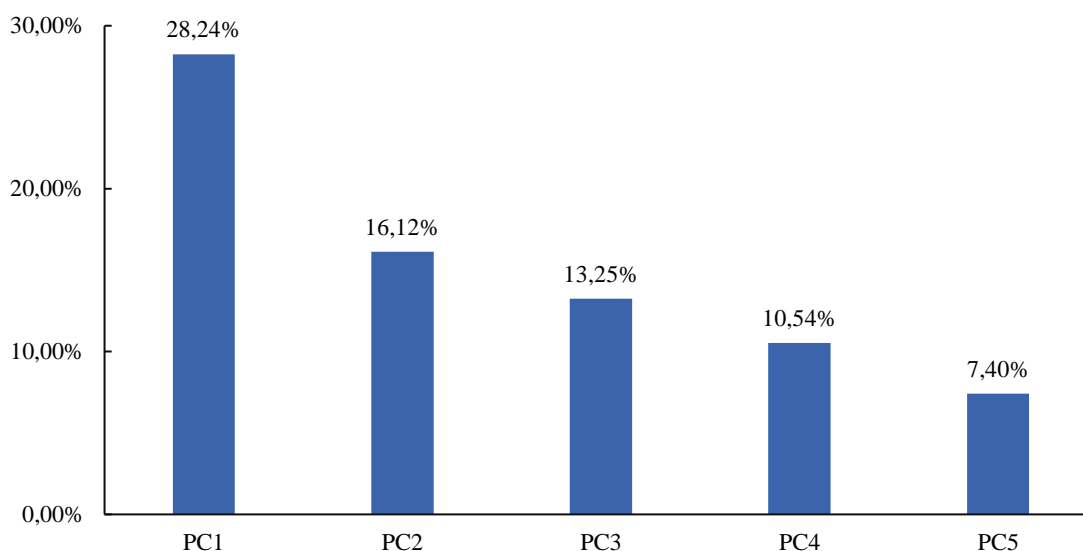
Variáveis	CE	Pd	Pt	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	OD	pH	MPS	T H <sub>2</sub> O	Transp	UNT	MeHg	Hg
CE	<b>1,00</b>													
Pd	<b>0,44</b>	<b>1,00</b>												
Pt	<b>0,28</b>	<b>0,59</b>	<b>1,00</b>											
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,21	-0,17	-0,17	<b>1,00</b>										
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,14	<b>0,29</b>	0,27	<b>-0,48</b>	<b>1,00</b>									
NH <sub>3</sub>	<b>0,29</b>	<b>0,31</b>	0,06	0,02	-0,21	<b>1,00</b>								
OD	-0,13	0,00	0,26	-0,04	-0,20	0,00	<b>1,00</b>							
pH	<b>0,66</b>	0,05	0,18	0,03	0,06	0,13	0,01	<b>1,00</b>						
MPS	0,02	0,04	0,04	<b>0,48</b>	0,00	0,05	-0,11	0,13	<b>1,00</b>					
T H <sub>2</sub> O	<b>0,68</b>	<b>0,46</b>	<b>0,36</b>	<b>-0,45</b>	<b>0,39</b>	0,27	-0,04	<b>0,45</b>	0,05	<b>1,00</b>				
Transp	-0,23	<b>-0,42</b>	<b>-0,52</b>	0,18	<b>-0,32</b>	-0,18	<b>-0,28</b>	-0,09	-0,19	<b>-0,38</b>	<b>1,00</b>			
UNT	0,18	0,27	<b>0,35</b>	-0,21	<b>0,77</b>	0,12	-0,09	0,23	<b>0,37</b>	<b>0,42</b>	<b>-0,58</b>	<b>1,00</b>		
MeHg	0,25	0,04	0,09	<b>-0,69</b>	0,16	0,01	0,05	0,06	<b>-0,39</b>	<b>0,32</b>	-0,12	-0,03	<b>1,00</b>	
HgT	-0,03	0,09	0,13	0,10	<b>0,44</b>	-0,01	0,04	-0,02	0,16	0,03	<b>-0,32</b>	<b>0,46</b>	-0,22	<b>1,00</b>

Os valores em negrito são diferentes de 0 com um nível de significância alfa = 0,95

#### 4.5.1 Análise das componentes principais

Como resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) foi elaborado o gráfico dos vetores por parâmetro e seus escores referentes às duas principais componentes além dos pontos classificados por sazonalidade. A componente 1 (PC1) representou 28,24% da variabilidade dos dados e a componente 2 (PC2) representou 16,12% dados. Juntas estas componentes explicaram 44,36%.

**Figura 17** - "Scree Plot" que representa a variância explicada das cinco primeiras componentes principais identificadas.



Fonte: Próprio autor.

A análise dos *Loadings* (cargas), ou seja, a correlação da componente com as variáveis é apresentada na tabela 9 e figura 18.

As variáveis que mais contribuíram para explicar a variância total dos dados foram a turbidez, temperatura, nitrato e metilmercúrio, enquanto o mercúrio total contribui apenas com 6,43%, o que representa baixa contribuição deste parâmetro para explicar os dados.

A temperatura, turbidez, condutividade elétrica, fósforo dissolvido e fósforo total se correlacionaram positivamente com a componente PC1. A transparência se correlacionou negativamente com a PC1 como também PC2. Os parâmetros mercúrio total e metilmercúrio não apresentaram correlações expressivas com a componente PC1.

Na PC2 o MeHg apresentou correlação negativa forte ao passo que o nitrato apresentou correlação positiva repetindo o resultado da matriz de correlação. O mercúrio total apresentou maior correlação com a PC2. Os parâmetros: material particulado em suspensão, nitrato e mercúrio total apresentaram as maiores correlações com a PC2. As maiores contribuições para a análise da PCA, considerando as componentes PC1 e PC2 foram os parâmetros turbidez, temperatura, nitrato e metilmercúrio.

**Tabela 11** - Contribuições dos parâmetros na análise da PCA.

Parâmetro	PC1	PC2	Coord.	Cos <sup>2</sup>	Contribuição (%)
CE	<b>0,65</b>	-0,23	0,47	0,47	7,58
Pd	<b>0,65</b>	0,05	0,42	0,42	6,83
Pt	<b>0,64</b>	0,09	0,41	0,41	6,66
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,48	0,67	0,69	0,69	11,05
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<b>0,64</b>	0,13	0,43	0,43	6,95
NH <sub>3</sub>	0,26	0,00	0,07	0,07	1,09
OD	0,03	-0,05	0,00	0,00	0,05
pH	0,42	-0,02	0,18	0,18	2,83
MPS	0,08	<b>0,72</b>	0,53	0,53	8,55
Temp	<b>0,80</b>	-0,21	0,69	0,69	11,07
Trans	<b>-0,68</b>	-0,26	0,53	0,53	8,53
UNT	<b>0,72</b>	0,45	0,72	0,72	11,61
MeHg	0,32	<b>-0,75</b>	0,67	0,67	10,77
HgT	0,29	<b>0,56</b>	0,40	0,40	6,43

Observa-se que as variáveis contidas na PC2 são dependentes da sazonalidade (MeHg, HgT e MPS) isso pode indicar mais uma vez que os valores de HgT e MeHg encontrados estão mais relacionados com as variáveis relacionadas a dinâmica do pulso hidrológico do que uma atividade de poluição.

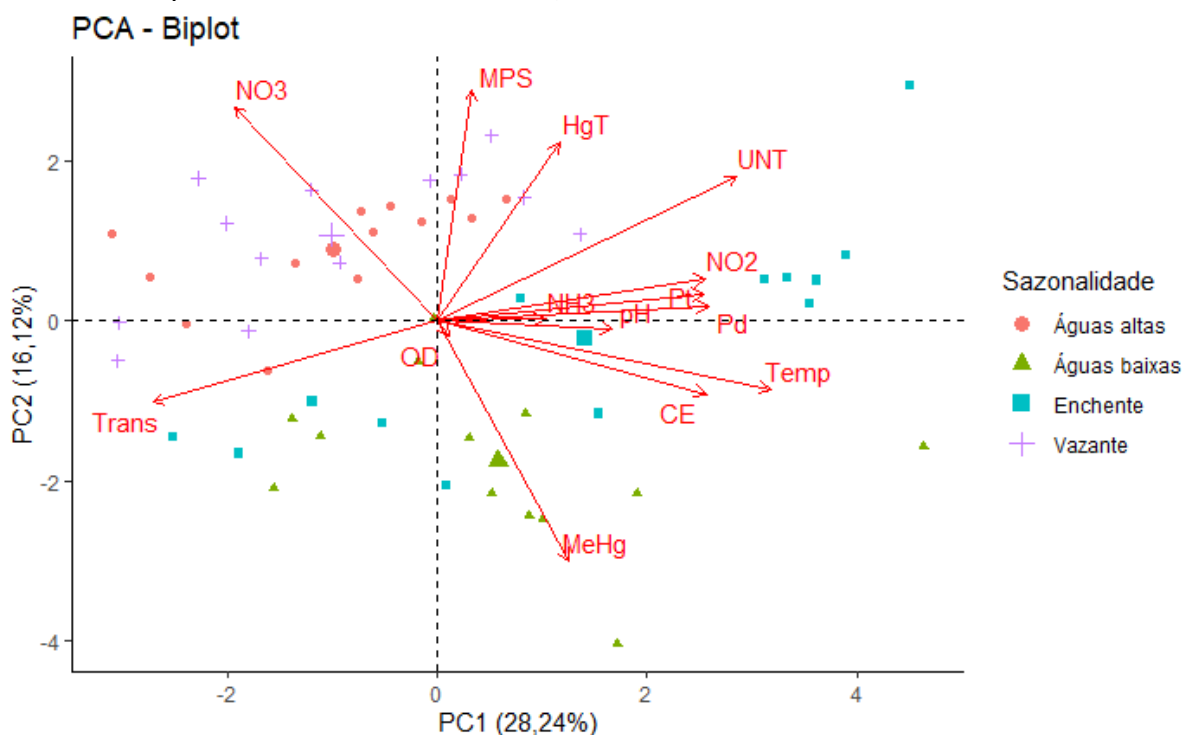
A Figura 18 apresenta a projeção das componentes principais 1 e 2. As variáveis nitrito, fósforo total e fósforo dissolvido tiveram maior contribuição no período da enchente. O metilmercúrio apresentou maior relação com o período das águas baixas e quanto ao nitrato o mesmo teve maior contribuição nos períodos das águas altas.



Como já relatado, foi observado a relação negativa entre nitrato e metilmercúrio. O mercúrio total apresentou certa afinidade com o material particulado em suspensão, que por sua vez demonstra uma relação inversa com a transparência. O oxigênio dissolvido pouco contribuiu para as componentes. Já os parâmetros nitrito, fósforo total, fósforo dissolvido, amônia e pH apresentaram comportamento similares quanto a componente PC2, porém em proporções distintas ocasionados por contribuições individuais do período da enchente.

Os desempenhos individuais se comportaram de forma parcialmente segregada entre as sazonalidades águas baixas e enchentes separadas das contribuições individuais do período das águas altas e vazante.

**Figura 18** - Análise de Componentes Principais (PCA) para variáveis físico-químicas, mercúrio total e metilmercúrio por localidade e sazonalidade 44,36%.



Fonte: Próprio autor.

O metilmercúrio apresentou correlação negativa forte com a componente PC2 por conta das contribuições individuais de pontos do período das águas baixas, como mostrou a Figura 18.

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 QUALIDADE DA ÁGUA

Para efeito de comparação dos resultados foi observado os valores de referência da legislação encontrados na resolução CONAMA n° 357/2005 a qual cita valores de referências para os parâmetros fósforo total, mercúrio total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido, pH e turbidez. Considerando o exposto no art. 42° da CONAMA 357/05 onde cita que águas doces com enquadramento não aprovados serão consideradas como classe 1 e 2 conforme a Tabela 12 a seguir.

**Tabela 12** - Valores médios dos parâmetros (Pt) ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), mercúrio total (HgT) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), oxigênio dissolvido (OD) ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), Potencial Hidrogeniônico (pH) e turbidez (UNT) em relação aos valores de referência da CONAMA 357/05 e Portaria n° 5/17 do MS.

Ponto	Pt	HgT	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NH}_3$	OD	pH	Turbidez
Igarapé Azul	37,49	6,18	14,08	4,26	31,96	6,82	6,65	9,40
Igarapé Buenos Aires	62,02	12,23	17,10	9,05	59,32	7,55	5,57	23,94
Igarapé Cajueiro	58,06	6,59	17,38	4,27	37,77	8,46	6,06	16,39
Igarapé dos Milagres	62,63	5,81	15,47	4,98	18,42	8,04	6,92	15,24
Igarapé Monte Cristo	48,29	5,33	14,93	3,00	333,46	7,49	6,81	15,06
Igarapé Pascana	64,22	8,16	16,89	9,45	224,85	7,81	6,60	33,15
Igarapé Tarifa	66,87	9,15	16,29	6,97	26,64	8,48	6,31	28,85
Rio Anari	81,65	8,26	14,53	7,01	83,02	7,70	6,48	36,20
Rio Jaru	89,04	10,89	15,67	9,69	38,53	6,85	6,89	21,25
Rio Machado	77,90	10,10	16,64	10,01	35,32	8,10	6,90	39,18
Rio Tarumã	51,36	4,21	15,88	6,22	23,34	5,41	5,71	12,48

Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doce Classe 1 e 2: 100,00  $\mu\text{g.L}^{-1}$  Pt; (200,00  $\text{ng.L}^{-1}$  HgT; 10,00  $\text{mg.L}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$ ; 1000,00  $\mu\text{g.L}^{-1}$   $\text{NO}_2^-$ ; 3,7  $\text{mg.L}^{-1}$   $\text{NH}_3$ , para  $\text{pH} \leq 7,5$ ; 2,0  $\text{mg.L}^{-1}$   $\text{NH}_3$ , para  $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ ; 1,0  $\text{mg.L}^{-1}$   $\text{NH}_3$ , para  $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ ; 0,5  $\text{mg.L}^{-1}$   $\text{NH}_3$ , para  $\text{pH} > 8,5$ . OD > 6,00  $\text{mg.L}^{-1}$  Classe 1; OD > 5,00  $\text{mg.L}^{-1}$  Classe 2;  $6,00 \leq \text{pH} \leq 9,00$ ;  $\text{UNT} \leq 40$  Classe 1;  $\text{UNT} \leq 100$  Classe 2. Valor de referência Portaria N° 5/2017 MS: 0,001  $\text{mg.L}^{-1}$  HgT.

Como pode ser observado em relação a legislação os valores obtidos dos parâmetros fósforo total, mercúrio total, nitrito, nitrogênio amoniacal e turbidez apresentaram valores em conformidade com a referência das classes 1 e 2 da CONAMA 357/05.

Em relação ao nitrato, a médias considerando os períodos sazonais apresentaram resultados acima do valor de referência que é 10,00  $\text{mg.L}^{-1}$ . No Igarapé Cajueiro o valor médio chegou a

17,38 mg.L<sup>-1</sup> enquanto no Igarapé Buenos Aires 17,10 ng.L<sup>-1</sup> e mesmo nos pontos de valores mínimos como Igarapé Azul o valor encontrado foi 14,08 ng.L<sup>-1</sup>.

Para os resultados do OD o valor médio encontrado no Rio Tarumã é inferior a proposta de enquadramento da classe 1, porém quando analisado em relação a classe 2 observa-se que este valor está acima do mínimo para a classe proposta. Os demais valores encontrados na área de estudo atendem ambas as classes. O Rio Madeira apresentou valores inferiores de OD em relação ao trecho estudado sendo registrado 6,90 ( $\pm 0,70$  mg.L<sup>-1</sup>) (COSTA JÚNIOR, 2017).

Para efeito de comparação em afluentes da bacia do Rio Negro foram encontrados valores entre 3,90 e 5,90 com média 4,45 ( $\pm 0,83$  mg.L<sup>-1</sup>) (BISINOTI, 2005)

Assis (2019) identificou valores de OD no Rio Machado mínimas próximas a 4,8 mg.L<sup>-1</sup> e máximas próximo a 8,5 mg.L<sup>-1</sup> enquanto nos afluentes como o Rio Anari apresentaram variações estimadas entre 4,9 mg.L<sup>-1</sup> e 7,2 mg.L<sup>-1</sup>.

Em relação ao valor de pH, novamente o Rio Tarumã apresentou valores inferior ao de referência das classes de enquadramento 1 e 2, pois a média ao longo do regime hidrológico foi de 5,71. O mesmo aconteceu com o Igarapé Buenos Aires, pois este apresentou valor de 5,57, ainda mais inferior do que o valor apresentado pelo Rio Tarumã. Os valores de pH encontrados no Rio Tarumã estão mais próximos de corpos hídricos de água preta conforme os resultados encontrados na bacia do Rio Negro onde foram encontrados valores médios 4,68 ( $\pm 0,39$ ) (BISINOTI, 2005).

Costa Júnior (2017) identificou o valor médio de CE no Rio Madeira de 110,6 ( $\pm 44,37$ )  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  e média de 57,40 ( $\pm 49,01$ )  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ , já na área de estudo o Rio Machado valor médio de 34,75 ( $\pm 1,42$ )  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ . Os valores obtidos por Carvalho (2016) no Rio Madeira foi de 83,5 ( $\pm 20,50$ )  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  enquanto que nos afluentes foi registrado 24,00 ( $\pm 13,70$ )  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ . Os afluentes da margem esquerda apresentaram 33,31 ( $\pm 17,92$ )  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  enquanto os afluentes da margem direita do Rio Machado 23,38 ( $\pm 18,35$ )  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ . O Rio Machado também apresentou em outro ciclo hidrológico valores de CE médios de 25,00  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ , enquanto o Rio Anari entre 9,00 e 15,00  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  e Rio Tarumã 7,00 e 25,00  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  (ASSIS, 2019).

Bisinoti (2005b) em análises físico-químicas de rios na bacia do Rio Negro identificou valores de condutividade que variaram de 10,00 a 12  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  com exceção de um tributário com valor de 46,00  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em sua área de estudo.

Afluentes do Rio Machado em outros trechos apresentaram condutividade elevadas como o caso do Igarapé Pintado (361,00  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), Igarapé Mangueira (324,00  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), Igarapé Dois de Abril (131,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), sendo que estes valores estão associado a ocupação urbana na área desta bacias (TRINDADE *et al.*, 2019).

Quanto ao fósforo total, Sousa et al. (2019) encontraram em afluentes do Rio Machado que passam por áreas urbanas valor médio de 120,00  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Porém na área de estudo não houve registro com concentrações similares sendo a média mais elevada igual a 89,04 ( $\pm 24,51$ )  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  no Rio Jaru.

Para os valores de pH os valores encontrados no Rio Madeira (6,98  $\pm 0,78$ ) e em seus afluentes foram obtidos os valores de (6,31  $\pm 0,84$ ) (COSTA JÚNIOR, 2017). O Rio Machado por sua vez apresentou média de 6,90 ( $\pm 0,24$ ), já os afluentes da margem esquerda apresentaram valores de 6,65 ( $\pm 0,46$ ) e os da margem direita 6,23 ( $\pm 0,83$ ). Em outro trabalho o Rio Madeira apresentou média semelhante entre os valores encontrados neste trabalho tanto ao do Rio Madeira quanto aos seus afluentes com valores de 6,60 ( $\pm 0,40$ ) e 6,40 ( $\pm 0,26$ ), respectivamente. Segundo Assis (2019) os valores de pH encontrados no Igarapé Azul variam entre 6,41 e 8,14 ao longo do período hidrológico, Rio Jaru apresentou mínima de 6,49 e máxima de 6,99, Rio Machado máxima de 8,41 e mínima 5,69.

A turbidez média do Rio Machado foi igual a 39,18 ( $\pm 25,96$ ) UNT, em seus afluentes da margem direita foi igual a 18,40 ( $\pm 15,88$ ) UNT e na margem esquerda foi identificado 25,38 ( $\pm 13,96$ ) UNT. Para este mesmo parâmetro foi encontrado Rio Madeira 155,1 ( $\pm 121,0$ ) UNT, afluentes do Rio Madeira 58,51 ( $\pm 148,6$ ), no Rio Urupá 32,7 UNT, Rio Machado 30,50 UNT (COSTA JÚNIOR, 2017; SOUSA *et al.*, 2019; TRINDADE *et al.*, 2019). Segundo Carvalho (2016) os valores de turbidez do Rio Madeira são 348,00 ( $\pm 255,00$ ) UNT.

### 5.1.1 Concentrações de HgT e MeHg

De acordo com Vasconcellos et al. (2018), as populações amazônicas estão exposta a muitos riscos relacionados ao mercúrio, condições sanitárias inadequadas, acesso limitado a água potável e infecções. Os valores de Hg total encontrados foram inferiores ao valor de referência para as classes 1 e 2 no trecho de estudo, tanto para o Rio Machado, quanto seus afluentes. De semelhante modo, os valores encontrados não foram superiores aos valores de referência para consumo humano em tanto na Portaria nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde quanto no valor indicado pela Organização Mundial da Saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017; WHO, 2017).

Conforme os resultados apresentados há correlação significativa entre HgT e turbidez revelando uma associação entre este parâmetros. Ziemniczak (2019) observou que a concentração média dos HgT no sedimento de fundo dos corpos hídricos da REBIO Jaru e pontos externos a área de estudo com valores de médios  $0,08 (\pm 0,02) \mu\text{g.kg}^{-1}$  indicando que a concentração de HgT na REBIO Jaru é semelhante às outras áreas da bacia do Rio Machado. Entretanto, o teste de Wilcoxon confirma que há distinção entre os afluentes da REBIO Jaru entre as outras áreas de contribuição estudadas.

Para Costa Júnior (2017), estudando a bacia do Rio Madeira, o mercúrio foi o único elemento que apresentou influência com regiões antropizadas na área de estudo. Conforme, Carvalho (2016) há diferenças significativas entre as concentrações de HgT em solos próximo ao Rio Madeira e solos de terra firme. Isto pode promover alterações nas concentrações durante o período das águas altas, quando a água entra nas áreas de inundação.

Gomes et al. (2009) destacaram a influência da expansão da agricultura como fator de enriquecimento de HgT nos sólidos em suspensão, de forma que o Baixo Rio Madeira apresentou valores elevados deste analito.

Lacerda, Bastos e Almeida (2012) verificando os impactos do uso da terra do Rio Madeira constataram que após a confluência do Rio Machado as concentrações de HgT apresentaram elevações, saindo de aproximadamente  $50 \text{ ng.L}^{-1}$  até próximo a  $60 \text{ ng.L}^{-1}$  (máxima concentração identificada).

Foi observado que bacias hidrográficas como a do Rio Tapajós apresentam concentrações de Hg na coluna d'água independente das contribuições da mineração de ouro (MAURICE-BOURGOIN *et al.*, 2000; ROULET *et al.*, 1998).

Concentrações de mercúrio são elevadas nas bacias hidrográficas das regiões Andinas que são carregadas nos sólidos em suspensão (GOMES *et al.*, 2009; MAURICE-BOURGOIN *et al.*, 2000, 2003).

Como a bacia em estudo não faz parte destes afluentes das regiões andinas, deve ser observado as concentrações de mercúrio no solo. Neste sentido, Ziemnczak (2019) observou valores de mercúrio no solo variando entre 0,08 mg.kg<sup>-1</sup> e 0,14 mg.kg<sup>-1</sup>. O mesmo vale para análise do MeHg no solo próximo a foz dos tributário do Rio Machado com valores de 0,55 µg.kg<sup>-1</sup> (1,05-0,34) no Rio Anari; 0,36 (0,66-0,15) µg.kg<sup>-1</sup> no Rio Jaru; 0,58 (1,00-0,18) µg.kg<sup>-1</sup> no Igarapé Azul; 1,10 (2,93-0,37) µg.kg<sup>-1</sup> no Rio Tarumã e 0,36 (0,58-0,04) µg.kg<sup>-1</sup> no Rio Machado (ZIEMNICZAK, 2019).

É importante destacar que em solos contaminados por extração de ouro foram encontradas concentrações de Hg próximas a 10 µg.g<sup>-1</sup> enquanto em solos não impactados por esta atividade este valor foi até cinco vezes menor (GUEDRON *et al.*, 2009). Para efeito de interpretação, as concentrações de Hg em solos contaminados por industrialização em uma bacia hidrográfica da França variaram de 0,16 a 0,39 mg.kg<sup>-1</sup> (HISSLER; PROBST, 2006).

Assim, quando comparados os resultados de HgT na água e dados morfométricos observa-se que os Igarapé Buenos Aires com área de 25,84 km<sup>2</sup> apresentou a maior média de HgT (12,23 ng.L<sup>-1</sup>). Por sua vez, o Rio Jaru com 7244,75 km<sup>2</sup> apresentou concentração de 10,89 ng.L<sup>-1</sup> HgT.

A relação área da bacia hidrográfica e concentração de MeHg não ficou muito evidente uma vez que as bacias hidrográficas do Igarapé dos Milagres (133,72 km<sup>2</sup>) apresentou a maior média do analito (0,18 ng.L<sup>-1</sup> MeHg).

A investigação das concentrações de mercúrio solo pode explicar a sua liberação para a água. Deste modo trabalhos indicam que a concentração de Hg varia conforme a profundidade, tipo e topografia do solo. Oliveira et al. (2001) observaram decaimento da concentração de mercúrio em topografias distintas de modo que nos perfis de declividade descendente foi encontrado

272880,00 e 73200,00  $\mu\text{g.m}^{-2}$  nas camadas 0-20 cm e 0-70 cm. Os valores encontrados na bacia hidrográfica do Rio Tapajós foi identificado diferenças na concentração de mercúrio total de acordo com a granulometria do solo (PATRY *et al.*, 2013). Farella *et al.* (2006) constataram que há correlação negativa entre Hg e base catiônicas nos solos. Portanto a remobilização do mercúrio pode ser favorecida em áreas agricultáveis pelos processos de mecanização, desmatamento e suscetibilidade as queimadas.

Guedron *et al.* (2006) confirmaram o enriquecimento de mercúrio, principalmente nos horizontes superiores e destaca que o ferro (Fe) possui capacidade de capturar o mercúrio (Hg) uma vez que estes elementos passam pelos mesmos processos de acumulação durante a pedogênese e ao intemperismo. Há estimativas de que os processos de colonização humana liberaram através solos erodidos em áreas desmatadas mercúrio com estimativas entre 500,00 e 3000,00  $\mu\text{g.m}^{-2}$  (ROULET *et al.*, 1999).

A concentração do Hg na atmosfera influencia diretamente sua concentração no solo, contudo a pedologia influencia fortemente nesta concentração como no caso dos latossolos e argissolos que nos horizontes superiores predomina a origem atmosférica e nos horizontes intemperizados tem origem litológica (GRIMALDI; GRIMALDI; GUEDRON, 2008)

Na bacia hidrográfica do Rio Jaru onde há elevada proporção das coberturas pastagem (77,01%) e infraestrutura urbana (0,23%) foi encontrado concentração média de MeHg na água de 0,14 (0,20-0,04)  $\text{ng.L}^{-1}$ . Este valor foi distinto ao encontrado em outros corpos hídricos com ocupação urbana, como o caso do Igarapé Belmonte 0,43 ( $\pm 0,24$ )  $\text{ng.L}^{-1}$  (MACHADO, 2011).

A Tabela 13 apresenta comparação de concentração de mercúrio total e metilmercúrio em diferentes estudos na área da região amazônica.

**Tabela 13** - Comparação de concentração dos valores de Mercúrio total (HgT) (ng.L<sup>-1</sup>) e Metilmercúrio (MeHg) (ng.L<sup>-1</sup>) na água em diferentes regiões amazônicas.

Referências	Bacia	HgT (ng.L <sup>-1</sup> )	MeHg (ng.L <sup>-1</sup> )
Maurice-Bourgoin <i>et al.</i> (2000)	Rio Beni	3,77-7,64	-
	Rio Madeira	9,49-10,86	-
	Rio Madeira	7,00	-
Maurice-Bourgoin <i>et al.</i> (2003)	Rio Negro	11,60-18,20	-
	Rio Madeira	9,50 (± 0,10)	-
	Rio Solimões	7,20-13,90	-
	Confluência Rio Amazonas	4,30-11,00	-
Roulet <i>et al.</i> (1998)	Rio Amazonas	4,99-8,70	-
	Rio Tapajós	1,56-1,57	-
	Rio Tapajós	2,44-2,48	-
	Igarapé Santa Clara	12,82	-
Maia <i>et al.</i> (2009)	Rio Negro	4,24-5,04	-
	Rio Solimões	18,98-28,47	-
	Rio Madeira	1,41-50,28	-
	Rio Amazonas	3,63-44,42	-
Maia <i>et al.</i> (2018)	Rio Amazonas (AA)	-	0,11 (± 0,05)
	Rio Amazonas (PI)	-	0,09-0,11
	Rio Amazonas (AB)	-	0,12
	Rios de água branca (AA)	-	0,14 (± 0,07)
	Rios de água branca (PI)	-	0,10 (± 0,03)
	Rios de água branca (AB)	-	0,04 (± 0,01)
	Rios de água preta	-	0,12 (± 0,06)
Machado (2011)	Rio Jaci-Paraná	-	0,09 (± 0,05)
	Rio Branco	-	0,06 (± 0,03)
	Rio Contra	-	0,07 (± 0,03)
	Rio Jaturana I	-	0,20 (± 0,11)
	Rio Jaturana II	-	0,11 (± 0,04)
	Rio Caripunas	-	0,19 (± 0,23)
	Rio Madeira	-	0,11 (± 0,10)
	Igarapé Belmonte	-	0,43 (± 0,24)
Roulet <i>et al.</i> (2000)	Rio Tapajós	-	0,02 (0,01-0,03)
	Rio Tapajós	-	0,03 (0,02-0,03)
	Rio Tapajós	-	0,04 (0,02-0,04)
Bastos <i>et al.</i> (2020)	Rio Madeira	6,41 (46,01-0,06)	0,08 (0,97-0,01)
Vieira <i>et al.</i> (2018)	Rios de águas preta	3,60 (± 0,31)	2,41 (± 0,01)
	Rios de águas claras	5,10 (± 0,22)	2,02 (± 0,01)
	Rios de águas brancas	6,70 (± 0,50)	2,23 (± 0,01)
Este estudo	Ig. Azul	6,18 (13,03-2,52)	0,12 (0,23-0,01)
	Ig. Buenos Aires	12,23 (21,68-1,20)	0,12 (0,21-0,03)
	Ig. Cajueiro	6,59 (6,59-1,41)	0,13 (0,20-0,05)
	Ig. dos Milagres	5,81 (10,55-1,74)	0,28 (0,66-0,08)
	Ig. Monte Cristo	5,33 (9,03-1,84)	0,14 (0,23-0,03)
	Ig. Pascana	8,16 (16,85-1,66)	0,15 (0,22-0,07)
	Ig. Tarifa	9,15 (15,23-4,32)	0,21 (0,46-0,08)
	Rio Anari	8,26 (16,03-1,70)	0,14 (0,20-0,04)
	Rio Jaru	10,89 (21,78-1,74)	0,13 (0,20-0,05)
	Rio Machado	10,10 (34,38-1,06)	0,12 (0,21-0,02)
	Rio Tarumã	4,21 (8,32-0,90)	0,12 (0,19-0,04)

AA = Águas Altas; PI = Pico de inundação; AB = Águas Baixas.



## **5.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MERCÚRIO E COBERTURA DA TERRA**

Dentre as bacias hidrográficas estudadas a bacia do Rio Jaru foi a que apresentou maior proporção de classes relacionadas a alteração da cobertura da terra. Assim como identificado por Souza et al. (2019) na bacia hidrográfica do Rio Machadinho e que no processo de conversão da cobertura houve a redução da classe floresta de terra firme enquanto houve o aumento da classe pastagem.

Este cenário tem ocorrido na região amazônica com recorrência, de forma que entre os anos de 2006 e 2011 as áreas desmatadas tiveram aumento de cinco milhões de hectares (CARVALHO; DOMINGUES, 2016).

O desmatamento foi fortemente impulsionado pela construção de rodovias que permitiram o acesso aos recursos florestais em áreas remotas (SIQUEIRA-GAY *et al.*, 2020). No caso das bacias hidrográficas da margem esquerda do Rio Machado apresenta malha viária enquanto o mesmo não ocorre nas bacias da outra margem.

A alteração da cobertura da terra resulta na degradação da qualidade da água assim como a proximidade com áreas urbanas interferem em parâmetros como a condutividade, pH e OD (PEREIRA *et al.*, 2016).

Pereira *et al.* (2016) identificaram que as áreas com cobertura “pastagem” tiveram os piores resultados de qualidade de água. Assim, as bacias hidrográficas da margem esquerda estão sujeitas a estas condições de cenário. Por outro lado, as bacias hidrográficas da margem direita do Rio Machado, que estão inseridas na REBIO Jaru, são predominantemente áreas de florestas.

Souza *et al.* (2019) constataram que entre os anos de 1984 e 1997 houve acréscimo de 746% de pastagem na bacia hidrográfica do Rio Machadinho.

Ainda cabe a observação feita por Fuchs (2020) apontando que a produção de soja no Brasil aumentou significativamente desde 2000 e que os estados da região amazônia representam 50% da

exportação do cereal. Desta forma, é possível que haja alteração da cobertura da terra nos próximos anos promovendo alterações nos parâmetros de qualidade da água.

A distribuição espacial do mercúrio já apresentou diferença significativa entre os afluentes da margem esquerda e direita, assim como entre os afluentes da margem direita e o próprio Rio Machado no período das águas altas. Estas condições já podem ser indicativos de que as alterações da cobertura da terra influenciam nas concentrações de MeHg (LACERDA; BASTOS; ALMEIDA, 2012).

Embora os resultados deste estudo não sejam abrangentes o suficiente para indicar as diferenças observadas nas concentrações de MeHg nas bacias estudadas são resultantes destas modificações ocorridas, uma vez que este estudo dá ênfase na calha principal do Rio Machado e em pontos próximos aos exutórios dos afluentes das sub-bacias. Recomenda-se que estudos futuros ampliem a amostragem para demais áreas destas bacias para confirmar se as alterações no uso e cobertura da terra implica em mudanças direcionais para o aumento das concentrações de Hg total e MeHg nestas bacias.

Importante destacar que em 2018, as bacias hidrográficas do Rio Anari, Rio Jaru, Igarapé dos Milagres e Igarapé Tarifa são as que apresentaram maior áreas de pastagem, sendo então as potencialmente favoráveis a passar pela alteração de cobertura. Conforme Zaiatz *et al.* (2018), na bacia hidrográfica do Rio Teles Pires houve aumento das áreas de agricultura enquanto houve a redução das áreas de pastagem entre os anos de 1998 e 2011 e a partir deste a conversão de agricultura em pastagem até 2014.

De acordo com Castelo (2015) houve flexibilização do código florestal quanto ao uso dos recursos naturais para a atividade de agropecuária, sendo esta uma tendência das esferas políticas. Deste modo, ressalta-se a importância da REBIO Jaru no cumprimento de seu objetivo que é a proteção integral dos recursos dentro e fora de seus limites.

Por este motivo, é necessário que sejam realizados estudos de vazão destes corpos hídricos para efeito de obtenção das cargas de HgT e MeHg. Assim como, a manutenção da APP deve reduzir o incremento do HgT nos corpos hídricos uma vez que a presença das florestas ripárias controla o assoreamento não natural que ocorre nas bacias hidrográficas.

## 6 CONCLUSÃO

As águas do Rio Machado e seus afluentes apresentaram concentrações de HgT de acordo com a classe 1 do enquadramento. Os afluentes do interior da REBIO Jaru, no que diz respeito ao parâmetro Hg total podem ser enquadrados na classe especial, conforme preconiza a Resolução nº 357 do CONAMA/2005.

É necessário manter o monitoramento da qualidade da água e sua relação a cobertura das bacias hidrográficas, considerando a possibilidade de conversão das áreas de pastagens em áreas agrícolas.

Não houve relação direta entre a concentração de HgT e MeHg na área de estudo, assim como a área da bacia hidrográfica com a concentração dos analitos.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Para o plano de bacias hidrográficas devem ser proposto a preservação da APP dos afluentes da margem esquerda.

O desmatamento ilegal e o uso do fogo para limpeza dessas áreas devem ser combatidos com a finalidade de reduzir o processo de transporte atmosférico do mercúrio de forma induzida.

Durante a implementação das agências de bacias deverão ser consideradas a implementação do monitoramento do mercúrio total na água, pelo menos, durante o período das águas altas e águas baixas.

É importante destacar a necessidade de pesquisas que relacionem a morfometria da bacia hidrográfica com as concentrações do mercúrio total e metilmercúrio utilizando-se mais pontos na mesma bacia.

É necessário que haja mais estudos sobre a concentração de mercúrio na bacia hidrográfica do Buenos Aires a fim de compreender os fatores que influenciam nos teores de HgT no corpo hídrico.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Renata Gonçalves. **Balanco de energia em ecossistema amazônico por modelo de regressão robusta com Bootstrap e validação cruzada**. 2013. - Universidade Federal de Mato Grosso, [s. l.], 2013. Disponível em: [http://www.renata.aguiar.dea.unir.br/uploads/36315994/Clique aqui para baixar.pdf](http://www.renata.aguiar.dea.unir.br/uploads/36315994/Clique_aqui_para_baixar.pdf). Acesso em: 22 nov. 2018.

ALMEIDA, Ronaldo de. **Análise geoestatística das concentrações de mercúrio no lago Puruzinho - Amazônia Ocidental**. 2006. - Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Porto Velho - RO, Brasil, 2006. Disponível em: <http://www.livrosgratis.com.br>. Acesso em: 21 nov. 2018.

ALMEIDA, Ronaldo de. **Estudo da origem, mobilização e organificação do mercúrio no reservatório da UHE - Samuel, RO**. 2012. - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [s. l.], 2012. Disponível em: [http://objdig.ufrj.br/50/teses/d/CCS\\_D\\_RonaldoDeAlmeida.pdf](http://objdig.ufrj.br/50/teses/d/CCS_D_RonaldoDeAlmeida.pdf)

ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ANA, Agência Nacional de Águas. **HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 20 ago. 2019.

ANDRIETTI, Grasiene *et al.* Revista Ambiente e Água. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 162–175, 2016. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/928/92843568015/>. Acesso em: 14 jun. 2018.

APHA, American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 1995. ed. Washington: [s. n.], 1995. *E-book*. Disponível em: [https://doi.org/ISBN\\_9780875532356](https://doi.org/ISBN_9780875532356)

ASSIS, Joaquim Pedro Machado de. **Caracterização limnológica e elementos-traços na Reserva Biológica do Jaru (RO)**. 2019. - UNIR, Ji-Paraná - RO, 2019.

AZEVEDO, F. A. **Toxicologia do Mercúrio**. São Carlos - SP: Rima, 2003. *E-book*.

BASTOS, Wanderley R. *et al.* Dynamics of Hg and MeHg in the Madeira River basin (Western Amazon) before and after impoundment of a run-of-river hydroelectric dam. **Environmental Research**, [S. l.], v. 189, p. 109896, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109896>. Acesso em: 30 set. 2020.

BISINOTI, Márcia Cristina. **Biogeoquímica aquática do Mercúrio orgânico do Rio Negro, Amazônia**. 2005. - Universidade Estadual de Campinas, [s. l.], 2005. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/249639>

BISINOTI, Márcia Cristina; JARDIM, Wilson F. O comportamento do metilmercúrio (METILHg) no ambiente. *In*: 2004, **Química Nova**. [S. l.: s. n.] p. 593–600. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422004000400014>

BORŮVKA, Luboš; VACEK, Oldřich; JEHLIČKA, Jan. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *In*: 2005, **Geoderma**. : Elsevier, 2005. p. 289–300. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.010>

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13. [s. l.], 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/19433.htm). Acesso em: 28 maio. 2018.

CABRAL, Pedro Henrique Trindade Dias; ALMEIDA, Gustavo Matheus de. **CONTROLE DE PROCESSOS EM MINERAÇÃO BASEADO EM ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS: UM ESTUDO DE CASO REAL**. 2018. - UFMG, [s. l.], 2018. Disponível em: <http://www.hannovermesse.de/>. Acesso em: 21 jul. 2020.

CARVALHO, Dario Pires de. **Dinâmica e especiação de Mercúrio em compartimentos abióticos na formação do reservatório da hidrelétrica Santo Antônio do Rio Madeira, RO**. 2016. - IBCCF, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: [http://www.nch.unir.br/uploads/42029128/arquivos/Tese\\_Dario\\_Vers\\_o\\_final\\_ago2016\\_567130293.pdf](http://www.nch.unir.br/uploads/42029128/arquivos/Tese_Dario_Vers_o_final_ago2016_567130293.pdf). Acesso em: 31 jul. 2020.

CARVALHO, Terciane Sabadini; DOMINGUES, Edson Paulo. Projeção de um cenário econômico e de desmatamento para a Amazônia Legal Brasileira entre 2006 e 2030. **Nova Economia**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 585–621, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-6351/2665>. Acesso em: 7 set. 2020.

CASTELO, Thiago Bandeira. Brazilian forestry legislation and to combat deforestation government policies in the amazon (Brazilian amazon). **Ambiente e Sociedade**, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 215–234, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1216V1842015>. Acesso em: 7 set. 2020.

CASTRO, Lorena Mota de. **Estudo do comportamento de indicadores ambientais nos sistemas fluviais Madeira/Amazonas e Solimões/Amazonas**. 2015. - UFAM - Universidade Federal de Manaus, [s. l.], 2015.

CETESB, COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**. São Paulo: ANA, 2011. *E-book*. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>

CNRH, CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução N°91, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.** [S. l.: s. n.]. p. 5. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUÇÃO CNRH nº 91.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2018.

COSTA JÚNIOR, Walkimar Aleixo da. **Dinâmica dos elementos-traço no Rio Madeira e tributários, Rondônia**. 2017. - UNIR, Porto Velho, 2017. Disponível em: [http://www.biogeoquimica.unir.br/uploads/42029128/arquivos/Disserta\\_o\\_Mestrado\\_\\_\\_Walkimar\\_Aleixo\\_\\_\\_2015\\_2\\_Vers\\_o\\_final\\_827278293.pdf](http://www.biogeoquimica.unir.br/uploads/42029128/arquivos/Disserta_o_Mestrado___Walkimar_Aleixo___2015_2_Vers_o_final_827278293.pdf). Acesso em: 27 jul. 2020.

DOPP, E. *et al.* Environmental Distribution, Analysis, and Toxicity of Organometal(loid) Compounds. **Critical Reviews in Toxicology**, [S. l.], v. 34, n. 3, p. 301–333, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408440490270160>

EPA, Environmental Protection Agency. **Index to EPA test methods**. 1. ed. Boston, MA: [s. n.], 2003. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1359183510364074>. Acesso em: 3 dez. 2018.

EPA, Environmental Protection Agency. **National Primary Drinking Water Regulations USA**: [s. n.], 2009.p. 7. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/npwdr\\_complete\\_table.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/npwdr_complete_table.pdf). Acesso em: 8 set. 2020.

ESTEVES, Francisco De Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª Ed. ed. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/znc-1987-0514>

FADINI, P. S.; JARDIM, W. F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? **The Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 275, p. 71–82, 2001.

FARELLA, N. *et al.* Mercury release from deforested soils triggered by base cation enrichment. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 368, n. 1, p. 19–29, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.04.025>

FUCHS, Vanessa Boanada. Chinese-driven frontier expansion in the Amazon: four axes of pressure caused by the growing demand for soy trade. **Civitas - Revista de Ciências Sociais**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 16, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15448/1984->

7289.2020.1.34656. Acesso em: 7 set. 2020.

GIONFRIDDO, Caitlin M. *et al.* Microbial mercury methylation in Antarctic sea ice. **Nature Microbiology**, [S. l.], v. 1, n. 10, p. 1–12, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.127>. Acesso em: 31 jul. 2020.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. 2 ed. ed. [S. l.]: Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1978. *E-book*.

GOMES, J. P. O. *et al.* Geoquímica de elementos-traço em sólidos em suspensão no alto Rio Madeira, Rondônia, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 49–66, 2009. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/9f1b/5013c1aaf93ac5e8be9cfce3923fd31b9d35.pdf>. Acesso em: 5 set. 2020.

GRIMALDI, Catherine; GRIMALDI, Michel; GUEDRON, Stephane. Mercury distribution in tropical soil profiles related to origin of mercury and soil processes. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 401, n. 1–3, p. 121–129, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.001>

GUEDRON, Stephane *et al.* Weathering versus atmospheric contributions to mercury concentrations in French Guiana soils. **Applied Geochemistry**, [S. l.], v. 21, n. 11, p. 2010–2022, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.08.011>

GUEDRON, Stéphane *et al.* Mercury speciation in a tropical soil association; Consequence of gold mining on Hg distribution in French Guiana. **Geoderma**, [S. l.], v. 153, n. 3–4, p. 331–346, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.017>

HISLER, Christophe; PROBST, Jean Luc. Impact of mercury atmospheric deposition on soils and streams in a mountainous catchment (Vosges, France) polluted by chlor-alkali industrial activity: The important trapping role of the organic matter. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 361, n. 1–3, p. 163–178, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.023>

KASPER, Daniele *et al.* Reservoir Stratification Affects Methylmercury Levels in River Water, Plankton, and Fish Downstream from Balbina Hydroelectric Dam, Amazonas, Brazil. **Environmental Science & Technology**, [S. l.], v. 48, n. 2, p. 1032–1040, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es4042644>. Acesso em: 31 jul. 2020.

KASPER, Daniele *et al.* **Metodologias de coleta, preservação e armazenamento de amostras de água para análise de mercúrio - Uma revisão**. [S. l.]: SBQ, 2015. v. 38 *E-book*.



Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150020>. Acesso em: 3 dez. 2018.

KOUMROUYAN, Adriana; SANTANA, Genilson Pereira. Química de elementos-traço nos sedimentos do Lago do Parú (Manacapuru - Amazonas), sob influência do pulso de inundação do baixo Rio Solimões. **Acta Amazonica**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 491–501, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000300014>

LACERDA DE, L. D. Amazon mercury emissions. **Nature**, [S. l.], v. 374, p. 20–21, 1995.

LACERDA, Luiz Drude de; SANTOS, Angelo Francisco dos; MARINS, Rozane Valente. Emissão de mercúrio para a atmosfera pela queima de gás natural no Brasil. **Química Nova**, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 366–369, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200024>

LACERDA, L. D.; MARINS, R. V. Anthropogenic mercury emissions to the atmosphere in Brazil: The impact of gold mining. **Journal of Geochemical Exploration**, [S. l.], v. 58, p. 223–229, 1997.

LACERDA, Luiz D.; BASTOS, Wanderley R.; ALMEIDA, Marcelo D. The impacts of land use changes in the mercury flux in the Madeira River, Western Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 84, n. 1, p. 69–78, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012000100007>. Acesso em: 22 set. 2020.

LAMPARELLI, Marta Condé. **Graus de trofia em copor d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/publico/TeseLamparelli2004.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2020.

LOPES, Fernando B. *et al.* Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 18, p. 13–19, 2014.

MACHADO, Victor Luís de França. **Metilmercúrio nas águas a bacia do Rio Madeira, na área de influência do reservatório da usina de Santo Antônio, Amazônia Ocidental**. 2011. - UNIR, [s. l.], 2011.

MAIA, Poliana Dutra *et al.* Mercury distribution and exchanges between the Amazon River and connected floodplain lakes. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 407, n. 23, p. 6073–6084, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.015>

MAIA, Poliana Dutra *et al.* Role of the floodplain lakes in the methylmercury distribution and

exchanges with the Amazon River, Brazil. **Journal of Environmental Sciences**, [S. l.], v. 68, p. 24–40, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.02.005>. Acesso em: 4 set. 2020.

MALM, Olaf. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. **Environmental Research**, [S. l.], v. 77, n. 2, p. 73–78, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/enrs.1998.3828>

MAPBIOMAS. **Mapbiomas Brasil**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 6 ago. 2020.

MARINS, Rozane V.; PARAQUETTI, Heloísa Helena M.; AYRES, Gisele A. Analytical alternative for the physical-chemical speciation of mercury in tropical coastal waters. **Química Nova**, [S. l.], v. 25, n. 3, p. 372–378, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422002000300007>. Acesso em: 11 set. 2020.

MAURICE-BOURGOIN, Laurence *et al.* Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 260, n. 1–3, p. 73–86, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00542-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00542-8)

MAURICE-BOURGOIN, Laurence *et al.* Transport, distribution and speciation of mercury in the Amazon River at the confluence of black and white waters of the Negro and Solimões Rivers. **Hydrological Processes**, [S. l.], v. 17, n. 7, p. 1405–1417, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.1292>. Acesso em: 6 set. 2020.

MAURO, Jane B. N.; GUIMARÃES, Jean R. D.; MELAMED, Ricardo. Mercury methylation in macrophyte roots of a tropical lake. **Water, Air, and Soil Pollution**, [S. l.], v. 127, n. 1–4, p. 271–280, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1005222902966>. Acesso em: 31 jul. 2020.

MEECH, John A.; VEIGA, Marcello M.; TROMANS, Desmond. Emission and Stability of Mercury in the Amazon. **Canadian Metallurgical Quarterly**, [S. l.], v. 36, n. 4, p. 231–239, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1179/cmqr.1997.36.4.231>

MICARONI, R. C. C. M.; BUENO, M. I. M. S.; JARDIM, Wilson F. Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. **Química Nova**, [S. l.], v. 23, n. 4, p. 487–495, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422000000400011>

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. [s. l.], 2011. Disponível em:

[https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: 8 set. 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação N° 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**Brasil: [s. n.], 2017.p. 926. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

MIRANDA, Márcio Rodrigues. **Formação de metilmercúrio na Bacia do Rio Madeira, Ronônia**. 2010. - UFRJ/IBCCF, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp136258.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2020.

NASCIMENTO, Elisabete Lourdes do. **Concentração de Mercúrio no plânctons e fatores ecológicos no reservatório da U.H.E. - Samuel - Amazônia Ocidental (Rondônia/Brasil)**. 2006. - Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Porto Velho, 2006. Disponível em: [http://www.ri.unir.br/jspui/bitstream/123456789/2226/1/DISSERTAÇÃO\\_ELISABETE\\_NASCIMENTO.pdf](http://www.ri.unir.br/jspui/bitstream/123456789/2226/1/DISSERTAÇÃO_ELISABETE_NASCIMENTO.pdf). Acesso em: 21 nov. 2018.

NASCIMENTO, Elisabete Lourdes do. **Fatores ambientais reguladores da dinâmica de cianobactérias no reservatório da usina hidrelétrica de Samuel - Rondônia (Amazônia Ocidental, Brasil)**. 2012. - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [s. l.], 2012.

NASCIMENTO, Elisabete Lourdes do *et al.* Dynamics of mercury in the plankton of a hydroelectric reservoir, Western Amazon. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 192, n. 10, p. 647, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08600-y>

OLIVEIRA, Tiago Henrique de; SILVA, Djane Fonseca da; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Análise da Degradação Ambiental na Região da Usina Hidrelétrica de Três Marias Através de Sensoriamento Remoto (IVDN) e Parâmetros de Qualidade de Água. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 47–58, 2015. Disponível em: <http://pgsskroton.com.br/seer/index.php/exatas/article/view/485/455>. Acesso em: 14 jun. 2018.

OLIVEIRA, S. M. B. *et al.* Soils as an important sink for mercury in the Amazon. **Water, Air, and Soil Pollution**, [S. l.], v. 126, n. 3–4, p. 321–337, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1005239627632>

PASSOS, Carlos J. S.; MERGLER, Donna. **Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: A review**. [S. l.]: Fundacao Oswaldo Cruz, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-311x2008001600004>. Acesso em: 13 set. 2020.

PATRY, Cynthia *et al.* Impact of forested fallows on fertility and mercury content in soils of

the Tapajós River region, Brazilian Amazon. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 458–460, p. 228–237, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.037>

PAULA, Makele Rosa de; BENEDETTI, Ana Caroline Paim; FILHO, Waterloo Pereira. Revista do Departamento de Geografia. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 32, n. 0, p. 143–152, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/119330/122156>. Acesso em: 14 jun. 2018.

PEREIRA, Bruno Wendell de Freitas *et al.* Land use and water quality degradation in the Peixe-Boi River watershed. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 472, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1802>. Acesso em: 7 set. 2020.

PESTANA, Inacio A. *et al.* Methylmercury in environmental compartments of a hydroelectric reservoir in the Western Amazon, Brazil. **Chemosphere**, [S. l.], v. 215, p. 758–765, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.106>. Acesso em: 27 jul. 2020.

PFEIFFER, W. C.; DE LACERDA, L. Drude. Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil. **Environmental Technology Letters**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 325–330, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09593338809384573>. Acesso em: 9 set. 2020.

PINHEIRO, Adilson *et al.* Relação Entre o Uso do Solo e a Qualidade da Água em Bacia Hidrográfica Rural no Bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 127–139, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n3.p127-139>

ROCHA, João Carlos Santos da; SANTOS, Carlos Hendrikus; ROCHA, Sérgio Luís. **Uso de geotecnologia na pesquisa bibliográfica : Biblioteca geoespacial sobre os recursos hídricos de Sergipe**. [S. l.: s. n.]. v. 13E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109915>

RODRIGUES, Thanan *et al.* Revista Brasileira de cartografia. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 67, n. 7, p. 1327–1339, 2015. Disponível em: <http://lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/1203/874>. Acesso em: 14 jun. 2018.

ROULET, M. *et al.* Distribution and partition of total mercury in waters of the Tapajós River Basin, Brazilian Amazon. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 213, n. 1–3, p. 203–211, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00093-X)

ROULET, M. *et al.* Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. **Water, Air, and Soil Pollution**, [S. l.], v. 112, n. 3–4, p. 297–313, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1005073432015>

ROULET, M. *et al.* Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajos River. **The Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 261, p. 43–59, 2000.

ROULET, M.; GUIMARÃES, J. R. D.; LUCOTTE, M. Methylmercury production and accumulation in sediments and soils of an Amazonian floodplain-effect of seasonal inundation. **Recherche**, [S. l.], v. 128, n. 3, p. 41–60, 2001. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77952169613&partnerID=40&md5=ae3b34e1588e7a398880203fe9494466>

SALES, Mayk da Silva. **Delimitação de corredores ecológicos entre terra indígenas da área de transição Amazônia-Cerrado em Rondônia**. 2015. - UNIR, Ji-Paraná - RO, 2015. Disponível em: [http://www.engenhariaambiental.unir.br/uploads/65413365/arquivos/TCC\\_Mayk\\_Sales\\_896351952.pdf](http://www.engenhariaambiental.unir.br/uploads/65413365/arquivos/TCC_Mayk_Sales_896351952.pdf). Acesso em: 8 set. 2020.

SALES, Mayk da Silva; JUNIOR, Antonio Carlos da Costa; SANTOS, Alex Mota dos. Análise de parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas da área da T.I. Tubarão Latundê - Rondônia. In: **AMAZÔNIA: desafios e perspectivas para gestão das águas**. Curitiba - PR: EDITORA CRV, 2015. p. 97–108. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.24824/9788544440388.4>

SANTOS, Railane Inácio dos. **Metais pesados em sedimentos de fundo no alto Rio Madeira, Amazônia Ocidental**. 2014. - Universidade Federal do Amazonas, [s. l.], 2014.

SEDAM, Secretaria do Estado de Desenvolvimento de Ambiental. **Relatório Final (RF) para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) do Estado de Rondônia**. 1. ed. Curitiba - PR: 1, 2018. *E-book*.

SIQUEIRA-GAY, Juliana *et al.* Pathways to positive scenarios for the Amazon forest in Pará state, Brazil. **Biota Neotropica**, [S. l.], v. 20, p. 2020, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0905>. Acesso em: 7 set. 2020.

SIQUEIRA, Gilmar W. *et al.* Mercury in the Amazon basin: Human influence or natural geological pattern? **Journal of South American Earth Sciences**, [S. l.], v. 86, p. 193–199, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.06.017>

SIQUEIRA, Gilmar W.; APRILE, Fabio M. Distribuição de mercúrio total em sedimentos da plataforma Continental Amazônica - Brasil. **Acta Amazonica**, [S. l.], v. 42, n. 2, p. 259–267, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000200012>

SOBRAL, Maria do Carmo *et al.* Geotecnologias na gestão de reservatórios: uma revisão e uma

proposta de integração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 22, n. 5, p. 841–852, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017111054>. Acesso em: 13 jun. 2018.

SOBRINHO, Teodorico Alves *et al.* Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 46–57, 2010.

SOUSA, Lindolaine Machado de *et al.* Análise das variáveis limnológicas do Igarapé Mangueira, município Ji-Paraná - RO. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 71–83, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/issue/view/152>. Acesso em: 5 set. 2020.

SOUZA, Vinicius Alexandre Sikora de *et al.* Dinâmica do desmatamento na Amazônia e seus impactos na hidrologia: bacia do Rio Machadinho – Rondônia/Brasil. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 1004, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509835333>. Acesso em: 7 set. 2020.

SOUZA, M. J. .. Avaliação De Metais-Traço No Sedimento Do Sistema Estuarino Dos Rios Piraquê-Açu E Piraquê-Mirim ( Aracruz - Es ). [S. l.], p. 146, 2009.

TAYLOR, Vivien F. *et al.* Trace-level automated mercury speciation analysis. **Analytical Methods**, [S. l.], v. 3, n. 5, p. 1143–1148, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c0ay00528b>

TRINDADE, Rafaela Aparecida *et al.* Caracterização limnológica preliminar em corpos d'água da cidade de Ji-Paraná/RO. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 159–171, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/issue/view/152>. Acesso em: 5 set. 2020.

USA. **Method 1669: Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels**. United States of America: [s. n.], 1996. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method\\_1669\\_1996.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method_1669_1996.pdf). Acesso em: 24 jul. 2020.

USA. **Method 1630: Methyl Mercury in Water by Distillation, Aqueous Ethylation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry**. Washington, DC, USA: [s. n.], 1998.p. 55. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method\\_1630\\_1998.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_1630_1998.pdf). Acesso em: 3 dez. 2018.

USA. **Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence**

**Spectrometry.** Washington, DC: [s. n.], 2002.p. 45. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method\\_1631e\\_2002.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_1631e_2002.pdf). Acesso em: 3 dez. 2018.

VALERIANO, Márcio de Morisson. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. *In:* 2005, Goiânia. **2XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia: INPE, 2005. p. 3595–3602. Disponível em: <http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>. Acesso em: 13 set. 2020.

VALERIANO, Márcio de Morisson; ROSSETI, Dilce de Fátima; ALBUQUERQUE, Paulo Cesar Gurgel de. TOPODATA: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. *In:* 2009, Natal. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal: INPE, 2009. p. 5499–55006.

VASCONCELLOS, Ana Claudia Santiago *et al.* Burden of mild mental retardation attributed to prenatal methylmercury exposure in amazon: Local and regional estimates. **Ciencia e Saude Coletiva**, [S. l.], v. 23, n. 11, p. 3535–3545, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-812320182311.15812016>. Acesso em: 1 set. 2020.

VIEIRA, Miguel *et al.* Distribution and availability of mercury and methylmercury in different waters from the Rio Madeira Basin, Amazon. **Environmental Pollution**, [S. l.], v. 235, p. 771–779, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.020>

VON SPERLING, Marcos. **Introdução a qualidade das água e ao tratamento de esgostos**. Belo Horizonte - MG: UFMG, 2014. *E-book*.

WASSERMAN, Jc; HACON, Ss. O Ciclo do Mercúrio no Ambiente Amazônico. **Mundo e Vida**, [S. l.], v. 2, p. 46–53, 2001. Disponível em: [http://www.uff.br/cienciaambiental/mv/mv2/MV2\(1-2\)46-53.pdf](http://www.uff.br/cienciaambiental/mv/mv2/MV2(1-2)46-53.pdf)

WHO. **Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <http://www.who.int/foodsafety/en/>. Acesso em: 13 set. 2020.

WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality: fourth edition incorporating the first addendum**. 4<sup>a</sup> Edition ed. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 set. 2020.

ZAIATZ, Ana Paula Sousa Rodrigues *et al.* Agricultural land use and cover change in the Cerrado/Amazon ecotone: A case study of the upper Teles Pires river basin. **Acta Amazonica**, [S. l.], v. 48, n. 2, p. 168–177, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201701930>. Acesso em: 7 set. 2020.

ZIEMNICZAK, Clávio Momo. **Concentração de mercúrio total e metilmercúrio em solo, sedimentos e peixes da Reserva Biológica do Jarú - RO**. 2019. - UNIR, Ji-Paraná, 2019. Disponível em: [http://www.engenhariaambiental.unir.br/uploads/65413365/CLAVIO\\_MOMO\\_ZIEMNICZAK.pdf](http://www.engenhariaambiental.unir.br/uploads/65413365/CLAVIO_MOMO_ZIEMNICZAK.pdf). Acesso em: 21 jul. 2020.



# APÊNDICES



Ministério do Meio Ambiente - MMA  
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio  
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

## Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 68078-1	Data da Emissão: 19/02/2019 11:04:12	Data da Revalidação*: 19/02/2020
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

### Dados do titular

Nome: Mayk da Silva Sales	CPF: [REDACTED]
Nome da Instituição: Fundação Universidade Federal de Rondônia	CNPJ: 04.418.943/0001-90

### Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta de dados realizadas neste período	02/2019	12/2019

### Equipe

#	Nome	Função	CPF	Nacionalidade
1	Ronaldo Almeida	Pesquisador Orientador	[REDACTED]	Brasileira
2	Elisabete Lourdes do Nascimento	Pesquisador Colaborador	[REDACTED]	Brasileira
3	João Paulo de Oliveira Gomes	Pesquisador Colaborador	[REDACTED]	Brasileira
4	Etienne Oliveira Silva	Pesquisador Colaborador	[REDACTED]	Brasileira

### Observações e ressalvas

1	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.
2	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
3	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição in situ.
4	Esta autorização NÃO exige o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
5	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
6	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infra-estrutura da unidade.
7	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em <a href="http://www.mma.gov.br/cgen">www.mma.gov.br/cgen</a> .

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet ([www.icmbio.gov.br/sisbio](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).

Código de autenticação: 0680780120190219

Página 1/3



Ministério do Meio Ambiente - MMA  
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio  
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

### Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 68078-1	Data da Emissão: 19/02/2019 11:04:12	Data da Revalidação*: 19/02/2020
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

#### Dados do titular

Nome: Mayk da Silva Sales	CPF: [REDACTED]
Nome da Instituição: Fundação Universidade Federal de Rondônia	CNPJ: 04.418.943/0001-90

#### Outras ressalvas

1	O pesquisador deverá informar com a devida antecedência as visitas à REBIO Jaru, por meio dos seguintes canais: Email: patricia.ribeiro@icmbio.gov.br End: Rua São Cristóvão, 903 - Jardim Presidencial - Ji-Paraná/RO	CR 1 Porto Velho-RO
---	--	---------------------

#### Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Descrição do local	Município-UF	Bioma	Caverna?	Tipo
1	Reserva Biológica do Jaru	RO	Amazônia	Não	Dentro de UC Federal

#### Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo destino
1	Fundação Universidade Federal de Rondônia	Laboratório

*Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet ([www.icmbio.gov.br/sisbio](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).*

Código de autenticação: 0680780120190219

Página 2/3



# RELATÓRIO TÉCNICO

Qualidade da água no médio Rio Machado e seus principais afluentes com ênfase no Mercúrio e Metilmercúrio (Rondônia)

Elaborado por Mayk da Silva Sales



**Relatório Técnico - Qualidade da água no médio Rio Machado e seus principais afluentes com ênfase no Mercúrio e Metilmercúrio (Rondônia)**

**Realização:**

Mayk da Silva Sales

**Revisão:**

Ronaldo de Almeida

Elisabete Lourdes do Nascimento

**Apoio técnico:**

Agência Nacional de Águas - ANA

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES

Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua

Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio

Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer – Biogeoquímica Ambiental

Laboratório de Limnologia e Microbiologia – LABLIM

Como citar este relatório técnico:

SALES, M.S. Qualidade da água no médio Rio Machado e seus principais afluentes com ênfase no Mercúrio e Metilmercúrio (Rondônia). Relatório Técnico. XX p. Ji-Paraná – RO, 2020.

Ji-Paraná – RO

2020

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	2
LISTA DE TABELAS E QUADROS .....	3
<b>1 APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>5</b>
2.1 ANÁLISES MORFOMÉTRICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	8
2.2 ANÁLISE DA COBERTURA DA TERRA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	8
2.3 ANÁLISE DE ÁGUA: VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS, MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO .....	9
<b>3 QUALIDADE DA ÁGUA, MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO .....</b>	<b>10</b>
3.1 MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO NA ÁGUA .....	13
3.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MERCÚRIO .....	15
3.3 COBERTURA DA TERRA .....	20
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>21</b>
<b>5 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>22</b>
APÊNDICES.....	24

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização da área de estudo. ....	6
<b>Figura 2</b> - Pluviosidade da estação 1061003 da Agência Nacional de Águas. ....	7
<b>Figura 3</b> - Regime hidrológico do Rio Machado entre janeiro de 2019 a dezembro de 2019. Fonte:(ANA, 2020). Cores em azul escuro indica o período de coleta. ....	7
<b>Figura 4</b> - Fluxograma da metodologia para quantificação da cobertura da terra a partir das coleções MapBiomas. ....	9
<b>Figura 5</b> - Fluxograma da metodologia da pesquisa. ....	10
<b>Figura 6</b> - Concentrações de mercúrio total (Hg T) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) por ponto de coleta. ....	14
<b>Figura 7</b> - Concentrações de metilmercúrio (MeHg) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) por ponto de coleta. ....	15
<b>Figura 8</b> - Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo. ....	17
<b>Figura 9</b> - Distribuição espacial das concentrações de mercúrio total (Hg T) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade. ....	18
<b>Figura 10</b> - Distribuição espacial das concentrações de metilmercúrio (MeHg) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade. ....	19

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

<b>Tabela 1</b> - Pontos de coleta de água e parâmetros físico-químicos, codificação e coordenadas. ....	5
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros e métodos de análises empregados para a qualidade de água. ....	9
<b>Tabela 3</b> Resumo estatístico mínimo, máximo e média da condutividade elétrica (CE), fósforo dissolvido (Pd), fósforo total (Pt), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), oxigênio dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Material Particulado em Suspensão (MPS), transparência (Trans) e turbidez por sazonalidade. ....	11
<b>Tabela 4</b> - Estatística descritiva do Hg total e MeHg ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) e percentual de MeHg em relação ao Hg total na águas dos tributários e rio principal. ....	13
<b>Tabela 5</b> - Análise morfométrica das bacias hidrográficas da área de estudo dos parâmetros área (A) ( $\text{km}^2$ ), contribuição (C) (%), perímetro (P) (km), comprimento axial (C.Axial) (km), coeficiente de compacidade (Cc) (adimensional), fator forma (FF) (adimensional), drenagem (D) (km), densidade de drenagem (DD) ( $\text{km}/\text{km}^2$ ), cota mínima (H mín) (m), cota máxima (H máx) (m). ....	16
<b>Tabela 6</b> – Cobertura da terra nas bacias hidrográficas proporcional a área sua total. ....	20



## 1 APRESENTAÇÃO

O mercúrio (Hg) é um elemento encontrado nas bacias amazônicas, tanto em compartimentos bióticos quanto abióticos. Estudos buscam compreender se a fonte do mercúrio é natural ou antropogênica, mas a extração ilegal de ouro está intimamente ligada com a presença do Hg (FADINI; JARDIM, 2001). Independentemente disto, o mercúrio é um elemento que pode ser transportados por diferentes veículos como sedimentos e corpos hídricos (SIQUEIRA *et al.*, 2018; SIQUEIRA; APRILE, 2012).

No estado de Rondônia, uma das principais bacias hidrográficas é a do Rio Machado com extensão territorial com 75421,67 km<sup>2</sup>. Neste é encontrado atividades agrícolas, pecuária, indústrias, comércios e núcleos urbanos, assim como unidades de conservação e terras indígenas.

Neste contexto, na margem direita do trecho do médio Rio Machado está localizada a Unidade de Conservação Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru) enquanto que nas bacias hidrográficas da margem esquerda são encontradas atividades de pecuária, agricultura, assim como núcleos urbanos.

Para efeito de avaliação ambiental foi selecionado este trecho a fim de identificar se há diferenças sazonais e espaciais das contribuições do mercúrio e se estas estão relacionadas com o uso e ocupação das bacias hidrográficas estudadas.

Estudos indicam a presença do mercúrio no solo e peixes neste trecho do Rio Machado, mas ainda não foram avaliadas as concentrações na coluna d'água. A determinação das concentrações de mercúrio e metilmercúrio são informações importantes para subsidiar a proposta de enquadramento dos corpos hídricos desta área assim como o rio principal.

Deste modo, para facilitar a consulta de dados referente as bacias hidrográficas foi elaborado este relatório técnico que tem como referência os resultado encontrados na pesquisa “Dinâmica do mercúrio total e metilmercúrio na água do médio Rio Machado e principais afluentes (Rondônia)” desenvolvida pelo mestrando Mayk da Silva Sales, orientado pelo Prof. Dr. Ronaldo de Almeida e Prof<sup>a</sup> Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento para o programa de

---

**RELATÓRIO TÉCNICO** - QUALIDADE DA ÁGUA NO MÉDIO RIO MACHADO E SEUS PRINCIPAIS AFLUENTES  
COM ÊNFASE NO MERCÚRIO E METILMERCÚRIO (RONDÔNIA)

4

Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos – Prof.Água.

O estudo foi dirigido para a investigação dos parâmetros limnológicos da água, uso e ocupação, análises morfométrica e principalmente para a quantificação do mercúrio total e metilmercúrio na matriz água. Os dados tem efeito de análises para estudos ambientais, gestores ambientais, gestores de recursos hídricos, assim como gestores de unidades de conservação.

Este relatório técnico tem como objetivo apresentar as informações das bacias hidrográficas estudadas que são as concentrações de mercúrio total, metilmercúrio, parâmetros limnológicos, uso e ocupação

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi um trecho do médio Rio Machado que tem extensão de 144,60 km (9°50'17,573"S e 61°42'28,333"O) (Figura 1). Neste foram selecionados os 10 principais tributários dos quais 6 são afluentes da margem direita do Rio Machado onde está localizada a Rebio Jaru e 4 são tributários da margem esquerda do Rio Machado.

Para contemplar o ciclo hidrológico foram realizadas coletas nos meses de março, junho, setembro e novembro de 2012 em 13 pontos de amostragem (Tabela 1).

**Tabela 1** - Pontos de coleta de água e parâmetros físico-químicos, codificação e coordenadas.

Nome	Código	Latitude	Longitude	Descrição
Igarapé Azul	P1	-10,20592	-61,86213	Foz com Rio Machado
Rio Machado <sup>m</sup>	P2	-10,20808	-61,86360	Entre leitos Rio Machado
Igarapé dos Milagres	P3	-10,20518	-61,87240	Foz com Rio Machado
Igarapé Monte Cristo	P4	-10,12351	-61,90670	Foz com Rio Machado
Igarapé Cajueiro	P5	-9,87305	-61,93507	Foz com Rio Machado
Rio Anari	P6	-9,79020	-61,95318	Foz com Rio Machado
Rio Machado <sup>me</sup>	P7	-9,73899	-61,88068	Entre leitos Rio Machado
Igarapé Tarifa	P8	-9,58721	-61,82470	Foz com Rio Machado
Rio Machado <sup>j</sup>	P9	-9,27610	-61,68258	Entre leitos Rio Machado
Igarapé Buenos Aires	P10	-9,27563	-61,67765	Foz com Rio Machado
Igarapé Pascana	P11	-9,38651	-61,68263	Foz com Rio Machado
Rio Tarumã	P12	-9,45895	-61,67028	Foz com Rio Machado

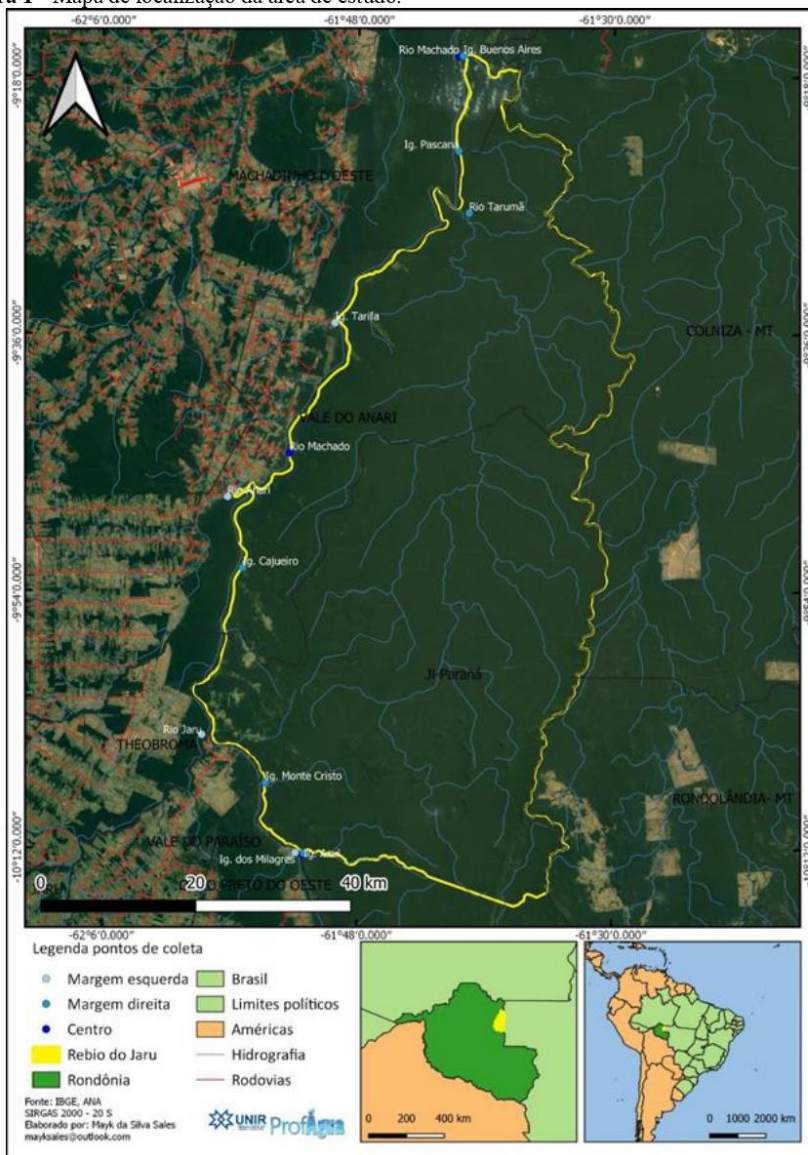
RELATÓRIO TÉCNICO - QUALIDADE DA ÁGUA NO MÉDIO RIO MACHADO E SEUS PRINCIPAIS AFLUENTES  
COM ÊNFASE NO MERCÚRIO E METILMERCÚRIO (RONDÔNIA)

5

Nome	Código	Latitude	Longitude	Descrição
Rio Jaru	P13	-10,06767	-61,98288	Foz com Rio Machado

Observações: Montante = <sup>m</sup>; Médio = <sup>me</sup>; Jusante = <sup>j</sup>. Fonte: Próprio autor. Datum SIRGAS 2000 - 20 S.

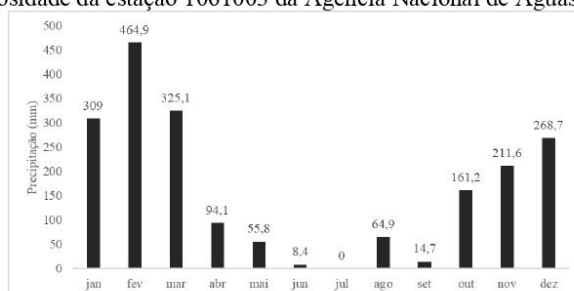
Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Próprio Autor.

A distribuição da pluviosidade na estação 1061003 da Agência Nacional de Águas (ANA) apresenta que nos meses de coleta as pluviosidades foram 325,10 mm em março, 8,40 mm em junho, 14,70 em setembro e 211,60 em novembro (Figura 3).

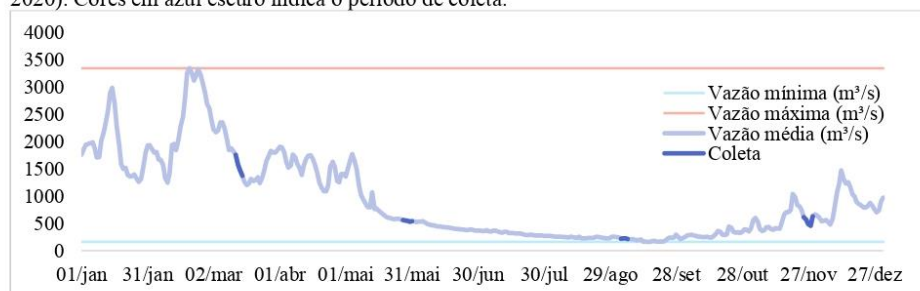
**Figura 2** - Pluviosidade da estação 1061003 da Agência Nacional de Águas.



Fonte: ANA (2020).

A vazão registrada na estação da Agência Nacional de Águas (ANA) mais próxima (15560000) indica vazão máxima de  $3346,81 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no dia 19/02/2019 e mínima de  $160,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (ANA, 2020). A Figura 3 apresenta o regime hidrológico no ano de 2019 com destaque para as datas de coleta.

**Figura 3** - Regime hidrológico do Rio Machado entre janeiro de 2019 a dezembro de 2019. Fonte:(ANA, 2020). Cores em azul escuro indica o período de coleta.



Fonte: Próprio autor.

## **2.1 Análises morfométricas das bacias hidrográficas**

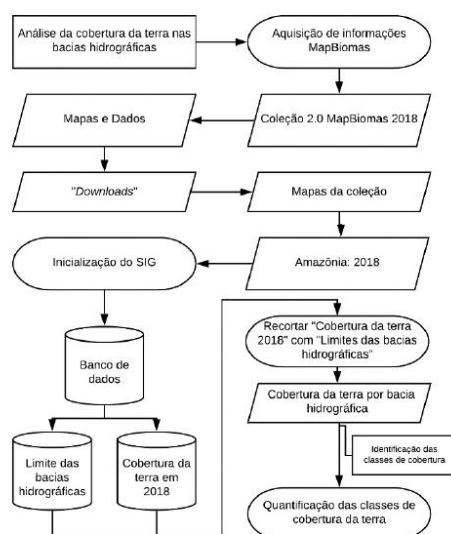
Para análises morfométricas foram utilizadas os produtos do TopoData, que são imagens processadas do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) que possuem resolução espacial de 30,00 m. As imagens foram utilizadas para a delimitação de bacias hidrográficas, recuperação dos valores de cotas máximas e mínimas. Para a manipulação dos dados matriciais e vetoriais foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas - “QGIS” da abordagem “GIS” (*Geographic Information System*).

## **2.2 Análise da cobertura da terra nas bacias hidrográficas**

A obtenção das informações de cobertura da terra seguiu a metodologia apresentada na Figura 4, iniciando pela aquisição das imagens disponíveis no banco de dados da MapBiomas passaram pelos processos de recorte com o vetor das bacias hidrográficas e concluindo com quantificação das coberturas presentes em cada bacia hidrográfica.



**Figura 4** - Fluxograma da metodologia para quantificação da cobertura da terra a partir das coleções MapBiomias.



.Fonte: Próprio autor.

### 2.3 Análise de água: variáveis limnológicas, mercúrio total e metilmercúrio

As variáveis limnológicas foram conforme o guia de metodologias da *American Public Health Association* (APHA) (1995), já para a quantificação da concentração do mercúrio total e metilmercúrio foram adotadas as resoluções da *Environmental Protection Agency* (EPA) 1630, 1631 e 1669 seguindo-se as recomendações para coleta e análise (EPA, 2003; USA, 1996, 1998, 2002). O métodos segundo cada parâmetro de qualidade de água é apresentado na Tabela 2 e o fluxograma das metodologias é apresentado na Figura 5.

**Tabela 2** - Parâmetros e métodos de análises empregados para a qualidade de água.

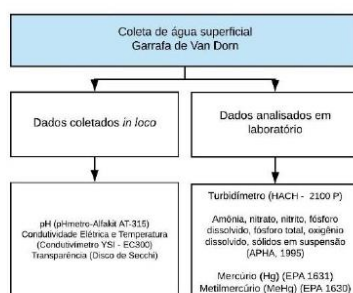
Parâmetro	Métodos	Referências
Amônia	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Condutividade Elétrica	<i>In loco</i> por Sonda	(CETESB, 2011)
Fósforo Dissolvido	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Fósforo Total	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Hg	AFS	EPA (2003)

Parâmetro	Métodos	Referências
MeHg	CG-AFS	EPA (2003)
Nitrato	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Nitrito	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Oxigênio Dissolvido (OD)	Titulométrico	APHA (1995)
Potencial Hidrogeniônico (pH)	<i>In loco</i> por Sonda	CETESB (2011)
Material Particulado em Suspensão	Gravimétrico	APHA (1995)
Temperatura	<i>in loco</i> por sonda	CETESB (2011)
Transparência da Água	Disco de <i>Secchi</i>	Esteves (1998)
Turbidez	Turbidímetro de bancada	CETESB (2011)

Fonte: Próprio autor.

Os parâmetros limnológicos foram analisados no Laboratório de Limnologia e Microbiologia – LABLIM da Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, campus de Ji-Paraná, enquanto o mercúrio total e metilmercúrio foi analisado no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer da Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, campus de Porto Velho.

**Figura 5** - Fluxograma da metodologia da pesquisa.



Fonte: Próprio autor.

### 3 QUALIDADE DA ÁGUA, MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO

A Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros limnológicos da água assim como os valores de mercúrio e metilmercúrio na água entre as contribuições das margens esquerda e direita no trecho do médio Rio Machado.

**Tabela 3** Resumo estatístico mínimo, máximo e média da condutividade elétrica (CE), fósforo dissolvido (Pd), fósforo total (Pt), nitrato (NO<sub>3</sub>), nitrito (NO<sub>2</sub>), nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub>), oxigênio dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Material Particulado em Suspensão (MPS), transparência (Trans) e turbidez por sazonalidade.

Parâmetro	Sistema	Águas altas			Vazante			Águas baixas			Enchente		
		Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média
CE (µS.cm <sup>-1</sup> )	RM	32,40	34,80	33,60	32,60	34,70	33,83	35,50	36,00	35,80	34,90	37,40	35,77
CE (µS.cm <sup>-1</sup> )	MD	8,10	33,30	22,73	5,50	29,90	15,10	5,60	72,60	31,05	8,00	36,60	24,63
CE (µS.cm <sup>-1</sup> )	ME	14,20	44,40	30,98	13,10	49,90	28,00	18,50	75,10	41,40	19,00	47,00	32,85
Pd (µg.L <sup>-1</sup> )	RM	16,57	34,43	25,14	10,40	37,33	23,36	17,67	32,67	25,44	44,94	48,28	46,33
Pd (µg.L <sup>-1</sup> )	MD	9,43	33,71	16,21	9,40	51,40	26,83	17,67	68,50	35,58	4,94	44,94	19,25
Pd (µg.L <sup>-1</sup> )	ME	9,43	19,43	13,54	7,40	95,40	31,87	17,67	33,50	28,92	8,28	55,78	26,82
Pt (µg.L <sup>-1</sup> )	RM	38,86	63,14	47,43	19,83	103,40	68,54	61,83	98,50	85,17	101,00	119,33	110,44
Pt (µg.L <sup>-1</sup> )	MD	13,86	68,86	39,57	15,40	104,58	49,95	51,00	107,67	67,25	22,67	109,33	57,53
Pt (µg.L <sup>-1</sup> )	ME	28,86	56,00	42,61	35,67	197,40	108,66	63,50	102,00	87,71	36,00	100,17	61,21
NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	RM	25,20	35,99	32,24	29,02	37,41	32,48	0,65	1,22	1,02	0,58	1,01	0,82
NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	MD	28,50	33,57	30,76	27,20	36,36	31,79	0,17	1,11	0,66	0,47	1,85	0,97
NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	ME	21,15	30,25	27,40	30,74	35,48	32,88	0,29	1,02	0,60	0,36	2,03	1,09
NO <sub>2</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	RM	4,10	9,27	6,16	4,43	4,93	4,71	1,86	7,21	4,95	23,11	25,07	24,24
NO <sub>2</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	MD	2,10	6,93	3,74	0,77	4,77	2,49	0,96	8,64	4,74	5,61	24,89	13,20
NO <sub>2</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	ME	4,43	8,93	6,48	0,93	5,60	2,89	0,00	7,57	4,92	9,54	21,14	14,36
NH <sub>3</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	RM	24,60	92,10	65,10	26,60	71,60	48,77	7,10	23,60	15,43	8,10	18,21	11,97
NH <sub>3</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	MD	12,10	773,10	156,35	26,10	168,10	59,77	23,60	1277,60	248,85	7,55	11,47	8,83
NH <sub>3</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	ME	15,60	255,60	89,98	2,10	72,60	41,60	9,10	34,10	22,10	8,26	20,82	12,93
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	RM	6,12	6,94	6,53	7,00	10,33	8,44	8,00	11,67	10,00	6,67	8,00	7,44
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	MD	5,31	8,89	6,86	4,67	10,67	7,72	4,67	10,67	7,17	7,00	8,00	7,28
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	ME	5,71	7,14	6,73	7,33	10,33	8,75	7,33	10,33	8,75	6,33	7,00	6,83
pH	RM	6,78	6,91	6,83	7,00	7,20	7,09	6,60	7,40	6,97	6,70	6,72	6,71
pH	MD	6,55	6,94	6,77	4,07	6,65	5,75	4,74	7,30	6,20	5,35	6,75	6,21
pH	ME	6,57	7,13	6,82	5,94	7,00	6,50	5,85	7,63	6,66	6,24	6,87	6,61
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	RM	91,00	112,00	92,40	65,00	80,00	66,00	5,00	65,00	17,00	51,00	66,00	55,00
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	MD	14,00	79,80	59,50	10,00	57,00	42,50	4,00	34,00	18,50	16,00	43,00	31,50
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	ME	37,80	96,60	86,10	27,00	69,00	61,50	31,00	79,00	49,50	8,00	55,00	38,50
Transp (m)	RM	0,53	0,69	0,59	0,28	0,38	0,35	0,65	0,70	0,68	0,22	0,31	0,25

RELATÓRIO TÉCNICO - QUALIDADE DA ÁGUA NO MÉDIO RIO MACHADO E SEUS PRINCIPAIS AFLUENTES COM ÊNFASE NO MERCÚRIO E METILMERCÚRIO (RONDÔNIA)

11

Parâmetro	Sistema	Águas altas			Vazante			Águas baixas			Enchente		
Transp (m)	MD	0,80	1,20	0,96	0,32	1,09	0,71	0,20	1,15	0,55	0,36	1,17	0,79
Transp (m)	ME	0,63	1,19	0,80	0,33	0,95	0,58	0,49	0,73	0,59	0,41	0,63	0,49
UNT (UNT)	RM	32,40	36,60	34,60	23,50	52,00	34,00	8,88	14,40	12,19	57,40	86,10	75,93
UNT (UNT)	MD	7,15	33,90	18,40	4,00	16,50	9,92	7,54	40,50	16,19	8,60	66,40	29,10
UNT (UNT)	ME	9,34	46,40	27,41	5,00	28,50	16,75	5,20	34,80	19,98	24,70	43,70	37,40

Observações: RM = Rio Machado; MD = Margem direita; ME = Margem esquerda.  
Fonte: Próprio autor.

RELATÓRIO TÉCNICO - QUALIDADE DA ÁGUA NO MÉDIO RIO MACHADO E SEUS PRINCIPAIS AFLUENTES COM ÊNFASE NO MERCÚRIO E METILMERCÚRIO (RONDÔNIA)

12



### 3.1 MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO NA ÁGUA

Os resultados das concentrações do mercúrio total e metilmercúrio na água são encontrados na Tabela 4. Foi observado que no Rio Tarumã a concentração de mercúrio total variou entre 0,90 ng.L<sup>-1</sup> a 34,38 ng.L<sup>-1</sup>. Enquanto que o menor valor de metilmercúrio encontrado foi de 0,01 ng.L<sup>-1</sup> no Igarapé Azul, já o maior valor encontrado foi de 0,66 ng.L<sup>-1</sup>.

**Tabela 4** - Estatística descritiva do Hg total e MeHg (ng.L<sup>-1</sup>) e percentual de MeHg em relação ao Hg total na águas dos tributários e rio principal.

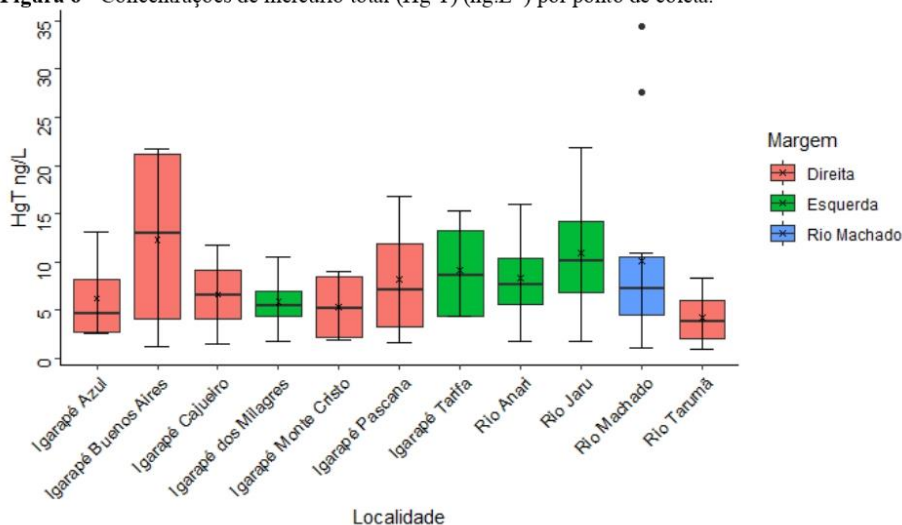
Ponto	HgT			MeHg			MeHg.HgT*100%
	Mín	Média	Max	Mín	Média	Max	
Ig. Azul	2,52	6,18	13,03	0,01	0,12	0,23	2,78 (8,58-0,47)
Ig. Buenos Aires	1,20	12,23	21,68	0,03	0,12	0,21	4,87 (17,84-0,17)
Ig. Cajueiro	1,41	6,59	11,75	0,05	0,13	0,20	4,74 (14,57-0,43)
Ig. dos Milagres	1,74	5,81	10,55	0,08	0,28	0,66	11,34 (37,90-0,80)
Ig. Monte Cristo	1,84	5,33	9,03	0,03	0,14	0,23	4,37 (12,43-0,76)
Ig. Pascana	1,66	8,16	16,85	0,07	0,15	0,22	4,10 (11,86-0,58)
Ig. Tarifa	4,32	9,15	15,23	0,08	0,21	0,46	2,75 (5,12-0,60)
Rio Anari	1,70	8,26	16,03	0,04	0,14	0,20	3,65 (11,05-0,64)
Rio Jaru	1,74	10,89	21,78	0,05	0,13	0,20	3,56 (11,80-0,44)
Rio Machado	1,06	10,10	34,38	0,02	0,12	0,21	4,77 (17,43-0,05)
Rio Tarumã	0,90	4,21	8,32	0,04	0,12	0,19	6,47 (19,63-0,79)

Fonte: Próprio autor.

As análises indicam que há diferenças significativas entre os valores de metilmercúrio que afluem da Rebio Jaru em relação ao Rio Machado como também em relação aos afluentes da margem esquerda do Rio Machado.

A Figura 6 apresenta o gráfico *boxplot* da distribuição estatística do mercúrio total na área de estudo. O Igarapé Buenos Aires e o Rio Jaru apresentaram os maiores valores. O Rio Tarumã apresentou as mínimas observadas na área de estudo. Deve-se considerar que a bacia hidrográfica do Rio Tarumã representa 71,48% da Rebio Jaru.

**Figura 6** - Concentrações de mercúrio total (Hg T) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) por ponto de coleta.



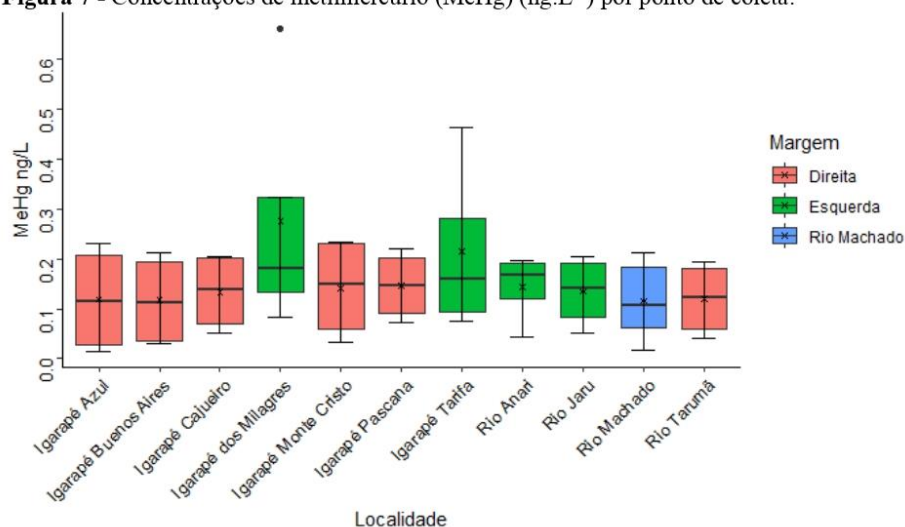
Fonte: Próprio autor.

A máxima do Hg T foi observada no Rio Machado ( $34,48 \text{ ng.L}^{-1}$ ) durante o período de enchente, este ponto é o ponto mais a montante do trecho estudado. A mínima observada foi no Rio Tarumã ( $0,90 \text{ ng.L}^{-1}$ ) no período das águas baixas. Os valores do tributários da margem direita variaram entre  $0,90$  e  $21,68 \text{ ng.L}^{-1}$  Hg T enquanto que nos tributários da margem esquerda variam entre  $1,70$  e  $21,78 \text{ ng.L}^{-1}$  Hg T. O Rio Machado apresentou valores de Hg T entre  $1,06$  e  $34,38 \text{ ng.L}^{-1}$ .

Os gráfico *boxplot* do metilmercúrio é apresentado na Figura 7. Os valores de metilmercúrio não apresentaram relações com as concentrações do mercúrio total. A máxima foi observada no Igarapé dos Milagres ( $0,66 \text{ ng.L}^{-1}$ ) no período das águas baixas. Já a mínima foi registrada no Igarapé Azul ( $0,01 \text{ ng.L}^{-1}$ ) durante o período da vazante.

Nos tributário da margem direita os valores de metilmercúrio variam entre  $0,01$  e  $0,23 \text{ ng.L}^{-1}$  MeHg, nos tributários da margem esquerda a variou de  $0,04$  a  $0,66 \text{ ng.L}^{-1}$  MeHg e no Rio Machado foi observado valores entre  $0,02$  e  $0,21 \text{ ng.L}^{-1}$  MeHg.

**Figura 7** - Concentrações de metilmercúrio (MeHg) ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) por ponto de coleta.



Fonte: Próprio autor.

### 3.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MERCÚRIO

Os valores obtidos a partir das análises morfométricas são apresentados na Tabela 5. As maiores bacias hidrográficas estudadas foram a do Rio Jaru e a do Rio Tarumã. Somadas, todas as bacias estudadas totalizam 11727,57  $\text{km}^2$ . As áreas das bacias hidrográficas estudadas variaram entre 25,84 e 7244,75  $\text{km}^2$ .

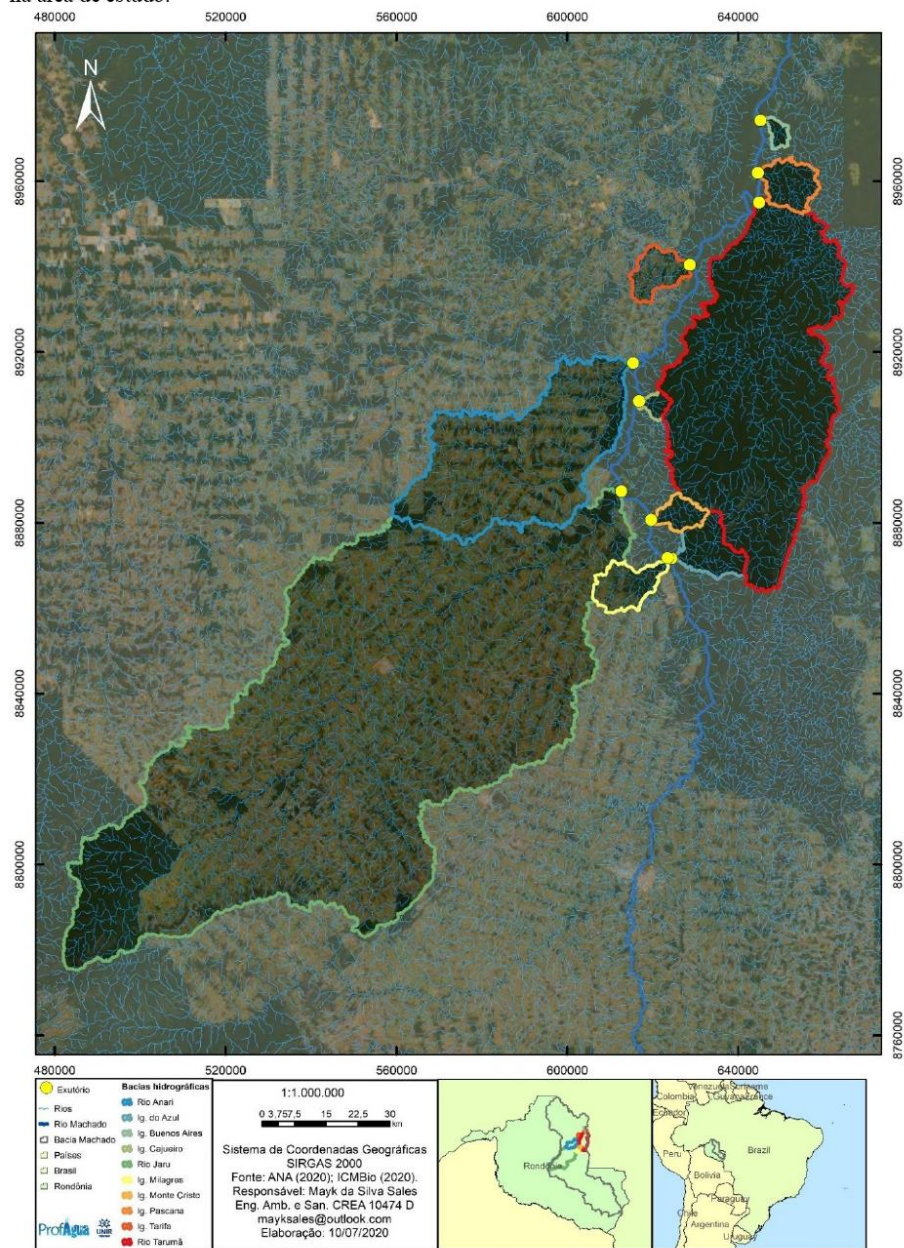
**Tabela 5** - Análise morfométrica das bacias hidrográficas da área de estudo dos parâmetros área (A) (km<sup>2</sup>), contribuição (C) (%), perímetro (P) (km), comprimento axial (C.Axial) (km), coeficiente de compacidade (Cc) (adimensional), fator forma (FF) (adimensional), drenagens (D) (km), densidade de drenagem (DD) (km/km<sup>2</sup>), cota mínima (H mín) (m), cota máxima (H máx) (m).

Bacia	Margem	A	C	P	C. Axial	Cc	FF	IC	D	DD	H mín.	H máx.
Igarapé Azul	MD	149,67	1,28	69,25	17,81	1,58	0,47	0,39	130,66	0,87	120,00	413,00
Igarapé Buenos Aires	MD	25,84	0,22	30,81	8,72	1,70	0,34	0,34	20,98	0,81	91,00	169,00
Igarapé Cajueiro	MD	30,09	0,26	29,93	7,80	1,53	0,49	0,42	26,37	0,88	110,00	192,00
Igarapé dos Milagres	ME	133,72	1,14	66,16	19,93	1,60	0,34	0,38	113,45	0,85	117,00	368,00
Igarapé Monte Cristo	MD	66,26	0,56	43,83	13,65	1,51	0,36	0,43	59,04	0,89	120,00	402,00
Igarapé Pascana	MD	120,67	1,03	59,90	14,91	1,53	0,54	0,42	123,40	1,02	97,00	232,00
Igarapé Tarifa	ME	110,77	0,94	56,27	15,46	1,50	0,46	0,44	139,35	1,26	100,00	258,00
Rio Anari	ME	1345,21	11,47	244,62	66,86	1,87	0,30	0,28	1014,83	0,75	102,00	342,00
Rio Jaru	ME	7244,75	61,78	605,95	171,33	1,99	0,25	0,25	5201,95	0,72	105,00	586,00
Rio Tarumã	MD	2500,59	21,32	331,89	90,89	1,86	0,30	0,29	1983,98	0,79	100,00	503,00

Fonte: Próprio autor.

As bacias hidrográficas delimitadas são apresentadas na Figura 8. Nas Figuras 9 e 10 são espacializadas as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio, respectivamente.

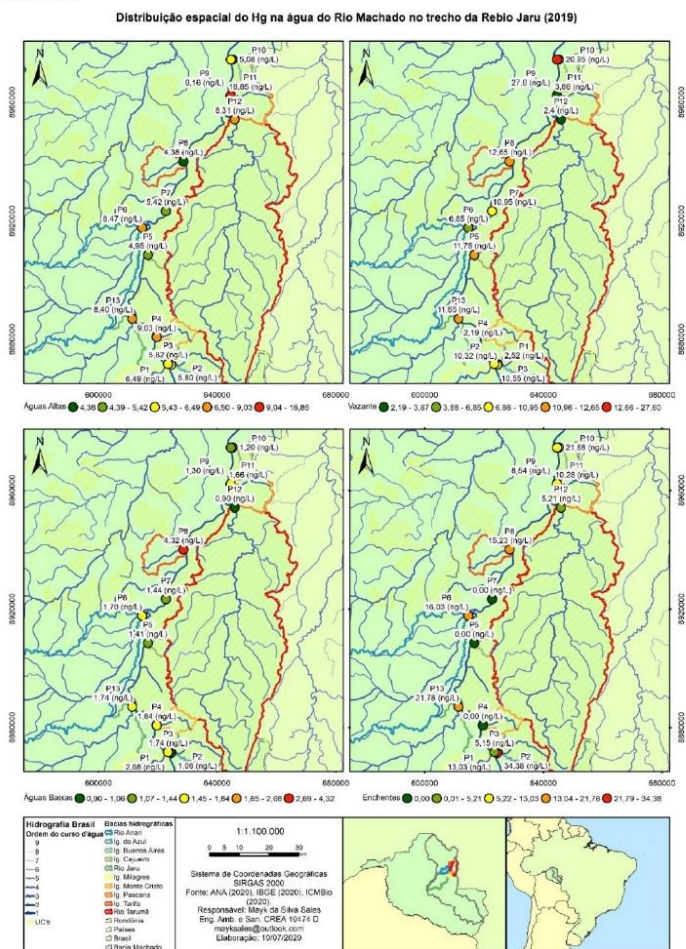
**Figura 8** - Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo.



Fonte: Próprio autor.



**Figura 9** - Distribuição espacial das concentrações de mercúrio total (Hg T) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade.

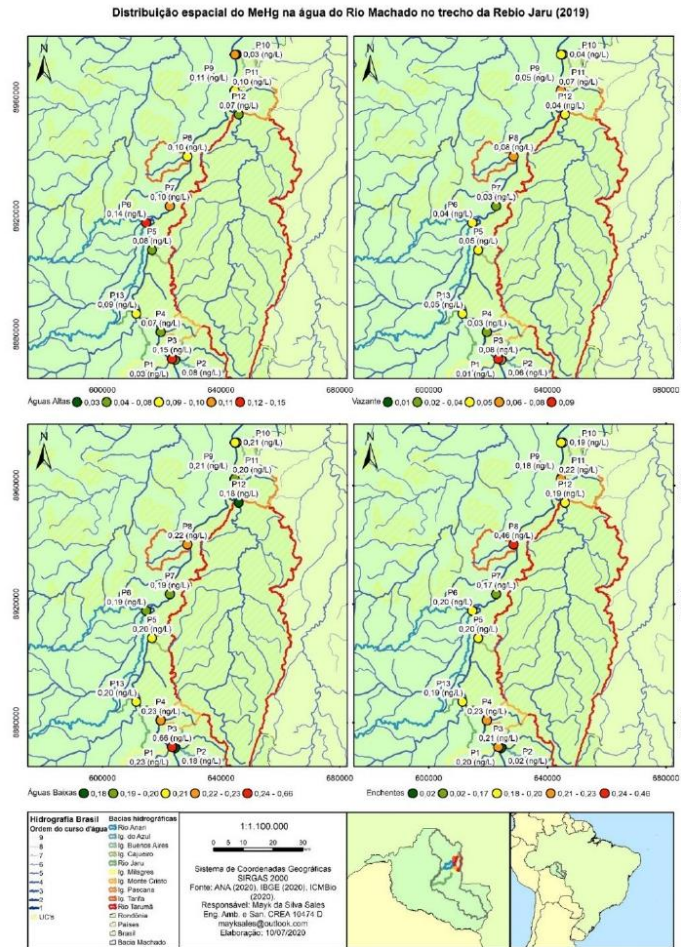


Fonte: Próprio autor.

Foi observado um redução da concentração do mercúrio total entre da montante para a justando do Rio Machado. Já no ponto médio do Rio Machado foi observado a menor média entre os pontos do Rio Machado. A média de mercúrio total a montante (P2) foi de 12,89 ( $\pm$  14,82) ng.L<sup>-1</sup>, no ponto médio (P7) do Rio Machado foi de 5,94 ( $\pm$  4,78) ng.L<sup>-1</sup> e a jusante (P9) foi de 10,90 ( $\pm$  11,53) ng.L<sup>-1</sup>.

Na Figura 10 é apresentada a distribuição espacial dos valores do metilmercúrio nos diferentes períodos hidrológicos na área de estudo.

**Figura 10** - Distribuição espacial das concentrações de metilmercúrio (MeHg) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade.



Fonte: Próprio autor.

As concentrações do metilmercúrio no trecho do médio Rio Machado apresentaram elevação de sua concentração entre a montante para a jusante do Rio Machado. Já no ponto médio do Rio Machado foi observado a menor média entre os pontos do Rio Machado. A média de metilmercúrio a montante (P2) foi de  $0,09 (\pm 0,07) \text{ ng.L}^{-1}$ , no ponto médio (P7) do Rio Machado foi de  $0,12 (\pm 0,07) \text{ ng.L}^{-1}$  e a jusante (P9) foi de  $0,14 (\pm 0,07) \text{ ng.L}^{-1}$ .

### 3.3 COBERTURA DA TERRA

As bacias hidrográficas que estão no interior da Rebio Jaru encontram-se preservadas, pois predominantemente a classe indenticada foi a Formação Florestal. A que apresentou maior proporção de Formação Florestal foi a do Igarapé Azul (99,97% Formação Florestal).

Todas as bacias hidrográficas da margem esquerda apresentaram a classe pastagem e dentre elas a bacia hidrográfica do Igarapé Tarifa foi que maior proporção de pastagem em relação a sua área total (80,07%). A bacia do Rio Jaru foi a que apresentou maior área de de infraestrutura urbana, indicando que esta é a que possui maiores contribuições do esgoto urbano. Os resultado da cobertura da terra são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 6** – Cobertura da terra nas bacias hidrográficas proporcional a área sua total.

Bacia	Formação Florestal	Outra Formação Natural não Florestal	Pastagem	Cultura anual e Perene	Infr. Urbana	Água
Igarapé Azul	99,97	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Igarapé Buenos Aires	99,69	0,04	0,20	0,00	0,00	0,07
Igarapé Cajueiro	99,29	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00
Igarapé dos Milagres	24,65	0,00	74,96	0,10	0,00	0,29
Igarapé Monte Cristo	98,48	0,04	1,42	0,05	0,00	0,00
Igarapé Pascana	98,63	1,02	0,18	0,06	0,00	0,11
Igarapé Tarifa	19,46	0,00	80,07	0,01	0,00	0,46
Rio Anari	24,25	0,00	75,33	0,08	0,02	0,32
Rio Jaru	21,79	0,54	77,01	0,02	0,23	0,42
Rio Tarumã	99,66	0,02	0,22	0,01	0,00	0,09

Fonte: Map Biomas (2020).



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os tributários da margem direita do Rio Machado que afluem da Rebio Jaru são provenientes de bacias hidrográficas mais preservadas.

A cobertura da terra influenciou nas concentrações do metilmercúrio representada pela diferença estatística entre os tributários da margem direita em relação aos tributários da margem esquerda e o próprio Rio Machado.

A redução da concentração do mercúrio total no trecho do médio Rio Machado tem ligação com a presença da Rebio no trecho.

É necessário mais estudos para compreender a elevação da concentração do metilmercúrio, visto que este fenômeno ocorre principalmente pela atividade bacteriana, mas que neste estudo não foi conclusivo em relação com os tributários ou do próprio Rio Machado.

## 5 REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 20 ago. 2019.

APHA, American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 1995. ed. Washington: [s. n.], 1995. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/ISBN 9780875532356>

CETESB, COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**. São Paulo: ANA, 2011. *E-book*. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>

EPA, Environmental Protection Agency. **Index to EPA test methods**. 1. ed. Boston, MA: [s. n.], 2003. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1359183510364074>. Acesso em: 3 dez. 2018.

ESTEVES, Francisco De Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª Ed. ed. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/znc-1987-0514>

FADINI, P. S.; JARDIM, W. F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? **The Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 275, p. 71–82, 2001.

SIQUEIRA, Gilmar W. *et al.* Mercury in the Amazon basin: Human influence or natural geological pattern? **Journal of South American Earth Sciences**, [S. l.], v. 86, p. 193–199, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.06.017>

SIQUEIRA, Gilmar W.; APRILE, Fabio M. Distribuição de mercúrio total em sedimentos da plataforma Continental Amazônica - Brasil. **Acta Amazonica**, [S. l.], v. 42, n. 2, p. 259–267, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000200012>

USA. **Method 1669: Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels**. United States of America: [s. n.], 1996. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method\\_1669\\_1996.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method_1669_1996.pdf). Acesso em: 24 jul. 2020.

USA. **Method 1630: Methyl Mercury in Water by Distillation, Aqueous Ethylation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry**. Washington, DC, USA: [s. n.], 1998. p. 55. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method\\_1630\\_1998.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_1630_1998.pdf). Acesso em: 3 dez. 2018.

USA. **Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry** Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry. Washington, DC: [s. n.], 2002.p. 45. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method\\_1631e\\_2002.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_1631e_2002.pdf). Acesso em: 3 dez. 2018.

## APÊNDICES



Ministério do Meio Ambiente - MMA  
 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio  
 Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

### Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 68078-1	Data da Emissão: 19/02/2019 11:04:12	Data da Revalidação*: 19/02/2020
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

#### Dados do titular

Nome: Mayk da Silva Sales	CPF: [REDACTED]
Nome da Instituição: Fundação Universidade Federal de Rondônia	CNPJ: 04.418.943/0001-90

#### Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta de dados realizadas neste período	02/2019	12/2019

#### Equipe

#	Nome	Função	CPF	Nacionalidade
1	Ronaldo Almeida	Pesquisador Orientador	[REDACTED]	Brasileira
2	Elisabete Lourdes do Nascimento	Pesquisador Colaborador	[REDACTED]	Brasileira
3	João Paulo de Oliveira Gomes	Pesquisador Colaborador	[REDACTED]	Brasileira
4	Elienne Oliveira Silva	Pesquisador Colaborador	[REDACTED]	Brasileira

#### Observações e ressalvas

1	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente; ou quando da inadequação, omissão ou falta de descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.
2	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinam ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
3	O titular de licença ou autorização e os membros de sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo em condição in situ.
4	Esta autorização NÃO exonera o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as análises previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, possessor ou morador de áreas dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
5	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
6	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infra-estrutura da unidade.
7	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em <a href="http://www.mma.gov.br/ogen">www.mma.gov.br/ogen</a> .

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nAº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet ([www.icmbio.gov.br/sisbio](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).

Código de autenticação: 0680780120190219

Página 1/3



Ministério do Meio Ambiente - MMA  
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio  
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

#### Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 68078-1	Data da Emissão: 19/02/2019 11:04:12	Data da Revalidação*: 19/02/2020
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

#### Dados do titular

Nome: Mayk da Silva Sales	CPF: [REDACTED]
Nome da Instituição: Fundação Universidade Federal de Rondônia	CNPJ: 04.418.943/0001-90

#### Outras ressalvas

1	O pesquisador deverá informar com a devida antecedência as visitas à REBIO Jaru, por meio dos seguintes canais: Email: patricia.ribeiro@icmbio.gov.br End: Rua São Cristóvão, 993 - Jardim Presidencial - JI-Paraná/RO	CR 1 Porto Velho-RO
---	--	---------------------

#### Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Descrição do local	Município-UF	Bioma	Caverna?	Tipo
1	Reserva Biológica do Jaru	RO	Amazônia	Não	Dentro de UC Federal

#### Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo destino
1	Fundação Universidade Federal de Rondônia	Laboratório

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet ([www.icmbio.gov.br/sisbio](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).

Código de autenticação: 0680780120190219

Página 2/3







ProfÁgua



ProfÁgua - Mestrado Profissional em Rede Nacional em  
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos