



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

PRISCILA KETLEN NEGREIROS SOUSA

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM DIFERENTES  
NÍVEIS DE INFLUÊNCIA ANTRÓPICA ENTRE AS CIDADES DE NOVO AIRÃO E  
MANAUS - AM**

MANAUS – AM

2021



PRISCILA KETLEN NEGREIROS SOUSA

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM DIFERENTES  
NÍVEIS DE INFLUÊNCIA ANTRÓPICA ENTRE AS CIDADES DE NOVO AIRÃO E  
MANAUS - AM**

Dissertação de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Química, do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Química na área de concentração Métodos Analíticos e Estudos Ambientais.

Área de conhecimento: **Métodos Analíticos e Estudos Ambientais**

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tereza Cristina Souza de Oliveira

MANAUS

2021

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sousa, Priscila Ketlen Negreiros

S725a Avaliação de indicadores de qualidade da água em diferentes níveis de influência antrópica entre as cidades de Novo Airão e Manaus - AM / Priscila Ketlen Negreiros Sousa. 2021  
134 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Tereza Cristina de Souza Oliveira  
Dissertação (Mestrado em Química - Analítica) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Qualidade da água. 2. Influência antrópica. 3. Parque Nacional de Anavilhanas. 4. Novo Airão. 5. Manaus. I. Oliveira, Tereza Cristina de Souza. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**PRISCILA KETLEN NEGREIROS SOUSA**

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM DIFERENTES  
NÍVEIS DE INFLUÊNCIA ANTRÓPICA ENTRE AS CIDADES DE NOVO AIRÃO E  
MANAUS - AM**

Dissertação de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Química, do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Química na área de concentração Métodos Analíticos e Estudos Ambientais.  
Área de conhecimento: **Métodos Analíticos e Estudos Ambientais**

Aprovado em 30 de junho de 2021

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tereza Cristina Souza de Oliveira (Presidente)  
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

---

Prof. Dr. Sebastião Átila Fonseca Miranda (membro externo)  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

---

Cristine de Mello Dias Machado (membro interno)  
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

“Se quiser buscar realmente a verdade, é preciso que pelo menos uma vez na vida você duvide, o máximo que puder, de todas as coisas”. **Rene Descartes.**

### **Dedicatória**

Em memória à minha avó materna, Nazaré Negreiros. À minha família e amigos, por todo suporte a mim oferecido.

“Não é fácil encontrar o caminho. Mas é bom olhar pro lado e ver que não estou sozinho!”  
Charlie Brown Júnior.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela luz nos momentos sombrios de pandemia/quarentena causada pela COVID-19. A Ti toda glória!

À profª drª. Tereza Cristina, pela confiança em mim depositada para fazer um trabalho tão grandioso.

À Universidade Federal do Amazonas e ao Programa de Pós-graduação em Química (PPGQ) pela oportunidade de cursar o mestrado e obter mais conhecimento em minha área. A compreensão, ainda mais nesse contexto de pandemia, foi essencial para a concretização desta pesquisa.

À CAPES, pela bolsa de fomento que possibilitou as viagens de coleta e minha permanência no programa, especialmente no período de pandemia pela COVID-19.

A equipe gestora do Parque Nacional de Anavilhanas (ICMBio Novo Airão) pelo apoio logístico para coleta dos dados e ao barqueiro e guia de Anavilhanas, Vermelho. Seu conhecimento e bom humor durante a coleta proporcionaram um ambiente de trabalho prazeroso.

Ao Laboratório de Química Analítica e Ambiental do INPA e ao técnico Marcos Bolson, especialmente. Gratidão por ter aceito minhas análises em um tempo tão incerto, além de suas contribuições e disponibilidade em me ajudar.

Aos meus amigos de laboratório LAQUA e LAMESP: Augusto, Elton, Marcos, Jelmir, Anny, Alcinei, Joel, Ademir, Clara e minha parceira de viagens e coletas, Taynara Vale. Sem a ajuda de todos vocês, o trabalho seria mais difícil para concretizar. Imenso carinho por todos!

Ao mestre Milton Viana e a Paty Martins, ambos por sua paciência em me ensinar a estatística multivariada para o tratamento de dados. Admiro vocês e sou grata por tudo.

À família, pois minha ausência não foi fácil para eles e à **minha avó Nazaré, especialmente (in memorian)**. A senhora me deu forças, me apoiou e entendeu numa época tão difícil. Sinto muito por não poder estar ao seu lado. Eu te amo muito e espero lhe dar muito orgulho!

Ao meu companheiro, prof. MSc. Michel Campos. Ao seu lado, cresci e fiquei mais forte. Obrigada por toda paciência e apoio, especialmente no pós-campo.

Aos meus amigos mais próximos, pois sem o apoio deles, ainda que virtualmente, seria difícil continuar a caminhada.

**Acima de tudo, a mim mesma, por minha determinação e persistência para concluir o trabalho a mim proposto.**

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

%	-	Porcentagem
µS	-	Microsiemens
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	-	Agência Nacional de Águas
APHA	-	<i>American Public Health Association</i>
CE	-	Condutividade elétrica
CETESB	-	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	-	Conselho Nacional do Meio Ambiente
HYBAM	-	<i>Geodynamical, hydrological and biogeochemical control of erosion, alteration and material transport in the Amazon basin</i>
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
HCA	-	Hierarchical Cluster Analysis
ICMBIO	-	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPA	-	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
LAMESP	-	Laboratório de Métodos Espectroscópicos
LAQUA	-	Laboratório de Análise de Água e Qualidade Ambiental
MBRN	-	Mosaico de Áreas Protegidas do Baixo Rio Negro
MES	-	Material em suspensão
MMA	-	Ministério do Meio Ambiente
mV	-	Milivolts
OD	-	Oxigênio Dissolvido
ORP	-	Potencial de oxirredução
pH	-	Potencial hidrogeniônico
PNA	-	Parque Nacional de Anavilhanas
SMEWW	-	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
SS	-	Sólidos Suspensos
STS	-	Sólidos Totais Suspensos
UC	-	Unidades de Conservação
UNESCO	-	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USEPA	-	United States Environmental Protection Agency
VMP	-	Valores Máximos Permitidos



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Determinação de oxigênio dissolvido por método titulométrico.	53
Equação 2: Determinação de sólidos totais suspensos (STS) em amostras de águas.	55
Equação 3: Estatística de teste de Shapiro Wilk.	60
Equação 4: Reação do tensoativo catiônico em água.	66

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Dinâmica de oxigênio dissolvido com despejo de efluente não tratado.	29
Figura 2: Equilíbrio Químico entre $CO_2$ atmosférico e $CO_2$ dissolvido.	31
Figura 3: Mapa geral com as três áreas de estudo no baixo rio Negro.	41
Figura 4: Área de estudo controle - Parque Nacional de Anavilhanas (PNA).	42
Figura 5: Área de estudo sob influência antrópica – orla de Novo Airão (NA).	43
Figura 6: Área de estudo sob influência antrópica - Manaus (MAO).	44
Figura 7: A) Medições multiparamétricas no ponto amostral B) Sonda multiparamétrica YSI professional Plus utilizada nas medições no campo.	50
Figura 8: Frasco Winkler com oxigênio fixado na amostra.	51
Figura 9: Turbidímetro com suas respectivas cubetas e soluções padrão para calibração do equipamento.	54
Figura 10: Sistema de filtração de água para determinação de STS.	55
Figura 11: Digestão de filtros de acetato de celulose.	56
Figura 12: Etapas de preparação de amostras de águas superficiais e sólidos suspensos para análise no ICP-IOES.	57
Figura 13: Variação de pH nas três regiões em novembro de 2019.	65
Figura 14: Variação de ORP nas três regiões em novembro de 2019.	67
Figura 15: Variação de CE nas três regiões em novembro de 2019.	69
Figura 16: Variação de temperatura nas três regiões em novembro de 2019.	71
Figura 17: Variação de OD nas três regiões em novembro de 2019.	72
Figura 18: A) vista de entrada Igarapé Santo Antônio; B) Margem Igarapé Santo Antônio com restos de sacos plásticos; C) presença de flutuantes residenciais; d) Vista de saída do Igarapé Santo Antônio.	74
Figura 19: Variação de turbidez nas três regiões em novembro de 2019.	76
Figura 20: Variação de STS nas três áreas em novembro de 2019.	78
Figura 21: Box-plot de Cr e Cu dissolvidos e em SS nas três regiões em novembro de 2019.	80
Figura 22: Box-plot de Fe e Mn dissolvidos e em SS nas três regiões em novembro de 2019.	84
Figura 23: Box-plot do Ni e Pb dissolvido e em SS nas três regiões em novembro de 2019.	88
Figura 24: Foz do Igarapé da Tijuca.	91
Figura 25: Posto de combustível flutuante no Igarapé da Freguesia.	91
Figura 26: Box-plot de V e Zn dissolvido e em SS nas três regiões em novembro 2019.	93
Figura 27: Lixo encontrado na superfície do rio Negro em PNA em novembro de 2019.	97
Figura 28: Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros físico-químicos nas três áreas estudadas em novembro 2019.	110
Figura 29: Dendograma com os parâmetros nas três áreas em novembro de 2019.	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentração de oxigênio dissolvido no rio Negro durante a seca	30
Tabela 2: Potencial Hidrogeniônico (pH) no rio Negro durante o período de seca	32
Tabela 3: Turbidez (NTU) no rio Negro durante a seca	34
Tabela 4: Lista de pontos amostrais das áreas estudadas	45
Tabela 5: Condições de análise do ICP-OES Thermo Scientific	58
Tabela 6: Dados da curva analítica obtidas no ICP-OES	59
Tabela 7: Teste de Shapiro Wilk com nível de significância de 0,05 para as análises físico-químicas durante a seca em 2019	99
Tabela 8: Teste de Shapiro Wilk com nível de significância de 0,05 para os metais dissolvidos e em suspensão	100
Tabela 9: Matriz de correlação de Spearman para a estação de seca nas três regiões	104
Tabela 10: Matriz de Spearman dos parâmetros físicos e químicos e metais em SS em novembro de 2019	106
Tabela 11: Taxa de variância dos parâmetros estudados	108
Tabela 12: Cargas dos componentes principais responsáveis pela taxa de variância acumulada nas três regiões em novembro de 2019	109

## RESUMO

O Rio Negro é um rio com vasta extensão, banhando seis municípios do Estado do Amazonas, dentre eles Novo Airão e Manaus, distantes 127 km por via fluvial. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estimou em 2019 para Novo Airão população de 19.454 habitantes, aonde 15,4% tem esgoto sanitário adequado. Em Manaus a estimativa foi de 2.182.763 habitantes e 62,4% tem acesso a coleta de esgoto. Portanto, esses cenários podem caracterizar níveis de influência antrópica diferenciados sobre a qualidade da água dos corpos hídricos presentes no entorno desses municípios. O presente estudo tem o objetivo avaliar indicadores de qualidade da água sob diferentes níveis de influência antrópica entre as cidades mencionadas. Foi realizado em novembro de 2019, estudando o cenário de período de águas baixas, abrangendo um total de 32 pontos de amostragem de água e sólidos em suspensão. Como área controle, foram amostrados 12 pontos no Parque Nacional de Anavilhanas (PNA), considerado com baixa influência antrópica em razão de seu caráter de Unidade de Conservação (UC), 12 pontos na orla de Novo Airão (NA) e 8 pontos na orla de Manaus (MAO). Os parâmetros utilizados neste estudo foram: temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), potencial de oxirredução (ORP), oxigênio dissolvido (OD), Sólidos Totais Suspensos (STS), Turbidez (NTU), e a determinação de metais potencialmente tóxicos como Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) dissolvidos em águas superficiais e associados nos sólidos em suspensão (SS), cujas análises foram realizadas por Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). Esses indicadores de qualidade da água foram avaliados segundo os Valores Máximo Permitidos (VMP) previstos na resolução CONAMA 357, de 2005 e legislação NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) para sedimentos e comparados com estudos voltados para a região do rio Negro durante a seca, especificamente. A avaliação das médias e respectivos desvios padrão obtidos em cada parâmetro mostraram que o pH, ORP, CE foram indicadores que sugeriram uma variabilidade entre as áreas. PNA apresentou medições dos parâmetros físico-químicos esperadas, considerando-se suas características locais de ambiente sem significativa influência antrópica e considerado natural. Em NA, as medições dos parâmetros físicos e químicos se assemelharam a região controle, ao contrário de MAO, que teve valores elevados para alguns parâmetros e pontos, com grande destaque para a foz do igarapé do Quarenta que exibiu pH e CE elevados (6,69 e 409,57  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente), indicando alto teor de espécies iônicas dissolvidas. Quanto aos metais dissolvidos apresentaram-se com valores abaixo dos VMP, porém indicaram comportamento evidente de diferenças entre as regiões estudadas. Na água, o Zn exibiu uma tendência crescente: PNA < NA < MAO. Nos SS, Cu e Ni apresentaram uma tendência crescente entre as regiões: PNA < NA < MAO. Pb em SS exibiu concentrações elevadas em NA, o que é preocupante. Os testes de Shapiro-Wilk, Kruskal-Wallis e Dunn's post hoc e a Análise de Componente Principal (ACP) mostraram que os dados se distribuía de modo não normal, exibindo diferenças significativas, demonstrando os níveis de influência antrópica entre as regiões investigadas durante o período da seca de 2019. Ambientes amazônicos sob diferentes cenários de influência antrópica precisam ser estudados, servindo de subsídio para futuros diagnósticos ambientais.

**Palavras-chave:** Qualidade da água, influência antrópica, Parque Nacional de Anavilhanas, Novo Airão, Manaus.

## ABSTRACT

The Rio Negro is a river with a vast extension, bathing six municipalities of the State of Amazonas, among them Novo Airão and Manaus, distant 127 km by river. The Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) estimated in 2019 for Novo Airão a population of 19,454 inhabitants, where 15.4% have adequate sanitary sewage. In Manaus the estimate was 2,182,763 inhabitants and 62.4% have access to sewage collection. Therefore, these scenarios can characterize different levels of anthropic influence on the water quality of the water bodies present in the surroundings of these municipalities. The present study aims to evaluate water quality indicators under different levels of anthropic influence among the mentioned cities. It was conducted in November 2019, studying the low water period scenario, covering a total of 32 water and suspended solids sampling points. As a control area, 12 points were sampled in Anavilhanas National Park (PNA), considered with low anthropic influence due to its character as a Conservation Unit (UC), 12 points on the coast of Novo Airão (NA) and 8 points on the coast of Manaus (MAO). The parameters used in this study were: temperature, hydrogen potential (pH), electrical conductivity (EC), oxirreduction potential (ORP), dissolved oxygen (DO), Total Suspended Solids (STS), Turbidity (NTU), and the determination of potentially toxic metals such as Chromium (Cr), Copper (Cu), Iron (Fe), Manganese (Mn), Nickel (Ni), Lead (Pb), Vanadium (V) and Zinc (Zn) dissolved in surface water and associated in the suspended solids (SS), whose analyses were performed by Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). These water quality indicators were evaluated according to the Maximum Allowable Values (MPV) established in the CONAMA resolution 357, of 2005 and NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) legislation for sediments and compared with studies focused on the Negro River region during the drought, specifically. The evaluation of the means and respective standard deviations obtained in each parameter showed that pH, ORP, EC were indicators that suggested variability between the areas. PNA showed expected measurements of the physicochemical parameters, considering its local characteristics as an environment without significant anthropic influence and considered natural. In NA, the measurements of physical and chemical parameters were similar to the control region, unlike MAO, which had high values for some parameters and points, with great emphasis on the mouth of the Forty stream, which showed high pH and EC (6.69 and 409.57  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectively), indicating high content of dissolved ionic species. As for the dissolved metals, they presented values below the VMP, but indicated evident behavior differences between the regions studied. In the water, Zn showed an increasing trend: PNA < NA < MAO. In SS, Cu and Ni showed an increasing trend between regions: PNA < NA < MAO. Pb in SS exhibited high concentrations in NA, which is of concern. Shapiro-Wilk, Kruskal-Wallis and Dunn's post hoc tests and Principal Component Analysis (PCA) showed that the data were non-normally distributed, exhibiting significant differences, demonstrating the levels of anthropogenic influence among the investigated regions during the 2019 drought period. Amazonian environments under different scenarios of anthropic influence need to be studied, serving as a subsidy for future environmental diagnostics.

**Keywords:** water quality, anthropic influence, Anavilhanas National Park, Novo Airão, Manaus.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
2.1 Geral	21
2.2 Específicos	22
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Bacia Amazônica: um cenário diversificado</b>	<b>21</b>
3.1.1 Bacia do rio Negro	22
3.1.2 Influência antrópica no baixo rio Negro	25
<b>3.2 Qualidade da água</b>	<b>27</b>
3.2.1 Indicadores de qualidade da água	28
3.2.1.1 Oxigênio Dissolvido (OD)	28
3.2.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)	30
3.2.1.3 Potencial de oxirredução (ORP)	32
3.2.1.4 Condutividade Elétrica (CE)	33
3.2.1.5 Turbidez e Sólidos Totais Suspensos (STS)	33
3.2.2 Metais	35
<b>3.3 Síntese do capítulo</b>	<b>388</b>
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Caracterização da área de estudo</b>	<b>39</b>
4.1.1 Parque Nacional de Anavilhanas (PNA)	46
4.1.2 Novo Airão (NA)	46
4.1.3 Manaus (MAO)	48
<b>4.2 Calibração da sonda multiparamétrica</b>	<b>49</b>
4.2.1 Análise das amostras	49
4.2.1.1 Coleta de amostras	50
4.2.1.2 Determinação de Oxigênio Dissolvido	51
4.2.1.3 Turbidez	53
4.2.1.4 Filtração de amostras e determinação de sólidos totais suspensos	54
4.2.1.5 Metais em águas e em Sólidos Suspensos (SS)	55
4.2.1.6 Avaliação dos metais por ICP-OES	57
<b>4.3 Tratamento estatístico</b>	<b>59</b>

<b>4.4 Síntese do capítulo</b>	<b>62</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>63</b>
<b>5.1 Parâmetros físicos e químicos nas três áreas estudadas</b>	<b>63</b>
<b>5.2 Metais dissolvidos e em SS</b>	<b>80</b>
<b>5.3 Estatística Multivariada</b>	<b>99</b>
5.3.1 Teste de normalidade de Shapiro-Wilk	99
5.3.2 Teste de Kruskal-Wallis e Dunn's post hoc	101
5.3.3 Correlação de Spearman	102
5.3.4 Análise de Componentes Principais (PCA)	107
5.3.5 Análise de Agrupamento Hierárquico ou Cluster (HCA)	111
<b>5.4 Síntese do capítulo</b>	<b>113</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>114</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO III</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO IV</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO V</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO VI</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO VII</b>	<b>130</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Água é essencial para manutenção da vida no planeta. Tratar de sua relevância em ambientes diversificados, especialmente amazônicos, é falar da biodiversidade, relações de dependência entre seres vivos e meio ambiente, bem como compreender que este participa de praticamente todas as atividades humanas, possuindo desse modo valor comercial, ambiental e social. (MOREIRA, 2019; SOUZA FILHO, 2018). Apesar de ser a substância química mais abundante, a grande parcela da água disponível contém diversos sais dissolvidos, sendo assim, menos de 3% de água é doce (LEE, 1999).

Dentro dos 3% de água doce disponível mundialmente, a agricultura é a atividade antrópica que demanda mais de 70% da pouca disponibilidade total (TUNDISI, 2008). Além disso, dentro do contexto dos 3%, o Brasil possui apenas 12% de água doce superficial mundialmente disponível. A distribuição desse recurso ao longo do território brasileiro é desigual, embora a água seja abundante no território brasileiro, em termos de quantidade. O fator limitante para o uso desse recurso não é a quantidade de água e sim, sua qualidade. Portanto, o monitoramento da qualidade da água é indispensável, uma vez que existem diversos requisitos de qualidade da água a serem atendidos (MOREIRA, 2019; SOUZA FILHO, 2018).

Em relação a bacias hidrográficas, tanto a identificação quanto a quantificação dos impactos na qualidade da água são objetos de atenção a nível internacional. É preciso aperfeiçoar o uso da água através de implementação de procedimentos avaliativos de impactos ambientais, adotando técnicas para minimizá-los (JUNIOR 2015; CASARIN et. al., 2008; MENEZES et. al., 2009). Em contrapartida, a qualidade da água sofre variação por causa da relação regime hidrológico e ação antrópica. O crescimento urbano é um fator relevante para o planejamento ambiental adequado, caso contrário, poderá contaminar o corpo hídrico, afetando diretamente o abastecimento público (JUNIOR, 2015; CARVALHO et. al., 2011).

Os rios amazônicos possuem especificidades quanto ao seu ciclo hidrológico, cuja contribuição para a renovação anual da fertilidade de áreas inundáveis, além de regulação de locomoção populacional e de cargas é notória (MOREIRA, 2019; CARVALHO, 2004). Uma dessas especificidades é a periodicidade de um único tipo de inundação, sendo lenta, com períodos previsíveis de cheia e seca, denominado



“pulso monomodal” (MOREIRA, 2019; RAMALHO et. al., 2009; SOUSA, 2008; ZIEDERMAN, 2001). Os picos de cheia são comumente registrados entre maio a julho, enquanto o nível de seca é registrado em outubro/novembro. Conseqüentemente, há variação sazonal nos parâmetros limnológicos, físico-químicos, concentração de substâncias húmicas, elementos traço e balanço de massa/carga de sedimentos transportados relacionados à vazão do Baixo Rio Negro (MOREIRA, 2019).

Para entender a ação antrópica e suas conseqüências sobre o meio ambiente, especialmente na qualidade de águas pretas, é preciso diferenciar o impacto ocasionado por ação natural de ação ocasionada pelo homem. O impacto ambiental resulta de quaisquer atividades sobre o meio ambiente e podem ser classificados em impactos positivos ou negativos, visto que o ambiente pode sofrer esse impacto de modo natural, não somente por ação antrópica (FORTES et. al., 2015). A resolução nº 001/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) diz que impacto ambiental é resultante de alterações físicas, químicas e biológicas do meio ambiente por qualquer forma de matéria e energia cujas causas podem ser oriundas de atividades humanas. Ainda prevê as áreas afetadas: saúde e bem estar da população em geral, bem como a qualidade dos recursos ambientais

O Parque Nacional de Anavilhanas (PNA) é uma unidade de conservação considerada patrimônio da humanidade pela UNESCO, cujo papel principal é a preservação da biodiversidade local. Além disso, também é um ambiente propício à pesquisa, pois existem estudos voltados para a fauna, flora, hidroquímica e hidrogeoquímica da região, dada a complexidade que possui. Sua extensão ocupa grande parte do Baixo Rio Negro, abrangendo parte da orla de Novo Airão (MOREIRA, 2019; MARINHO, 2019), cuja gestão participativa e integrada influencia Novo Airão diretamente com a criação de acordos de pesca, Acordos 21, o que pode favorecer o município (MOURA, 2009).

Novo Airão é um município do Amazonas cujo potencial para pesquisas é relevante, em virtude da escassez de estudos com ênfase na qualidade da água na região. Na orla de Novo Airão, existem a drenagem de quatro igarapés ocupados por população local, tais como Igarapé Freguesia e Igarapé Santo Antônio, bem como a presença de flutuantes. O flutuante dos Botos é um ponto turístico bem conhecido na

cidade, além de estabelecimentos comerciais como a venda de combustíveis, e residenciais, cujos despejos, sem qualquer pré-tratamento, tem como destino de drenagem o Rio Negro. Entretanto, não possui uma rede de tratamento de esgoto adequada (MOURA, 2007).

Em Manaus, a qualidade da água e pressão poluidora na hidroquímica do Rio Negro foi avaliada, em conjunto com diversos estudos que demonstram que mudanças na composição química do rio vem acontecendo ao longo dos anos, desde a década de 1980 e proporcionam subsídios teóricos para discussões (VIANA, 2018; CALVO, 2018; LAGES; SILVA; PINTO, 2007). Sendo assim, foi proposto a análise a qualidade da água entre os municípios de Novo Airão e Manaus sob a ótica de parâmetros físico-químicos, oxigênio dissolvido e sólidos suspensos permeando-se na premissa de que o Parque Nacional de Anavilhanas (PNA) é uma Unidade de Conservação (UC) com ambiente aquático natural.

É essencial avaliar indicadores de qualidade da água no rio Negro sob diferentes níveis de influência antrópica entre as cidades de Novo Airão e Manaus, pois conhecer o comportamento do rio Negro ao absorver a influência antrópica em áreas de drenagem como igarapés urbanos é fundamental, já que a degradação ambiental é consequência do crescimento desordenado da população (FORTES et. al., 2015). Diante desse contexto, expõe-se as seguintes motivações para esta pesquisa:

1. A análise de parâmetros físicos e químicos, determinação de metais na fração dissolvida e particulada em águas superficiais no Parque Nacional de Anavilhanas (PNA), comparando-os com estudos anteriores, permite a classificação como área controle desse estudo. Isso se justifica pela classificação de Unidade de Conservação, conseqüentemente, os níveis de influência antrópica refletidos pelas medições realizadas na área devem ser mínimos;
2. Os indicadores de qualidade da água (físicos e químicos), assim como os metais dissolvidos e em suspensão, possivelmente refletem o nível de influência antrópica entre as regiões.

3. A estatística descritiva aliada a estatística multivariada pode evidenciar quais parâmetros são capazes de expor potenciais variações de PNA, NA a MAO;
4. O período de águas baixas pode exercer influência sobre a hidroquímica do baixo rio Negro, especialmente na concentração dos metais em águas superficiais e em sólidos suspensos.

## 5. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Avaliar os indicadores de qualidade da água no Rio Negro sob diferentes níveis de influência antrópica entre as cidades de Novo Airão e Manaus.

### 2.2 Específicos

- Avaliar a qualidade da água do Rio Negro na orla de Novo Airão e Manaus no Amazonas através de parâmetros físico-químicos e metais dissolvidos e fração particulada.
- Comparar os dados obtidos com os Valores Máximos Permitidos estimados na legislação CONAMA 357 para parâmetros físico-químicos e legislação apropriada para metais em águas superficiais e em suspensão, respectivamente.
- Correlacionar os dados de qualidade da água através da matriz de correlação de Spearman.
- Aplicar técnicas estatísticas multivariadas como Análises de Componentes Principais (ACP) e Análise Hierárquica de Agrupamento (AHA) para obtenção de informações a respeito de possíveis indicadores de influência antrópica.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Bacia Amazônica: um cenário diversificado

Em termos hidrográficos, a bacia amazônica se estende por mais de  $6.10^6$  km<sup>2</sup>, subsidiando ao Oceano Atlântico um grande volume d'água:  $6.600.10^9$  m<sup>3</sup>/ano (FILIZOLA, 2011). Logo, é a maior bacia hidrográfica do mundo, tendo influência no clima e na dinâmica da floresta amazônica, com características únicas, configurando-o como patrimônio da humanidade. O rio Amazonas, homônimo à bacia, é o rio mais extenso e mais impetuoso, nascendo nos Andes peruanos, percorrendo o Brasil e desagua no Oceano Atlântico. Seus afluentes são rios Solimões, Negro, Madeira, Juruá, Purus, Xingu e Tapajós. O rio Solimões origina-se nos Andes, de coloração marrom claro e materiais particulados (MARINHO, 2019).

A bacia recebe  $12.102$  m<sup>3</sup> de água por ano, onde  $6,48.10^{12}$  m<sup>3</sup>/ano de água é proveniente da evapotranspiração. Quanto à taxa de precipitação da bacia, a transpiração das plantas são responsáveis por 54% da precipitação, conseqüentemente, o desmatamento intensivo pode alterar o ciclo hidrológico (VILLA NOVA; SALATI; MATSUI, 1976). O regime da bacia do rio Amazonas demonstra variações bem particulares devido aos seus afluentes serem oriundos dos hemisférios sul e norte, parcialmente. O rio Amazonas ostenta a vazão média de  $209.000$  m<sup>3</sup>/s em sua foz e recebe uma precipitação média de  $2460$  mm/ano (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

A bacia amazônica possui características físico-químicas específicas. Tais características podem sofrer alterações limnológicas, influenciando diretamente no funcionamento ecológico, físico-químico e biológico do sistema devido às mudanças no nível de água na Amazônia. Durante os períodos de enchentes e de nível mais alto do rio, o sistema inteiro sofre inundação, ao passo que no nível mais baixo da água, a região de várzea é seca, somente lagos permanecendo. Compostos por um complexo de canais, rios, lagos, ilhas e depressões, os rios e a várzea do Amazonas são constantemente modificados pelo transporte de sólidos em suspensão e sedimentação, modificando também a vegetação terrestre, por meio de remoção e deposição de material no solo (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006). Outro fator contribuinte para tais características é o controle de sua geoquímica por meio do ambiente andino montanhoso em que a bacia amazônica está inserida. As evidências

dessa observação feita pelo autor é que a composição dos sólidos suspensos despejados pela bacia difere da constituição dos sólidos suspensos provenientes da erosão do ambiente montanhoso, assim como 84% dos sólidos suspensos é fruto do desgaste dos 12% da área total da bacia Amazônica (GIBBS, 1967).

A classificação dos rios por coloração foi proposta pelo naturalista Alfred Russel Wallace, por meio de suas publicações *On the Rio Negro de 1953* e *Journey to Explore the natural history of Rio Negro de 1950*, sendo que a bacia amazônica pode ser classificada em três tipos: água branca, clara e preta, correlacionando-os com o solo e formações geológicas das respectivas áreas de captação (MOREIRA, 2019; SIOLI, 1967). Dentro da bacia Amazônica, a complexidade das características das águas amazônicas depende das áreas de drenagem extensas adjacentes. Durante a infiltração e escoamento dessas áreas, interações físicas e químicas ocorrem, gerando um conjunto de rios com características visuais, como cor, bem distintas: brancas, claras e pretas (ZIEDERMAN, 2001).

Diferente das águas pretas do rio Negro, as águas brancas como as dos rios Solimões, Amazonas e Madeira, apresentam alto teor de sólidos em suspensão, em consequência disso, tem elevada turbidez e sais dissolvidos, cuja origem é da forte declividade da Bacia da porção Andina e sub-Andina e da erosão dos sedimentos ao longo das bacias de drenagem. Águas brancas possuem pH próximo de 7, são relativamente ricas em  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , classificando-as também como “águas carbonatadas” (SIOLI, 1967; MOQUET et al., 2015; MOREIRA, 2019). Águas claras como as dos rios Tapajós, Trombetas e Xingu, são límpidas graças às quantidades pequenas de material em suspensão, com transparência de 60 cm a 4 m (SIOLI, 1967). Há variação na composição química, com pouca produção de matéria orgânica e pH entre 4 a 6,6, em razão de sua geologia (MOREIRA, 2019; SANTOS; RIBEIRO, 1988).

### **3.1.1 Bacia do rio Negro**

As águas pretas como as dos rios Jutaí, Coari, e do Negro apresentam pouco material em suspensão, logo, a luz consegue penetrar melhor nessas águas. Sua coloração preta característica é devido ao material orgânico decomposto (MUNTZ, 1978). As águas do rio Negro originam-se na Colômbia e é o principal tributário do rio Solimões-Amazonas, possuindo a extensão de 1500 km de confluência com o rio

Solimões até as cabeceiras. A bacia do rio Negro ocupa 12% da superfície total da bacia Amazônica (MARINHO, 2019; ALDO *et. al.* 2006; GOULDING *et. al.*, 1988), possui as coordenadas geográficas: 3°14'S e 5°8'N de latitude e 72°57'W e 58°16'W de longitude e contém uma área de 712.000 km<sup>2</sup>, onde 80% da bacia do rio Negro está no território brasileiro, e se estendendo pela Colômbia, Guiana e Venezuela (MARINHO, 2019). Considerado o maior rio de águas pretas do mundo, sua área de drenagem correspondia a 696.810 km<sup>2</sup> e possuía uma vazão de 28.400 m<sup>3</sup>/s. Atualmente, a área de drenagem é superior a 700.000 km<sup>2</sup> e a vazão aumentou para 28.655 m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>, cujo 97% do volume é escoado por dois canais próximos à margem direita e esquerda no arquipélago (FILIZOLA; GUYOT; BOAVENTURA, 1999; MARINHO; FILIZOLA JUNIOR; CREMON, 2020). Em termos geológicos, ao longo do curso do rio Negro até a confluência com o rio Solimões podem diferenciar-se de três modos: No alto rio Negro contém rochas cristalinas do embasamento, no médio rio Negro contém depósitos cenozóicos até a boca do rio Branco, posteriormente, retorna o embasamento. Por último, o baixo curso do rio Negro é formado por rochas mesozóicas da Formação Alter do Chão (FRANZINELLI; LATRUBESSE, 2003). A designação de rio Negro acontece somente após a confluência entre os rios Guáinia e Casiquiare, os quais unem o Negro à bacia do rio Orinoco (QUEIROZ; ALVES, 2019).

O rio Negro com sua densa vegetação nativa restringe o processo erosivo por intermédio da interação entre as substâncias húmicas e os argilominerais ali existentes, cuja interação é responsável pela quantidade considerável de ácidos húmicos nos rios de água preta como o rio Negro, bem como a baixa carga de sólidos em suspensão acarreta baixa turbidez e grande transparência (MARINHO, 2019), em razão do percurso do rio em relevos de baixa altitude e velocidade, deslocando 8.10<sup>6</sup> ton/ano de sedimentos (FILIZOLA; GUYOT, 2011; CALVO, 2018). Os vegetais herbívoros são cruciais para a disseminação da vegetação no rio Negro, cuja estimativa é maior que 700 espécies. A razão para tal estimativa pode ser a interação flora-fauna dos peixes (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

A temperatura média mensal sofre pouca variação ao longo do rio Negro. Em relação à bacia amazônica, a bacia de águas negras tem o clima mais chuvoso, capaz de superar médias anuais de 3500 mm na região do alto rio Negro. As constantes chuvas retiram as partículas mais finas do solo (argila) juntamente com o material

orgânico, formando os podzóis, cuja camada superficial é constituída de grãos de quartzo ou areia branca. Os podzóis contém espécies químicas conhecidas como ácidos orgânicos oriundos da decomposição de restos de vegetais nos solos arenosos, que são carregados através de escoamento lateral da água, originando as águas pretas. Esse processo acontece nas regiões do alto e médio rio Negro, devido à sua geomorfologia plana e clima úmido, favorecendo tanto a criação desses solos arenosos como também as águas pretas (ZIEDERMAN, 2001).

O baixo rio Negro, área de interesse neste estudo, abriga o Arquipélago de Anavilhanas, segundo maior arquipélago do mundo. O arquipélago é composto por 400 ilhas e 70 lagos, com um sistema complexo de pântanos, canais e bancos de areia parcialmente submersos, contribuindo para a formação do Arquipélago Nacional de Anavilhanas (MARINHO et. al., 2017). Possuem baixa produtividade primária, com flutuação anual de 9 a 12 m. Apresentam características como pH ácido, entre 3,8 a 5,8 e a floresta inundada, com especiais adaptações para sobrevivência da vegetação, com parte de troncos e raízes submersas (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

O regime hidrológico do baixo rio Negro, sobretudo em Manaus, atua metodicamente em quatro estágios: enchente, cheia, vazante e seca, possuindo uma vasta influência na qualidade e dinâmica do escoamento em todos os igarapés, mediante barreira e diluição. A cheia é quando as águas do rio Negro transbordam, avançando sobre a cidade, provocando impacto na população residente em Manaus, no entorno de bacias como São Raimundo e Educandos, afetando a logística local (FERNANDES, 2016; CALVO, 2018). A vazante e a seca são etapas do ciclo hidrológico que sofrem a influência do fenômeno El Niño, o qual se repete no período de 7 a 14 anos, tornando difícil a previsão de vazantes ou secas acentuadas e pode comprometer o recrutamento de espécies de várzea (NUNES DE MELLO; BARROS, 2001; BITTENCOURT; AMADIO, 2007). A duração do período de seca pode ser classificada em função da cota mínima em três tipos: típico (17 a 19 m), forte (< 17 m) e fraco (> 19 m) (BITTENCOURT; AMADIO, 2007). Durante a seca, há o aporte contínuo e progressivo de substâncias húmicas (SH) provindas de solos podzólicos que estocam tais substâncias. O aumento da pluviosidade e a fluviosidade do rio são fatores contribuintes do aporte anteriormente mencionado (RODRIGUES-ZUNINGA et. al., 2007).



O clima influencia o ciclo hidrológico, conseqüentemente, as características limnológicas do rio Negro a cada ano. Em igarapés do rio Negro, também conhecidos como riachos amazônicos, as características são semelhantes ao grande rio, entretanto, as variações dessas características são mais intensas e rápidas (ZIEDERMAN, 2001), especialmente em áreas de drenagem de cidades, como Novo Airão e Manaus, pois o rio Negro compõe o escoamento final dos cursos d'água que perpassam nas cidades de Novo Airão e Manaus (ALVES; SANTOS, 2011).

### **3.1.2 Influência antrópica no baixo rio Negro**

No rio Negro, atividades antrópicas conhecidas na região são baseadas na agricultura, pesca, extrativismo, estradas, energia e mineração. A atividade agrícola foi reconhecida localmente por meio do reconhecimento do Sistema Agrícola Tradicional do rio Negro como patrimônio cultural brasileiro em novembro de 2010 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN. Tal feito foi consequência da iniciativa de associações indígenas locais que foram apoiadas por instituições de pesquisa e organizações da sociedade civil (REDE RIO NEGRO, 2015).

Quanto ao extrativismo, uma realidade a ser considerada na região do baixo rio Negro é a influência de atravessadores, dificultando a forma de produção. Além disso, o monopólio dessa atividade econômica por patrões e “extrativistas” através de aviamento, assim como o descaso do Poder Público e ausência do Estado nessa região perpetuam tal cenário (REDE RIO NEGRO, 2015). Conseqüentemente, exploradores dessa região acabaram atribuindo ao rio Negro o status de “Rio da Fome”, especialmente porque a agricultura é prejudicada pela pobreza de nutrientes que o rio Negro possui. Entretanto, mudanças foram feitas na região por comunidades ribeirinhas que aliaram agricultura de baixo impacto e extrativismo de insumos florestais (JOSA; SILVA; DURIGAN, 2013; ZEIDEMANN, 2001). A conscientização sociopolítica associada a mobilização criou a Reserva Extrativista em 2006, que estruturou e fortaleceu um empreendimento comunitário, a fim de consolidar as cadeias de valor dos produtos extrativistas da região. A cultura e o saber local, elementos tão importantes quanto boas práticas de manejo, são aspectos fundamentais para o amadurecimento do extrativismo na economia da região (JOSA; SILVA; DURIGAN, 2013; REDE RIO NEGRO, 2015).

A pesca é outra atividade realizada no baixo rio Negro que requer conhecimento a respeito do ciclo hidrológico, bem como as classes de peixes e quais utensílios são adequados para cada tipo. Contudo, o aumento da densidade demográfica e a não fiscalização da pesca contribuíram para uma mudança significativa na disponibilidade de peixes nos rios e a consequente dinâmica de pesca. (REDE RIO NEGRO, 2015). A pesca e retirada de madeira são atividades ilegais existentes no Parque Nacional de Anavilhanas (PNA), assim como o turismo ecológico sem qualquer fiscalização pode promover ainda mais danos ao meio ambiente. Tal contexto salienta a relação de natureza conflituosa entre homem enquanto indivíduo e integrante da sociedade e o Estado (RODRIGUES, 2010).

Estudos a respeito da construção da ponte de rio Negro em 2011 demonstram que, apesar dos bons prospectos que tais obras possam ocasionar como o crescimento do turismo e da economia em regiões que, anteriormente, eram isoladas umas das outras, de outro ponto de vista, obras como pontes e estradas impulsionaram o crescimento desordenado da população ao longo da floresta no eixo Amazonas-Roraima, gerando desmatamento que impactaram diretamente na bacia do rio Negro. Outros fatores preocupantes a respeito da bacia do rio Negro é que ela é um dos alvos de expansão das hidrelétricas da Amazônia como também da mineração. Cerca de 4200 processos minerários incidem sobre as terras indígenas situadas próximos à bacia. Tais processos não preveem quais comunidades serão afetadas pela mineradora, além de não ponderar a respeito das condições de vida, valores socioambientais e culturais dos povos indígenas (REDE RIO NEGRO, 2015).

Entender sobre a qualidade da água e seus parâmetros em um ambiente tão ricamente diversificado como o baixo rio Negro e habitado por 30 povos indígenas ao longo do seu curso (SARMENTO, 2018), unidades de conservação, avaliando através de indicadores de qualidade da água como o homem pode influenciar na sua hidroquímica especialmente durante a seca é essencial, especialmente na cidade de Novo Airão por causa de sua delicada localização. Estudos voltados para indicadores de qualidade da água nas áreas de drenagem de Novo Airão e o comportamento do rio Negro em absorver a drenagem ali despejada não existem (SOUSA; OLIVEIRA, 2020). Assim, parâmetros de qualidade da água em regiões amazônicas, investigando se há diferença entre os níveis de influência antrópica podem fornecer uma

compreensão de cenário de diferentes ambientes, o que auxilia na tomada de decisão de órgãos governamentais competentes.

### **3.2 Qualidade da água**

A água superficial de um ambiente aquático não é uma substância pura, uma vez que materiais em suspensão cujo transporte de outros ambientes aquáticos podem mudar a hidroquímica local, o escoamento superficial, além de vegetais e microrganismos ali existentes. Apesar disso, conseguem cumprir suas funções e manter um equilíbrio na biota aquática (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009)., tornando-a imprópria para consumo humano, facilitando o aumento de doenças de disseminação hídrica. Os efluentes domésticos geralmente são substâncias orgânicas, nutrientes e microrganismos, iminentes patogênicos. Efluentes industriais são resíduos produzidos durante os processos industriais, com concentração e volume complexos (MERTEN; MINELLA, 2002). Logo, quando há alteração significativa das relações ecológicas presentes na água após o despejo de efluentes, tais como a mortandade de peixes por falta de oxigênio, pode-se dizer que houve poluição hídrica (NASS, 2002).

Existem dois tipos de poluição dos recursos hídricos: a pontual e a difusa. A primeira refere-se a tipos de poluição cuja origem pode ser determinada de modo a estabelecer medidas corretivas ou punitivas. Ao contrário da poluição pontual, a origem da poluição difusa é dificilmente identificada e pode alcançar áreas extensas (SODRÉ, 2012). Algumas fontes de poluição difusa são queimadas, escapes de carro e emissão de chaminés contendo contaminantes que podem ser movidos para a estratosfera através dos ventos e correntes de ar. Ora, materiais lançados por lixões a céu aberto com potencial poluente são capazes de percolar o solo, atingindo águas subterrâneas, como também resíduos industriais lançados na atmosfera e, posteriormente, dissolvidos pela chuva conseguem ser transferidos para ambientes hídricos remotos porque a hidrosfera tem o papel de dissolver e carregar potenciais poluentes (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009). Tais contaminantes podem ser particulados de metais pesados liberados durante o processo de expurgo e retornam em forma de precipitação seca ou úmida, como a água da chuva. A precipitação carrega consigo tudo que estiver em seu caminho, danificando o ambiente ao qual se deposita (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009; SODRÉ, 2012).

Este cenário demonstra que as atividades antrópicas que gerem resíduos, sejam de origem doméstica, industrial ou agrícola têm provocado a poluição de águas naturais e subterrâneas (SODRÉ, 2012). Deste modo, a fim de evitar a degradação hídrica, piorando a escassez desse recurso, a utilização de indicadores de qualidade da água é necessária para compreender o estado da qualidade da água. Estes indicadores serão expostos nos subtópicos a seguir.

### **3.2.1 Indicadores de qualidade da água**

Parâmetros físicos, químicos e biológicos são essenciais para o diagnóstico de qualidade da água nos corpos hídricos, classificando-os e enquadrando-os conforme suas finalidades de uso dentro dos limites da legislação. Assim, viabiliza o fornecimento de informações para tomadas de decisão de gestores dos municípios quanto ao manejo de recursos hídricos (SOUZA FILHO, 2018). A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 cita os parâmetros clássicos para diagnóstico de qualidade da água, cuja referência será utilizada para observar os indicadores de qualidade da água e apontar os níveis de influência antropogênica, tais como oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH) e turbidez (NTU) têm seus valores máximo permitidos (VMP) expressos na resolução CONAMA 357/2005 e serão apresentados em tópico específico. Metais como Chumbo, Cobre dissolvido, Cromo total, Ferro dissolvido, Manganês, Níquel e Zinco em água tem VMP expressos na legislação em mg/L, enquanto em sólidos suspensos não tem VMP previsto nesta legislação, sendo necessário o uso de normativa específica que será descrita em tópico apropriado. A seguir, cada parâmetro físico-químico será explicado.

#### **3.2.1.1 Oxigênio Dissolvido (OD)**

O oxigênio molecular é o agente oxidante mais importante em águas naturais, embora apresente baixa concentração na água, porque o oxigênio a ser dissolvido na água é sensível à variação de temperatura. A quantidade de oxigênio molecular capaz de ser dissolvida a zero grau é maior que a quantidade de  $O_2$  capaz de ser dissolvida a trinta e cinco graus. As solubilidades aumentam com a diminuição da temperatura, assim como pode estar relacionado com a transparência do corpo hídrico (BAIRD; CANN, 2011; DARWICH; APRILE; ROBERTSON, 2005).

O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros mais relevantes para indicar a qualidade de um corpo hídrico, porque os indicadores de matéria orgânica são



A tabela 1 contém valores de oxigênio dissolvido obtidos de estudos anteriores realizados no Arquipélago de Anavilhanas (MOREIRA, 2019), no rio Negro (SILVA, 2012) e no entorno de igarapés de Manaus durante a seca (SOUZA FILHO, 2020; VIANA, 2018) em conjunto com o valor estimado na legislação CONAMA 357/2005:

Tabela 1: Concentração de oxigênio dissolvido no rio Negro durante a seca.

O oxigênio dissolvido no Rio Negro é particularmente baixo em rios de águas pretas, dada a quantidade de matéria orgânica dissolvida (SILVA, 2012). No Parque

Período Hidrológico	CONAMA 357/2005	Souza Filho et. al. (2020)	Moreira (2019)	Viana (2018)	Silva (2012)
Seca	≥ 5,00 mg/L	0,16 a 3,88 mg/L	9,23 mg/L	1,03 a 6,97 mg/L	4,80 mg/L

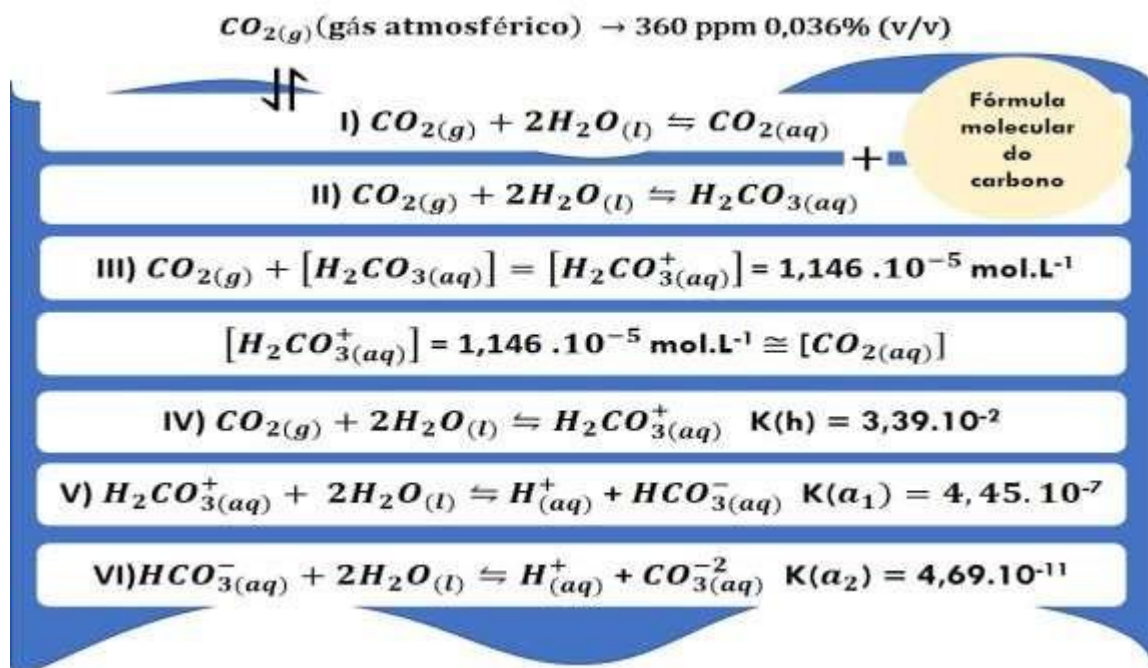
Nacional de Anavilhanas (PNA), a concentração de oxigênio dissolvido está acima dos VMP previsto para classe 1 e classe 2: 6 mg/L e 5 mg/L, respectivamente, previstos pelo CONAMA 357/2005. Em razão do caráter de unidade de conservação do PNA, o rio Negro nessa região encontra-se em estado preservado (MOREIRA, 2019). Em áreas de drenagem como a orla de Manaus, valores de oxigênio dissolvido estão abaixo do limite estimado pela legislação, evidenciando o impacto no ambiente provocado pelo homem (SOUZA FILHO et. al., 2020; VIANA, 2018).

### 3.2.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A água é composta de pequenas quantidades de íons  $H^+$  e  $OH^-$  em equilíbrio, cuja formação dos íons é decorrente da autoionização da água. Conseqüentemente, a água apresenta um caráter anfótero, ou seja, possui a habilidade de se comportar como ácido ou como base de Brønsted-Lowry (ESTEVES, 1998; BROWN, 2005). As concentrações molares de  $H^+$  são muito pequenas, de modo que é conveniente usar o potencial hidrogeniônico (pH) como a medida de acidez expressa matematicamente como o logaritmo negativo da concentração de  $H^+$  no meio aquoso. Em ambiente natural como o rio Negro, é esperado que as concentrações de  $H^+$  sejam maiores que as concentrações de  $OH^-$  devido à presença de ácidos húmicos e fúlvicos ali dissolvidos.

O pH é um indicador essencial para a qualidade da água, embora seja preciso cautela quanto à sua interpretação. Um dos fatores que pode influenciar na interpretação do pH como indicador de qualidade de um corpo d'água é a dissociação do ácido carbônico que ocorrem em várias etapas, como mostra a figura 2:

Figura 2: Equilíbrio Químico entre  $CO_2$  atmosférico e  $CO_2$  dissolvido.



Fonte: adaptada de LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009.

A fase líquida e gasosa interage constantemente entre si, constituindo uma única fase onde não há troca de matéria. Contudo, eventualmente, é possível a troca de energia em forma de calor com o meio externo (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009). Enquanto o processo de dissolução do  $CO_2$  atmosférico acontece, as algas e macrófitas aquáticas que existam na coluna d'água aumentam o pH ácido durante a fotossíntese, cujo processo é frequente em águas com baixa alcalinidade. Por outro lado, as reações de íons como carbonato e bicarbonato com a água fazem com que o pH se eleva para a faixa básica (ESTEVES, 1998). Dessa forma, a acidez de um corpo hídrico pode ser determinada pelo maior caráter positivo em detrimento do caráter negativo do meio (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009).

O pH sofre variação natural, por causa de contínuas dissoluções de matéria orgânica, radiação solar e oscilação de temperatura ao longo do dia, o que exige cuidado ao analisar o pH obtido (LOPES; JUNIOR, 2008). Portanto, o pH é um parâmetro sensível à poluição antrópica. Despejo de poluentes como efluentes domésticos e industriais em águas pretas como o rio Negro influencia significativamente o pH, alterando o equilíbrio químico (SPERLING, 2007). No caso da entrada de esgoto doméstico, onde há presença de amônia ( $NH_3$ ), o pH pode ser elevado devido a ocorrência da reação básica de  $NH_3$  na água produzindo íons  $OH^-$ .

A legislação CONAMA 357/2005 estima padrões de pH para águas doces, classe 1 e 2, assim como estudos anteriores no Arquipélago de Anavilhanas (MOREIRA, 2019) e igarapés de águas pretas em Manaus (SOUZA FILHO, 2020; VIANA, 2018; CALVO, 2018), como mostra a tabela 2:

Tabela 2: Potencial Hidrogeniônico (pH) no rio Negro durante o período de seca.

Período Hidrológico	CONAMA 357/2005	Souza Filho et. al. (2020)	Moreira (2019)	Viana (2018)	Calvo (2018)
Seca	6 a 9	6,6 a 7,2	4,23	5,53 a 6,83	6,7

O Parque Nacional de Anavilhanas (PNA) apresenta pH ácido, confirmando a característica de águas pretas naturais (MARINHO et. al., 2019; MOREIRA, 2019). Por outro lado, estudos no rio Negro, especificamente nos igarapés Mindu, Quarenta, São Raimundo e Tarumã-Açu na orla de Manaus, o pH encontrado estava acima de 5, indicando a presença de poluentes de origem antrópica que alteram o equilíbrio químico ácido existente no rio Negro, especialmente durante o período hidrológico analisado (SOUZA FILHO et. al., 2020; VIANA, 2018; CALVO, 2018).

### 3.2.1.3 Potencial de oxirredução (ORP)

O potencial de oxirredução (ORP) está relacionado com a variação do estado de oxidação de íons ou nutrientes presentes no ambiente, em fase aquosa. Portanto, a solubilidade dos metais e a disponibilidade de nutrientes são importantes para a determinação desse parâmetro, ganhando relevância como uma exigência de um diagnóstico de qualidade para esses sistemas (MOREIRA, 2019; TUNDISI, 2008; JARDIM, 2014).

O ORP expõe se o corpo hídrico pode ser classificado como ambiente redutor ou ambiente oxidante, não sendo recomendado para uso em cálculos de concentração de espécies no ambiente (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009). Em pesquisas de qualidade da água, o ORP auxilia na determinação do grau oxidante ou redutor do meio aquoso, do mesmo modo que o potencial hidrogeniônico (pH) caracteriza o ambiente como ácido ou básico. Em ambiente natural, um valor negativo de ORP corresponde à disponibilidade de elétrons provenientes de espécies dissolvidas no meio. Em compensação, um valor alto de potencial de oxirredução dá indícios de pouca disponibilidade de elétrons devido às substâncias oxidantes ali dissolvidas (BAIRD; CANN, 2011). Porém, diferente do pH, não existe valores de referência de ORP na legislação CONAMA 357/2005. Apesar disso, estudos



realizados em ambientes de águas pretas como o rio Negro contribui para a compreensão do cenário de influência antrópica no rio Negro ao longo do tempo.

Quanto à interpretação dos valores de ORP obtidos em estudos de ambientes hídricos, potenciais de oxirredução positivas (entre 200 mV a 600 mV) indicam um meio fortemente oxidante, enquanto valores negativos (entre -100 mV e -200 mV) evidenciam um ambiente redutor. Ambientes não antropizados são fracamente oxidantes, devido à concentração limitada de oxigênio dissolvido (FIORUCCI; FILHO, 2005). Portanto, O ORP, se relacionado com o oxigênio dissolvido, pode evidenciar impactos no ambiente hídrico por influência antrópica através de despejo de efluentes domésticos, industriais e depósito de lixo diretamente sobre os igarapés (PINTO et. al., 2009). Em Manaus, o ORP apresenta-se na faixa de transição redutor-oxidante (ORP entre 105 mV a 201 mV) e baixas concentrações de oxigênio dissolvido durante a seca (PINTO et. al., 2009).

#### **3.2.1.4 Condutividade Elétrica (CE)**

A condutividade elétrica (CE) é a capacidade de uma solução aquosa conduzir corrente elétrica mediante presença de íons. Conseqüentemente, é quantificável e pode sofrer variações de acordo com a concentração da solução e substâncias ionizadas, a valência do íon, bem como a concentração real e relativa de cada íon. Apresenta unidade de Siemens por metro (S/m), mesmo que em amostras de água, a medição é preferencialmente microSiemens por centímetro ou miliSiemens por centímetro. Para fins de padronização dos dados, a relação  $1\text{mS/cm} = 10\mu\text{S/cm}$  deve ser seguida. (PINTO, 2007). Para águas naturais, é esperado teores de condutividade elétrica (CE) na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S/cm}$ , enquanto em ambientes poluídos, os valores podem chegar a 1000  $\mu\text{S/cm}$  (MOREIRA, 2019; BRASIL, 2014; CETESB, 2001).

No rio Negro, a variação de CE pode apresentar uma relação com o pH, uma vez que o rio Branco com pH acima de 6 graças às espécies ali dissolvidas contribui com material em suspensão no rio Negro, mudando momentaneamente o quimismo das águas pretas na zona de mistura (LEENHER; SANTOS, 1980).

#### **3.2.1.5 Turbidez e Sólidos Totais Suspensos (STS)**

A turbidez também é um dos parâmetros relacionados com a nitidez da amostra de águas residuárias, dado à existência de partículas em suspensão. As partículas em suspensão têm duas fontes: partículas inorgânicas, advindas de areia, silte, argila

e partículas orgânicas, como algas, bactérias, plânctons, etc. Os solos são erodidos durante a chuva, de tal maneira que há aumento de turbidez no corpo hídrico. Conseqüentemente, alterações na dosagem de coagulantes e auxiliares em estações de tratamento de águas são requisitadas para esse contexto, a fim de realizar a clarificação das águas residuárias. A erosão influencia no aumento de turbidez de águas, pois a vegetação não consegue se fixar no solo, devido ao seu mau uso (PIVELI; KATO, 2005). A tabela 3 contém a turbidez encontrada em ambientes amazônicos naturais (MAGALHÃES; JERÔNIMO, 2002; SARGENTINI et. al., 2001) e antropizados (VIANA, 2018; CALVO, 2018):

Tabela 3: Turbidez (NTU) no rio Negro durante a seca.

Água doce	CONAMA 357/2005	Magalhães; Jerônimo (2002)	Sargentini et. al. (2001) <sup>1</sup>	Viana (2018)	Calvo (2018) <sup>2</sup>
Rio Negro	Até 100	7	18	49,07 a 543	5,4 a 39,2

<sup>1</sup>Unidade (FT); <sup>2</sup>Média em NTU no rio Negro e nascente de Igarapé, respectivamente.

O Valor Máximo Permitido (VMP) para a turbidez varia entre 40 NTU para rios de águas doces classe 1 a 100 NTU para rios de águas doce classe 2. A classe 1 refere-se as águas destinadas à proteção de comunidades aquáticas como ocorre em Anavilhanas. Por essa razão, o VMP para a turbidez previsto em classe 1 também pode ser adotado para discussão dos dados na UC. A turbidez no rio Negro é baixa, apresentando condições de conservação (MAGALHÃES; JERÔNIMO, 2002; SARGENTINI, 2001). Contudo, em Igarapés e próximos à orla de Manaus, a turbidez esteve acima do valor máximo permitido pela legislação CONAMA nº 357, de 2005, indicando a antropização desses ambientes (CALVO, 2018).

Os sólidos são substâncias que permanecem em águas após sua calcinação ou secagem (MOREIRA, 2019; SABESP, 1999). Os sólidos totais presentes em água podem ser categorizados por características físicas: em suspensão, coloidais e dissolvidos, ocorrendo por via natural através de processos erosivos, organismos e detritos orgânicos ou pela ação antrópica, com lançamento de efluentes (MOREIRA, 2019; BRASIL, 2014). Todo contaminante hídrico contribui com a carga de sólidos, exceto gases dissolvidos (MOREIRA, 2019; SPERLING, 1996). O rio Negro pode apresentar baixa quantidade de material particulado – aproximadamente 3mg/L. A baixa concentração de sólidos suspensos é atribuída à acidez de suas águas (HIBAM, 2001). A legislação CONAMA 357/2005 em rios de águas doces classes 1 e 2 não

prevê valores padrão para sólidos totais suspensos em águas superficiais. Em vista disso, estudos de sólidos totais suspensos voltados para o rio Negro realizados anteriormente é válido para estimar valores e caracterizar ambientes de águas pretas.

### 3.2.2 Metais

Os metais são considerados parte integrante do meio ambiente e seres vivos, pois parte deles (zinco, ferro, cobre, cobalto, manganês, dentre outros) são essenciais no organismo, em pequenas quantidades, em virtude de atuarem em processos fisiológicos. Eles teriam de ser classificados mediante suas propriedades químicas, sobretudo por sua combinação com ligantes específicos. A exemplo disso, o ferro e o cobre agregam os citocromos, componentes da cadeia respiratória, embora o chumbo não tenha uma função biológica conhecida. Por outro lado, em concentrações elevadas, acarretam a toxicidade do organismo graças sua capacidade de interferir em reações enzimáticas através de bloqueio, deslocamento do íon essencial ou conversão da conformação ativa de biomolécula, tais como proteínas e enzimas. Outro fator pertinente aos metais é a sua baixa mobilidade por causa de suas cargas duplas e triplas, permitindo a bioacumulação (ZAGATTO; BERTOLLETTI, 2008; ESTEVES, 1988; CONNEL; MILLER, 1984).

O pH, temperatura, velocidade da vazão hídrica e presença de espécies que complexam com metais como os ácidos húmicos e fúlvicos são fatores que podem influenciar na sua toxicidade. A acidez permite a presença de cátions livres em solução, enquanto a basicidade promove a precipitação de metais tóxicos e formação de complexos (SILVA, 2014). Outro aspecto a mencionar é a capacidade de ligação covalente entre metais e grupo metil (-CH), gerando os compostos organometálicos, cuja lipossolubilidade facilita o transporte desses compostos em membranas biológicas (ZAGATO; BERTOLETTI, 2013).

Os metais podem ser classificados quanto à sua abundância relativa: maiores, cuja quantidade de metal é superior a 5 mg/L, os menores são quando os teores relativos dos metais ficam entre 5 e 0,01 mg/L e traços, cujos teores são menores que 0,01 mg/L. Metais pesados e compostos orgânicos de origem sintética são exemplos de compostos existentes na água em níveis de traços, enquanto ânions e cátions são denominados maiores (REBOUÇAS; BENEDITO BRAGA; TUNDISI, 2006). Estão presentes naturalmente em solos e ambientes aquáticos. Seu aparecimento e

consequente aumento de concentração em corpos hídricos pode ocorrer mediante intemperismo de rochas e lixiviação do solo, assim como fontes antrópicas como agricultura, atmosférica, mineração, efluentes domésticos, etc (GUILHERME et. al., 2005; SOUSA; MORASSUTI; DEUS, 2018). Os metais pesados em águas superficiais como Cromo, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel e Zinco tem seus VMP previstos na legislação CONAMA 357/2005, assim como determinadas características, como mostra no quadro 1:

Quadro 1: Valores Máximo Permitidos (VMP), fontes e características principais de cada metal.

Elemento	Fontes	<sup>1</sup> Características principais	VMP (mg/L)
			Classe 1 e 2
<b>Chumbo total (Pb)</b>	Bateria de carro, solda e espelhos.	Altamente tóxico	0,01
<b>Cobre dissolvido (Cu)</b>	Ligas de cobre e estanho na construção de armas; ferramentas domésticas	Ligas de cobre e estanho na construção de armas; ferramentas domésticas	0,009
<b>Cromo total (Cr)</b>	Um dos componentes do aço inoxidável; indústria de tintas;	Um dos componentes do aço inoxidável; indústria de tintas; Cr <sup>6+</sup> é tóxico, contudo, Cr <sup>3+</sup> é mineral essencial.	0,05
<b>Ferro dissolvido (Fe)</b>	Responsável por 90% da produção total de metal no mundo;	Ajuda a transportar o oxigênio no sangue	0,3
<b>Manganês total (Mn)</b>	Matéria prima pra pilhas secas;	Matéria prima pra pilhas secas; necessário para o metabolismo.	0,1
<b>Níquel total (Ni)</b>	Grande variedade de ligas metálicas;	Grande variedade de ligas metálicas; objeto de estudo de pilhas ecológicas recarregáveis de níquel-hidreto metálico	0,025
<b>Vanádio (V)</b>	Aço de vanádio	Presente como mineral em alguns tipos de algas e musgos	0,1
<b>Zinco (Zn)</b>	Ligas metálicas; Matéria prima na criação de LED's.	Mineral que auxilia no processamento do paladar. Sua deficiência no organismo causa perda de apetite	0,18

Fonte: <sup>1</sup>Adaptado de Yorifuji (2013). VMP: Resolução CONAMA 357/2005.

Os metais podem estar dissolvidos ou em suspensão, este sendo responsáveis pela identificação de nível de influência antrópica, pois são altamente reativos com materiais suspensos e com ânions dissolvidos. Posteriormente, são depositados em sedimento de fundo (NIENCHESKI; WINDOM; SMITH, 1994). Devido à ausência de normas brasileiras a respeito de sedimentos ou material particulado, a legislação adequada para tal fim é a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)

e classifica os VMP em vários níveis, destacando-se os TEL (*Threshold Effects Level*) e PEL (*Probable Effects Level*), como mostra o quadro 2:

Quadro 2: VMP para concentração de metais em sólidos totais suspensos segundo NOAA.

Metais (mg/kg)								
Níveis	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
TEL	37,3	35,7	---	---	18	35	----	123
PEL	90	197	---	---	36	91,3	----	315

TEL é quando a concentração está abaixo da concentração necessária para provocar efeitos adversos e são esperados raramente, provocando menos impacto. Quanto ao PEL, os efeitos adversos já são esperados com certa frequência, gerando maior impacto.

Em rios contendo substâncias húmicas, tais substâncias agem como complexantes, de modo que os metais não ficam disponíveis no ambiente aquático (PIVELI, 2005). Os ácidos fúlvicos presentes nas substâncias húmicas apresentam em sua estrutura química grupos orgânicos oxigenados (carboxílicos, fenólicos, alcoólicos e carbonílicos), cuja mudança no pH do meio acarretará na origem de cargas elétricas. A título de exemplo, quando o meio aquoso tem sua atividade protônica alterada, a molécula de ácido fúlvico com ácido carboxílico irá liberar mais íons  $H^+$  (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009).

A baixa velocidade hídrica viabiliza a deposição desses metais (SILVA, 2014), uma vez que podem estar adsorvidos nas partículas suspensas que, posteriormente, irão se depositar. Podem estar presentes ao longo da coluna d'água através da correnteza, atividade de organismos que ali vivem ou dragagem e navegação (LOPES, 2010). Somente na seca, os íons estocados por muito tempo no solo argiloso são transportados, de modo que a quantidade de íons e a coloração das águas diminuem, enquanto a alcalinidade aumenta (SARGENTINI JUNIOR *et. al.*, 2001).

### **3.3 Síntese do capítulo**

Neste capítulo, comentou-se a respeito da bacia amazônica e a bacia do rio negro, assim como os parâmetros físico-químicos obtidos em estudos anteriores na bacia. Também foi apresentado o conceito de qualidade da água e os parâmetros que a determinam: oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), potencial de oxirredução (ORP), condutividade elétrica (CE), turbidez (NTU) e sólidos totais suspensos, previstos em legislações comumente utilizadas para águas superficiais – CONAMA 357/2005. A normativa proposta pela NOAA para sólidos totais suspensos e sedimentos classifica os VMP em termos de níveis de menor e maior impacto em mg/kg, facilitando a discussão com estudos em ambientes amazônicos.

## 4. METODOLOGIA

As recomendações metodológicas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW) – 22st, publicado pela APHA (2012), para amostras de água e US EPA (Environmental Protection Agency) 3051 (USEPA, 2007) foram adotados para investigar as amostras de água coletadas e a determinação de metais em sólidos totais suspensos (STS). Primeiramente, a área de estudo será devidamente caracterizada. Posteriormente, os procedimentos metodológicos adotados também serão descritos.

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na região do baixo Rio Negro, onde os pontos estão reunidos em 3 locais com diferentes níveis de influência antrópica: Parque Nacional de Anavilhanas, orla de Novo Airão e orla de Manaus. Para somar ao estudo, serão observados pontos situados próximos à foz de igarapés urbanos nas duas cidades para observar a influência antrópica diretamente das drenagens que escoam para o Rio Negro.

As três áreas reúnem um total de 32 pontos, onde 12 pontos situam-se no Parque Nacional de Anavilhanas (PNA), 12 pontos na orla e Novo Airão e 8 pontos na orla de Manaus, expostos no primeiro mapa (figura 3). Devido à grande extensão da área de estudo, expõe-:

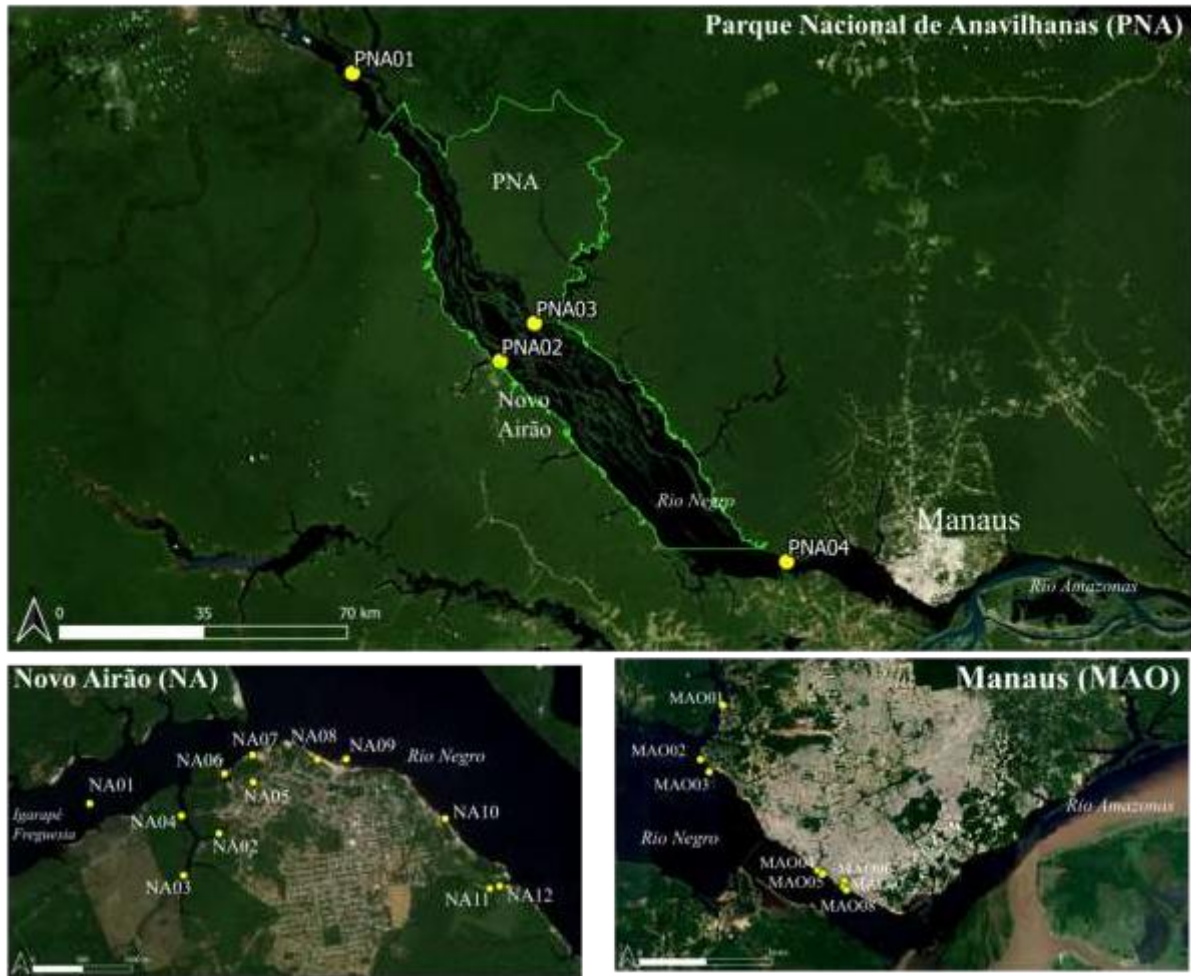
- O segundo mapa (Figura 4) expõe a área controle (PNA) distribuída em quatro pontos amostrais: PNA01, à montante do PNA no Rio Negro; PNA02, na margem direita do Rio Negro; PNA03, na margem esquerda do rio Negro e PNA04 à jusante do PNA, aonde ocorre a confluência de todo o fluxo de material dissolvido e particulado em suspensão que são escoados pela extensão do Rio Negro. Cada PNA contém três pontos equidistantes, totalizando os 12 pontos amostrais no PNA, sendo considerada neste estudo como baixa influência antrópica, pois irá representar as características do Rio Negro em condições naturais, dado seu status de unidade de conservação (UC).
- O terceiro mapa (Figura 5) expõe os pontos na orla de Novo Airão, com pontos, cuja sugestão de interesse nesse estudo está sob influência antrópica devido ao tamanho e população do município apresentam doze pontos, dos quais,

todos os pontos foram analisados para todos os parâmetros físico-químicos, exceto a determinação de oxigênio dissolvido que ocorreu somente em nove pontos devido às condições de coleta durante o período de seca.

- O quarto mapa (Figura 6) expõe a orla de Manaus, com oito pontos de coleta, considerada a região no Rio Negro sob influência antrópica, pois é a maior cidade do Estado do Amazonas. Manaus apresenta bacias de drenagem urbana com degradação ambiental (CALVO, 2018; VIANA, 2018; PINTO *et. al.*, 2009).



Figura 3: Mapa geral com as três áreas de estudo no baixo rio Negro



Fonte: Marinho, 2021.

Figura 4: Área de estudo controle - Parque Nacional de Anavilhanas (PNA)



Fonte: Google Earth, 2020.

Figura 5: Área de estudo sob influência antrópica – orla de Novo Airão (NA).



Fonte: Google Earth, 2020.

Figura 6: Área de estudo sob influência antrópica - Manaus (MAO).



Fonte: Google Earth, 2020.

A tabela quatro apresenta as descrições de todos os pontos de coleta georreferenciados:

Tabela 4: Lista de pontos amostrais das áreas estudadas.

PONTOS	DESCRIÇÃO PONTO	LATITUDE	LONGITUDE
PNA01	PNA01.1: Ponto no rio Negro à montante do PNA	1°59'17.448"S	61°15'25.632"W
	PNA01.2: Ponto no rio Negro à montante do PNA	1°59'9.492"S	61°15'17.424"W
	PNA01.3: Ponto no rio Negro à montante do PNA	1°58'58.922" S	61°15'8.484"W
PNA02	PNA02.1: Ponto no rio Negro margem direita 1	2°37'22.548"S	60°56'3.948" W
	PNA02.2: Ponto no rio Negro margem direita 2	2°37'13.764"S	60°55'56.604" W
	PNA02.3: Ponto no rio Negro margem direita 3	2°37'4.908"S	60°55'49.764"W
PNA03	PNA03.1: Ponto no rio Negro margem esquerda 1	2°32'25.8"S	60°51'31.3"W
	PNA03.2: Ponto no rio Negro margem esquerda 2	2°32'11.5"S	60°51'26.3"W
	PNA03.3: Ponto no rio Negro margem esquerda 3	2°31'52.4"S	60°51'20.4"W
PNA04	PNA04.1: Ponto no rio Negro à Jusante do PNA	3°4'7.50"S	60°18'28.30"O
	PNA04.2: Ponto no rio Negro à Jusante do PNA	3°3'40.30"S	60°18'23.09"O
	PNA04.3: Ponto no rio Negro à Jusante PNA	3°3'21.01"S	60°18'19.70"O
NA01	Montante igarapé Freguesia	2°37'24.4"S	60°58'05.5"W
NA02	Montante igarapé Tijuca lado "e"	2°37'34.2"S	60°57'23.5"W
NA03	Montante igarapé Tijuca lado "d"	2°37'47.9"S	60°57'35.0"W
NA04	Foz igarapé Tijuca	2°37'28.4"S	60°57'35.7"W
NA05	Montante igarapé Santo. Antônio	2°37'17.4"S	60°57'12.4"W
NA06	Foz igarapé Santo Antônio	2°37'14.6"S	60°57'21.70"W
NA07	Foz igarapé Freguesia	2°37'08.5"S	60°57'12.6"W
NA08	RN – Flutuante dos botos	2°37'9.91"S	60°56'51.46"O
NA09	RN – Porto de Novo Airão	2°37'9.81"S	60°56'42.17"O
NA10	RN – Flutuante da Tate	2°37'22.55"S	60°56'3.948"W
NA11	Montante igarapé Peixe boi	2°37'52.2"S	60°55'55.5"W
NA12	Foz igarapé Peixe boi	2°37'51.4"S	60°55'52.3"W
MAO01	Foz igarapé Tarumã	3°01'12.3"S	60°05'59.1"W
MAO02	RN – Igarapé Tarumã 1	3°03'26.0"S	60°06'53.6"W
MAO03	RN – Igarapé Tarumã 2	3°03'56.5"S	60°06'32.6"W
MAO04	Foz igarapé São Raimundo 1	3°08'0.02"S	60°2'6.55"O
MAO05	RN - Igarapé São Raimundo 2	3°8'7.76"S	60°1'53.74"O
MAO06	Foz Igarapé Educandos	3°08'26.4"S	60°01'00.7"W
MAO07	RN - Igarapé Educandos	3°08'41.1"S	60°01'03.2"W
MAO08	RN – Igarapé Educandos 2	3°08'47.9"S	60°00'55.8"W

Legenda: PNA – Parque Nacional de Anavilhanas; NA – Novo Airão. MAO – Manaus.

Posteriormente, indicações de possíveis cenários de níveis de influência antrópica serão propostos especificamente para o período de águas baixas ou seca

de 2019, utilizando como critérios o tratamento estatístico dos dados, emprego de técnicas de estatística multivariada, comparação dos dados com valores máximo permitidos (VMP) contidos nas normas/ legislação competente, as características das cidades como número de habitantes e principais usos da terra. As áreas de estudo serão descritas em tópicos, para melhor compreensão de suas características.

#### **4.1.1 Parque Nacional de Anavilhanas (PNA)**

O Arquipélago de Anavilhanas é conhecido por apresentar uma grande biodiversidade, ilhas exuberantes e regiões de barranco com cores diversificadas, expostas no período de seca do rio Negro (ALVES, 2013). Apresenta um perfil morfológico anastomosado, ou seja, é uma região cuja tipologia é marcada por canais múltiplos (MARINHO; JUNIOR; CARDENAS, 2017; ALVES, 2013). O número de ilhas em PNA pode variar por causa da variação da pluviosidade em conjunto com a alteração do nível dos rios. Essas alterações, por sua vez, provêm de mudanças climáticas na região. Possuem grande diversidade em fauna e flora, o que motivou a criação do decreto que conferiu à região o status de unidade de conservação (UC). A posteriori, Anavilhanas foi recategorizado como PNA, local onde o ecoturismo é presente, embora seu caráter de UC tenha como objetivo primário livrá-lo de interferência antrópica o máximo possível (ARAÚJO; SOUSA; SANTIAGO, 2015; ALVES, 2013).

O PNA04 é considerado zona de confluência do baixo rio Negro por se situar à jusante de PNA e à montante de Manaus. Após o devido tratamento dos dados, PNA possivelmente será considerado como uma área sob baixa influência antrópica ou área controle em razão de ser uma região denominada como Unidade de Conservação (UC) e estudo de MOREIRA (2019) mostrar que o PNA está preservado após extensiva caracterização.

#### **4.1.2 Novo Airão (NA)**

Novo Airão é um município localizado na margem direita do rio Negro na formação de Alter do Chão e Depósitos Aluvionares (DAMASCENO, 2018). A orla da cidade está inserida na “zona de amortecimento”, definida como uma área mínima de 10 km no perímetro da UC de Anavilhanas, além de 80% de seu território ser ocupado por UC's de esferas federais e estaduais, configurando um mosaico de áreas protegidas no baixo rio Negro (MBRN) (OLIVEIRA FILHA; PAIVA; BENTES, 2018).

A cidade tem atividades antrópicas que podem exercer influência direta sobre a dinâmica local das UC's como trânsito de embarcações, acordo de pesca, dentre outros, ainda que a legislação que ampara a “zona de amortecimento” restrinja o uso da água, com o propósito de reduzir impactos nas áreas de proteção integral (OLIVEIRA FILHA; PAIVA; BENTES, 2018). Outro fator que ressalta a preocupação com a influência antrópica sobre o PNA é o aumento do ecoturismo na cidade, consequência de transporte rodoviário e veículos de passeio após construção da ponte sobre o rio Negro (MOURA, 2009; IBAMA, 1996; MMA, 1999). A cidade não apresenta uma estação de tratamento de esgoto (ETE), de modo que a carga de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na cidade é de 583 kg/dia. Além disso, mais de 76% dos resíduos gerados pelo município não são coletados e nem tratados, justamente pela ausência da ETE. Tal realidade pode ser mudada se o projeto *Atlas Esgoto: despoluição de bacias hidrográficas*, que apresenta propostas de ETE's em igarapés cuja vazão hídrica seja substancial seja implementada no município, especialmente no igarapé da Freguesia, cuja vazão de referência (Qref) é de 3424,5 L/s (ANA, 2020).

Apesar deste contexto, não há estudos voltados para a qualidade da água na orla da cidade, muito menos algum que proponha uma categorização de nível de influência antrópica da cidade sobre suas áreas de drenagem no rio Negro. Por isso, a sugestão de categorização em termos de média influência antrópica é propícia somente por meio de comparação de VMP obtidos na região durante a coleta das amostras com a legislação e normas, questionando-se se o valor obtido está acima do estipulado. Em seguida, os dados serão submetidos à estatística descritiva e técnicas de estatística multivariada, visando extrair o máximo de informações possível. As etapas do tratamento estatístico deste estudo serão detalhadas em tópico apropriado.

Os pontos amostrais de interesse são: quatro igarapés – igarapé da Freguesia (NA01 e NA07), igarapé Tijuca, que se bifurca em dois lados: direito e esquerdo (NA02 a NA04), igarapé Santo Antônio (NA05 e NA06) e igarapé Peixe Boi (NA11 e NA12), presença de dois flutuantes na orla do rio Negro – flutuante dos Botos (NA08), ponto turístico importante na orla de Novo Airão e Flutuante da Tate (NA09), a qual coincide com um dos pontos da E03 (PNA e porto de Novo Airão, situado no Rio Negro (NA10). O igarapé da Freguesia é o maior igarapé da cidade em termos de largura e

profundidade. Contém flutuantes, posto de combustível e trânsito de embarcações. Dentro dele existem dois igarapés menores: igarapé Tijuca e igarapé Santo Antônio. Ambos apresentam maior ocupação por residências flutuantes. A montante do igarapé Peixe Boi é ocupado pelo conjunto habitacional do Programa Minha Casa Minha Vida, que possui uma estação de tratamento de efluentes com defeito, segundo relatos de moradores locais. A sugestão de cenário onde a cidade pode apresentar influência antrópica em relação ao PNA será considerado através das análises dos parâmetros e metais.

#### **4.1.3 Manaus (MAO)**

Em Manaus, os locais de interesse foram georreferenciados no entorno da foz das Bacias Hidrográficas do Educandos, São Raimundo e Tarumã-Açu, cuja incidência de influência antrópica tem crescido ao longo dos anos, sendo avaliada por vários autores. A bacia hidrográfica do Tarumã Açu localizando-se na zona oeste no município de Manaus (ALBUQUERQUE e GAVINHO, 2004). Esta é uma sub-bacia da bacia hidrográfica amazônica, localizada na margem esquerda do Rio Negro, a 20 km do centro urbano do município, especificamente, ocupando parte da zona norte e oeste. Pode ser acessada duplamente por via terrestre e fluvial, por meio das rodovias BR-174 e AM-010 e Rio Negro, respectivamente (MELO, 2017). O grande crescimento populacional e econômico, bem como a localização do aterro sanitário são fatores que justificam o foco de estudos sobre essa bacia. Algumas nascentes ainda tem aspectos de preservação de suas características naturais (CALVO, 2018; SILVA *et. al.*, 1999; VIANA, 2018).

A bacia do Educandos estende-se em uma área de 40 km<sup>2</sup>, aproximadamente, percorrendo áreas densamente povoadas, totalizando quinze bairros e um Distrito Industrial. Possui nascentes na área de floresta nativa no Campus da UFAM, e nos bairros Zumbi, Armando Mendes e Conjunto Acariquara, convergindo para o seu maior corpo hídrico que é o igarapé do Quarenta, e desaguando no Rio Negro (CALVO, 2018; SILVA, 2010; FERREIRA, 2012; MACIEL, 2016).

A bacia do São Raimundo tem como principais contribuintes os igarapés do Bindá, Franceses e Mindu. Suas principais nascentes localizam-se na zona Norte da cidade, como as no bairro Jorge Teixeira e na reserva Ducke. Deságua no rio Negro, no bairro São Raimundo. É uma bacia de grande extensão, com influência sobre as



regiões Leste, Norte, Centro-sul, Centro-oeste e Sul de Manaus (MARQUES et al., 2008). Alguns projetos foram feitos no âmbito do Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus (PROSAMIM) com o intuito de retirar as moradias precárias dos entornos dos seus igarapés, bem como canalizar e realizar obras de saneamento no local (SANTOS, 2014).

Ao contrário de Novo Airão, MAO possui estudos sobre a qualidade da água em diferentes etapas do ciclo hidrológico, propiciando uma sugestão de cenário sob alta influência antrópica. Os dados obtidos nos 32 pontos amostrais serão submetidos à tratamento estatístico adequado. Os tópicos seguintes referem-se à calibração dos equipamentos e análise das amostras, bem como a determinação do oxigênio dissolvido e análise de metais.

## **4.2 Calibração da sonda multiparamétrica**

O equipamento utilizado foi a multiparamétrica YSI professional plus (Figura 3). O equipamento é capaz de realizar medições instantâneas de parâmetros físico-químicos como temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (Ce) e Potencial de Óxido-redução (ORP). Dentre eles, somente dois parâmetros necessitam de calibração: o pH e CE. A calibração do pH no equipamento foi realizada através de soluções padrão, de pH 4 (ácido), 7 (neutro) e 10 (básico) da mesma marca (YSI). Quanto à CE, a calibração do equipamento foi feita com solução de KCl 0,1 M, cujos parâmetros adequados são: condutividade de 1415  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$  e temperatura padrão de 20 °C. Quanto a medição de ORP, procedeu-se também em quintuplicata. Esse era o parâmetro mais sensível, pois quaisquer mudanças da sonda mediante a movimentação natural do barco causavam alterações nos valores do parâmetro medido.

Durante as medições em cada ponto, a sonda foi ambientada durante 20 minutos, para estabilização das medições do equipamento, adotando-se o critério de medição do valor mais persistente e todos foram medidos em quintuplicata com a finalidade de obter uma média e desvio padrão para cada variável.

### **4.2.1 Análise das amostras**

A análise das amostras ocorreu em duas partes: in situ (medição dos parâmetros físicos e químicos através da sonda multiparamétrica, filtração das amostras, OD e turbidez) e análise dos metais por método analítico adequado, após

posterior digestão. A coleta das amostras foi feita em frascos de polietileno desmineralizados em banho de ácido nítrico bidestilado a 5% e em frascos Winkler descontaminados em banho álcool-ácido para a determinação de oxigênio dissolvido por método de Winkler modificado pela azida sódica.

#### 4.2.1.1 Coleta de amostras

No campo é necessário o uso de GPS para a georreferenciação dos pontos amostrais e sonda multiparamétrica devidamente calibrada para otimização do tempo durante as medições dos parâmetros físico-químicos de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW) (APHA, 2012). A coleta de amostras nas três regiões ocorreu no mês de novembro, no período hidrológico de seca para a região do baixo Rio Negro, especificamente na fração superficial, entre 0 a 30 cm (ANA, 2011), cuja determinação de oxigênio e medições de parâmetros físico-químicos foram realizadas em barco tipo lancha rápida mais conhecida como voadeira. As amostras de águas foram coletadas em frasco de polietileno de 1 litro para determinações de turbidez, filtração para Sólidos Totais Suspensos (STS), e metais dissolvidos na água, devidamente ambientado (APHA, 2012).

A medição de parâmetros físico-químicos com o auxílio de sensores inseridos diretamente na coluna d'água com uso da sonda multiparâmetro portátil marca YSI professional plus: pH, temperatura (°C), potencial hidrogeniônico (pH), Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e potencial de oxirredução (ORP) ocorreu em todos os pontos de coleta, como mostra a figura 7:

Figura 7: A) Medições multiparamétricas no ponto amostral B) Sonda multiparamétrica YSI professional Plus utilizada nas medições no campo.



Fonte: Vale, 2019.

Durante a estabilização do equipamento e posteriores medições iniciais dos parâmetros, coletava-se a amostra para determinação de oxigênio dissolvido, sendo esse procedimento realizado em duas partes: *in loco*, para a preservação da amostra, e análise em laboratório.

#### 4.2.1.2 Determinação de Oxigênio Dissolvido

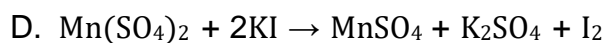
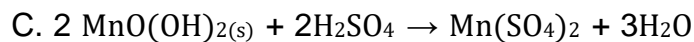
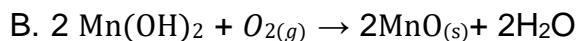
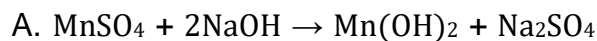
A determinação de oxigênio dissolvido foi executada utilizando frascos Winkler devidamente higienizados. Uma alíquota amostral é coletada três vezes, a fim de ambientar o frasco e minimizar contaminações, procedendo-se conforme APHA 4500-B, referente a determinação de oxigênio dissolvido por método de Winkler modificado pela solução álcali-iodeto-azida sódica (APHA, 2012). Nas três áreas, a determinação de oxigênio dissolvido aconteceu mediante a coleta de um frasco Winkler por cada ponto e o método titulométrico foi feito em triplicata amostral. É preciso cuidado ao coletar amostras de água superficial, pois a mesma não poderá conter bolhas de ar. Em seguida, são adicionados reagentes para preservar o OD na amostra, mostrado na figura 8:

Figura 8: Frasco Winkler com oxigênio fixado na amostra



Fonte: Vale, 2019.

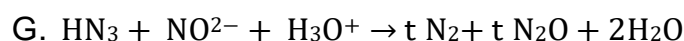
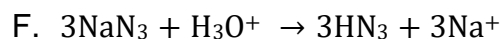
A amostra coletada para a determinação de OD deve ser devidamente preparada em duas etapas: fixação do oxigênio dissolvido, etapa a ser realizada *in loco*: adiciona-se 3 ml de solução álcali-iodeto-azida, uma mistura de hidróxido de sódio (NaOH), iodeto de potássio (KI) e azida (NaN<sub>3</sub>) e 3 ml de sulfato manganoso (MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O), aonde reações de oxidorredução acontecem: o manganês é oxidado e o oxigênio é devidamente fixado como óxido de Manganês (MnO), através de sua precipitação após 30 minutos (reação A e B). A segunda etapa é a adição de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), com dupla função: dissolve o precipitado formado (MnO) (Reação C) e acidifica o meio para a titulação da amostra com a solução de tiosulfato de sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O), feita em laboratório. As reações de oxirredução que acontecem durante a fixação do OD até a adição do ácido sulfúrico para dissolução do precipitado formado encontram-se nas equações A a D



Com a liberação do iodo (reação D), as amostras foram tituladas com tiosulfato de sódio a 0,01 N ou 0,01 mol/L, demonstrado na reação química E (VIANA, 2018; PINTO, 2007):



Na água, a presença de nitritos pode ser um interferente para esse tipo de análise. A fim de eliminá-los, a azida sódica reage com o hidroxônio presente na água até a eliminação do nitrito, como mostra as reações químicas F e G (VIANA, 2018; PINTO, 2007):



Durante a titulação feita em laboratório, após a adição do amido, anotou-se o valor do ponto de viragem, na mudança de cor da solução amarelo fraco para violeta escuro, a fim de aplicá-lo na fórmula de determinação da concentração do oxigênio dissolvido, constatada na equação 1:

Equação 1: Determinação de oxigênio dissolvido por método titulométrico.

$$OD = \frac{V_{\text{tiosulfato gasto}} \times N \times FC \times 8000}{V(\text{mL})}$$

Onde:

**OD** é a concentração de oxigênio dissolvido (mg/L);

$V_{\text{tiosulfato}}$  é o volume (mL) medido na bureta que foi consumido pela titulação da amostra;

**N** é a concentração normal de Tiosulfato de sódio padronizada com iodato de potássio ( $\text{KIO}_3$ );

**V(mL)** é o volume da amostra.

**FC** é o Fator de correção da solução fatorada de Tiosulfato de sódio.

**8000** é o fator de correção de cálculo da concentração de oxigênio dissolvido.

Cada alíquota amostral foi titulada em triplicata, ou seja, em cada amostra titulada, o volume de tiosulfato gasto é anotado a fim de calcular o OD. Conseqüentemente, se obtém três concentrações de OD para cada amostra, gerando uma média e um desvio padrão. O procedimento foi finalizado na base do ICMBio.

#### 4.2.1.3 Turbidez

A turbidez das amostras foi realizada em duas partes. A primeira parte consistia em fazer a leitura das amostras de PNA e NA no ICMBio. A segunda ocorreu em MAO, no LAQUA. A determinação de turbidez foi através de método nefelométrico (APHA 2130-B). O equipamento utilizado foi o Turbidímetro Hanna HI 98703 Fast Tracker, exposto na figura 9:

Figura 9: Turbidímetro com suas respectivas cubetas e soluções padrão para calibração do equipamento



O equipamento foi devidamente calibrado com suas soluções padrão referentes, de zero NTU a 100 NTU. Uma alíquota amostral não filtrada era colocada em uma cubeta de vidro de 10 ml com leituras das amostras em triplicata: a alíquota amostral é submetida a leitura de turbidez três vezes.

#### **4.2.1.4 Filtração de amostras e determinação de sólidos totais suspensos (STS)**

A filtração de amostras do PNA e orla de NA foram feitas durante a realização das campanhas de coletas, que teve o apoio da base do ICMBio para hospedagem e tratamento de amostras. As amostras coletadas na orla de Manaus foram filtradas no Laboratório de Análises de Qualidade Ambiental (LAQUA), assim como a determinação de STS para todas as amostras do estudo. Em ambas as coletas, as amostras foram condicionadas em frasco isopor com gelo, mantendo a temperatura por volta de 4°C. Na filtração, utilizou uma membrana filtrante de acetato de celulose, com porosidade 0,45µm, branca, lisa (Marca MERCK S/A HAWP04700), previamente pesada em balança de precisão, após secagem na estufa à 105 °C durante uma hora e pesada novamente em sala de balança com umidade controlada. O sistema de filtração das amostras está exposto na figura 9:

Figura 10: Sistema de filtração de água para determinação de STS



A determinação de STS foi realizada por gravimetria a partir da diferença de massa (mg) entre os filtros secos e os filtros com amostra, dividida pelo volume (L) da amostra filtrada conforme método APHA 2540 (2012), como demonstrado na equação 2:

Equação 2: Determinação de sólidos totais suspensos (STS) em amostras de água

$$\text{STS (mg/L)} = \frac{\text{massa filtro c/ amostra} - \text{massa do filtro s/ amostra}}{\text{volume (L)}}$$

O critério de saturação de filtro foi utilizado para esse parâmetro (variando de 130mL a 350mL, devidamente convertidos para litros). Os filtros foram preservados para a posterior digestão, a fim de obter a concentração de metais no STS.

#### 4.2.1.5 Metais em águas e em Sólidos Suspensos (SS)

Os metais estudados são Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) em Sólidos Totais Suspensos (STS). As amostras de água foram filtradas em sistema devidamente padronizado, evitando-se possível contaminação e preservada em tubos Falcon previamente acidificados com 500 µL de ácido nítrico bidestilado, a fim de fixar os metais mediante o condicionamento de amostras a pH aproximadamente 2, método USEPA 1640

(APHA 2012) e posteriormente analisadas. Contudo, na região controle, onde somente quatro amostras de água filtradas sendo uma de cada ponto do meio na estação amostral tiveram suas alíquotas armazenadas e codificadas como PNA01.2, PNA02.2, PNA03.2 e PNA04.2 (tabela 4). Em NA, alíquotas de oito amostras de água filtradas de NA foram armazenadas, a saber: NA04, NA06, NA07, NA08, NA09, NA10, NA11 e NA12 (tabela 4). Falta de insumos para armazenagem de todas as amostras filtradas além de problemas concernentes à logística foram os motivadores para tal procedimento adotado.

Antes da análise no equipamento, a amostra de água precisa ser digerida em forno micro-ondas CEM - MARS, mediante a adição de 5 ml de ácido nítrico destilado e 45 ml de amostra em tubo de teflon próprio do equipamento. O forno micro-ondas permite a digestão de 16 amostras por batelada e sua programação é realizada por meio de três parâmetros: tempo de rampa, temperatura e potência: 10 minutos, 170 °C e 800 watts, respectivamente.

Os filtros de celulose foram digeridos conforme método USEPA 3015 (*"Microwave digestion of filter paper -cellulose"*) no Laboratório de Métodos Espectroscópicos (LAMESP). Cada filtro foi digerido em um tubo de teflon próprio do equipamento, visando a eficiência da digestão da amostra. Adicionou-se 5 ml de água deionizada e 5 ml de ácido nítrico bidestilado no tubo com o filtro a ser digerido, usando pipeta automática com calibração apropriada. Os tubos ficaram abertos por 15 minutos em capela com exaustor ligado, para uma pré digestão das amostras. Em seguida, os tubos foram fechados e colocados em posição apropriada no carrossel para a digestão no forno, como mostra a figura 11:

Figura 11: Digestão de filtros de acetato de celulose





A configuração do equipamento para a digestão das amostras em filtros de celulose foi feita utilizando como tempo de rampa de 10 minutos, 180 °C de temperatura e 900 watts de potência. Após a digestão de todas as amostras, transferiu-se para tubos Falcon e aferiu-se o volume de 50 mL com água deionizada. Em sequência, as amostras foram devidamente refrigeradas para posterior análise.

#### 4.2.1.6 Avaliação dos metais por ICP-OES

A técnica utilizada foi a Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado com nebulizador ultrassom (ICP-IOES) no Laboratório de Química Analítica Ambiental da Coordenação de Dinâmica Ambiental – CODAM/INPA. As curvas de calibração foram construídas utilizando o padrão certificado SpecSol Multielementar G2V 100 mg/L, contendo ácido nítrico 0,1% a 10% e ácido fluorídrico 0,1% a 1%. A análise das amostras seguiu o método USEPA 6010C – *Determination of Trace Elements in Water by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (USEPA, 2010), mostrado na figura 12:

Figura 12: Etapas de preparação de amostras de águas superficiais e sólidos suspensos para análise no ICP-IOES.



Após o preparo e transporte das amostras em condicionamento apropriado para o laboratório no INPA, as especificações do equipamento foram dispostas na tabela 7:

Tabela 5: Condições de análise do ICP-OES Thermo Scientific.

<b>Condições operacionais do ICP-OES</b>	
Software	Qtegra
<b>Plasma</b>	
Potência da fonte	1150 W
<b>Fluxo de gás</b>	
Gás	Argônio 5.0
Fluxo de gás da purga	normal
Fluxo de gás auxiliar	0,50 L/min
Fluxo de gás coolant	12 L/min
Fluxo de gás nebulizador	0,50 L/min
<b>bomba peristáltica</b>	
velocidade da bomba	50 rpm

O procedimento de preparo das amostras de metais em águas e em sólidos suspensos para análise no ICP-OES sucederam-se em duas etapas:

- **Amostras de água:** pipetou-se uma alíquota de 14 ml da amostra digerida em um frasco Falcon devidamente identificado, sendo 4 tubos com amostras na região controle (PNA), 8 tubos com amostras na orla de NA e 8 tubos com amostras de MAO, totalizando 20 amostras.
- **Amostras de filtros (fração particulada):** realizou-se Amostra Composta (AC) com proporção 1:1. Na filtração da amostra de água utilizaram-se dois filtros. Portanto, pipetou-se 7 ml de uma alíquota e 7 ml de outra alíquota amostral. Em seguida, a amostra foi homogeneizada em um frasco falcon de 14 ml devidamente identificado, totalizando 32 amostras de filtros, sendo 12 filtros no PNA, 12 em NA e 8 em MAO.

Após o preparo das amostras, os metais foram analisados nas duas matrizes: águas superficiais e na fração particulada, cujas concentrações são na ordem de ng/mL ou ppb. Os dados das curvas de calibração de cada metal constam na tabela 8:

Tabela 6: Dados da curva analítica obtidas no ICP-OES.

	Visão	R <sup>2</sup>	Limite de Detecção (LD)	Limite de Quantificação (LQ)	Comprimento de onda (nm)
<b>Cr</b>	Axial	0,999925	0,288	0,5	267,716
<b>Cu</b>	Axial	0,997587	0,186	0,5	327,396
<b>Fe</b>	Axial	0,999933	0,497	1	259,940
<b>Mn</b>	Axial	0,999856	0,016	1	257,610
<b>Ni</b>	Axial	0,999976	0,167	0,5	231,604
<b>Pb</b>	Axial	0,99985	0,579	0,5	220,353
<b>V</b>	Axial	0,999102	0,214	0,5	290,882
<b>Zn</b>	Axial	0,999969	0,065	0,5	206,200

A técnica de ICP-OES tem como princípio a ionização dos elementos analisados pelo plasma indutivo de argônio. O plasma é uma nuvem de gás argônio parcialmente ionizado em elevada temperatura, responsável pela ionização das amostras. A quantificação dos metais em forma de íons (ou cátions) ocorre através de um espectro de radiação eletromagnética emitida quando os átomos ou íons são excitados. Tal espectro apresenta comprimentos de onda bem específicos por elemento e intensidade, ambos proporcionais à concentração do analito de interesse. Além disso, consegue medir simultaneamente vários metais com limites de detecção mil vezes menor (em ppb) que a Espectroscopia de Absorção Atômica por Chama (em ppm) (CALVO, 2018; MOREIRA, 2019; GIRARD, 2013). Não é uma técnica adequada a ser utilizada com solventes orgânicos, pois o entupimento e contaminação cruzada podem ocorrer no tubo de quartzo em razão da formação de depósitos de carbono nessa região (SKOOG, 2015).

#### 4.3 Tratamento estatístico

Em estudos ambientais, a avaliação da normalidade dos dados precisa ocorrer mediante conjunto de parâmetros (MOTULSKY, 2018), a saber:

- **Numéricos:** contém a estatística descritiva dos dados como média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação (%), assimetria e curtose. Tais parâmetros indicam a variabilidade dos dados, caso houver e podem sugerir se a distribuição dos dados será normal ou não.
- **Gráficos:** visualmente, podem indicar a distribuição e variação dos dados ao longo do tempo ou das áreas por meio de histogramas ou *box-plot*, bem como a existência de potenciais *outliers*.

- **Testes clássicos de normalidade:** existem vários testes de normalidade, sendo o mais clássico de Shapiro-Wilk. Aliado às etapas anteriores, fornece informações ao pesquisador, a fim de interpretar se o conjunto de dados coletados estão distribuídos de forma normal (paramétrica) ou não normal (não paramétrica).

Portanto, a estatística descritiva focada nas médias e desvios padrão e a estatística multivariada foi utilizada nesse trabalho (DORIA FILHO, 1997) a fim de verificar se há diferenças entre os parâmetros nas três áreas através dos programas PAST4 e Microsoft Excel 2019. Após a análise da estatística descritiva dos dados, foram submetidos ao teste estatístico de Shapiro-Wilk, um teste monocaudal baseado em duas hipóteses: a nula e a alternativa. A hipótese nula ( $H_0$ ) diz que os dados obtidos em uma pesquisa demonstram um comportamento normal ou paramétrico. Por outro lado, a hipótese alternativa ( $H_1$ ) admite que os dados se comportam como uma distribuição não normal ou não paramétrica. A estatística de teste aplicada nos dados encontra-se na equação 3:

Equação 3: Estatística de teste de Shapiro Wilk

$$W = \frac{(b)^2}{\sum(x^9i) - \mu^2}$$

W – Estatística de teste

B – Constante de Shapiro Wilk

$\mu$  - média da variável

x(i) – valor medido da variável.

Ao realizar o teste de normalidade dos dados, a rejeição de uma das hipóteses depende do valor crítico tabelado de Shapiro Wilk com nível de significância de 0,05 para uma distribuição unicaudal direito (VIANA, 2018). Se o valor calculado durante a estatística de teste for menor que o valor crítico tabelado de Shapiro Wilk com nível de significância ( $p < 0,05$ ), significa que os dados apresentam um comportamento não paramétrico ou não normal e a hipótese alternativa pode ser aceita ( $H_1$ ). Caso contrário, os dados são paramétricos ou normais ( $H_0$ ).

Após a normalização dos dados, os dados foram submetidos à testes de variância e uma matriz de autoescalamento foi criada para facilitar a elaboração da matriz de correlação de Spearman com os parâmetros e metais em sólidos suspensos,

a fim de medir o grau de relação entre os indicadores. A análise das correlações entre os parâmetros físico-químicos, o agrupamento hierárquico (HCA) e análise de componentes principais (PCA) foram utilizados para avaliar indicadores de influência antrópica nos parâmetros físico-químicos e nos metais em fração particulada (sólidos suspensos). A seguir, cada etapa do processamento dos dados para posterior análise foi exposto no quadro três:

Quadro 3: Resumo das técnicas estatísticas para tratamento de dados.

<b>Estatística Descritiva</b>	<b>Teste de Shapiro-Wilk</b>	<b>Teste de Kruskal-Wallis e Dunn's Post Hoc</b>	<b>Matriz de autoescalamento</b>	<b>Correlação de Spearman</b>	<b>Análise de Componentes Principais (PCA)</b>	<b>Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA)</b>
Permite que o pesquisador avalie qual ou quais parâmetros demonstram variação na distribuição dos dados	Verifica a normalidade dos dados físico-químicos e metais, tanto em água como em sólidos suspensos	Analisa quais parâmetros têm diferenças significativas em dados não normais, disponíveis no PAST4.	Coloca os dados para uma mesma escala, facilitando o tratamento dos dados para PCA e HCA	Avalia o grau de relação entre as variáveis não paramétricas	Mostra quais parâmetros são mais significativos através do critério de maior taxa de variância	Agrupa os dados utilizando critérios de similaridade e distância entre as variáveis

A partir do tratamento adequado dos dados, é possível transformar dados quantitativos em dados categóricos como “baixa influência antrópica”, “média influência antrópica” e “alta influência antrópica” através de perguntas chave como: “o teor de cobre em águas superficiais e em sólidos suspensos é nocivo à saúde humana?”, assim como “quais indicadores apresentam diferenças significativas entre os VMP estimados na legislação?”; “Tais indicadores podem demonstrar diferença entre os níveis de influência antrópica entre as regiões?”. As respostas podem ser obtidas comparando o valor encontrado na pesquisa com os VMP que consta na legislação competente, seja brasileira ou não (MOITA; NETO, 2010) em conjunto com estudos realizados nos locais de interesse.

#### **4.4 Síntese do capítulo**

O capítulo descreveu com detalhes as três áreas de estudo, as metodologias de coleta de amostras *in situ* e seus respectivos procedimentos de análise das amostras. O tratamento estatístico adotado neste estudo foi sistematizado em um quadro resumo, explicando sucintamente cada etapa do processo. Depois, foi exposta a possibilidade de categorizar as variáveis em termos de níveis de influência antrópica, apoiando-se em princípios estatísticos descritos pelos autores.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram obtidos durante o período hidrológico de águas baixas (seca) na região do baixo rio Negro. Desse modo, a avaliação dos indicadores de influência antrópica foi dividida em quatro etapas:

- I. Comparação entre os dados de parâmetros físico-químicos das três áreas com o estimado pela legislação CONAMA 357/2005 e estudos voltados para a região do baixo rio Negro.
- II. Avaliação dos metais dissolvidos e em sólidos suspensos (SS) relativos aos pontos estudados comparados com as legislações propostas pelos órgãos governamentais competentes (CONAMA 357/2005 para águas e NOAA para metais em SS) e estudos realizados no período de seca.
- III. Avaliação da normalidade dos dados através de teste estatístico de Shapiro Wilk cuja hipótese nula diz que a normalidade dos dados não pode ser rejeitada caso o teste apresente nível de confiança de 95% ou  $p > 0,05$  de significância.
- IV. Aplicação de técnicas multivariadas: Correlação de Spearman, Testes de Kruskal-Wallis e Duun's Post Hoc, Análise de Componentes Principais (ou *Principal Components Analysis* - PCA) e Análise Hierárquica de Agrupamento (ou *Hierarchical Component Analysis* – HCA) para verificar quais variáveis são mais significativas e possível similaridade entre elas, respectivamente.

Tais processos são necessários para compreender se os dados demonstram algum tipo de diferença entre os parâmetros e quais se destacam como melhores indicadores sob influência antropogênica especialmente na seca. Os dados dos parâmetros físico-químicos estão no Anexo I e as concentrações de metais dissolvidos e em suspensão constam nos Anexos III e IV, respectivamente. A estatística descritiva dos parâmetros das três áreas de estudo está nos Anexos II, Anexo V e Anexo VI.

### 5.1 Parâmetros físicos e químicos nas três áreas estudadas

As medições de temperatura, OD, turbidez, STS, pH, CE e ORP podem apresentar diferenças entre os resultados obtidos em diferentes ciclos hidrológicos. Devido a pandemia de COVID-19 e a quarentena, a análise da influência da sazonalidade sobre os parâmetros físico-químicos, presença de metais em águas superficiais e em sólidos suspensos, a determinação de oxigênio dissolvido e sua

possível categorização de níveis de influência antrópica será possível somente em um único período hidrológico: a seca (novembro, 2019).

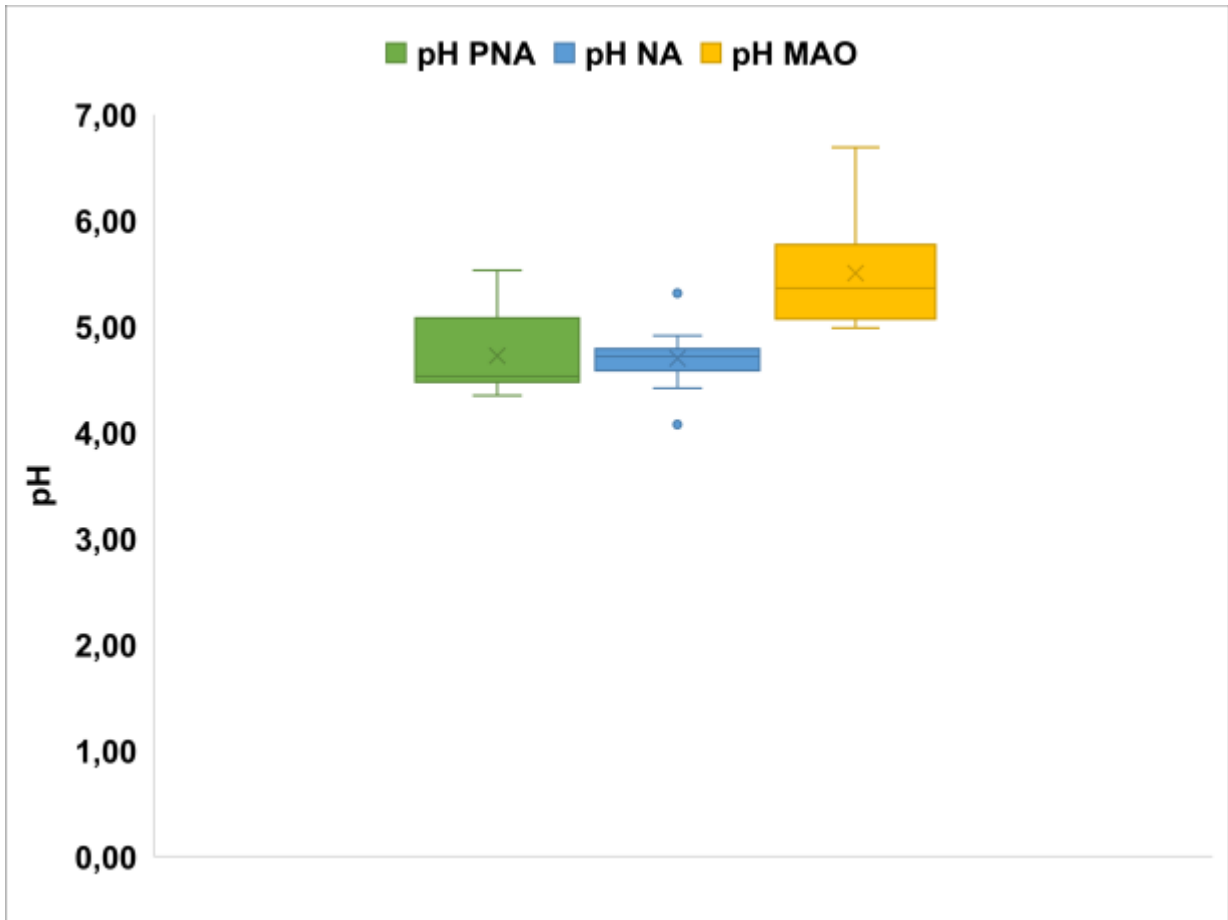
Os parâmetros físico-químicos de qualidade da água como as determinações de oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico (pH), potencial oxirredução (ORP), condutividade (CE), sólidos totais suspensos (STS) e turbidez foi realizado em toda a extensão do PNA, orla de Novo Airão e Manaus no período hidrológico de seca em novembro 2019 com a finalidade de verificar possíveis diferenças entre os indicadores de qualidade da água ao longo do PNA, Novo Airão e Manaus, e indicar a qualidade sob a Resolução CONAMA nº357 e normativa específica para os sólidos suspensos (NOAA). A indicação de níveis de influência antrópica torna-se possível pela análise dos parâmetros físico-químicos em conjunto com os metais, mediante comparação com os VMP estimado nas legislações, assim como o devido tratamento estatístico dos dados, investigando quais variáveis apresentam alguma diferença entre as áreas estudadas. A discussão do comportamento observado entre as regiões será feita para cada parâmetro, dando ênfase àqueles que mostraram maior variação entre as áreas estudadas comparando-os com os VMP na legislação CONAMA 357/2005.

O box-plot é um tipo de gráfico comparável à uma curva de frequência ou sino, indicado para dados que apresentem variação significativa entre si. Quando há uma assimetria positiva, o primeiro e o segundo quartil tendem a estar próximos, enquanto na assimetria negativa, o segundo e o terceiro quartil estão mais próximos. Nos gráficos box-plot exibidos durante a discussão, as cores verde, azul e laranja referem-se à PNA, NA e MAO, respectivamente. Tais cores serão mantidas para todos os parâmetros discutidos nos gráficos.

O comportamento do pH ao longo das três regiões está demonstrado na figura 13:



Figura 13: Variação de pH nas três regiões em novembro de 2019.

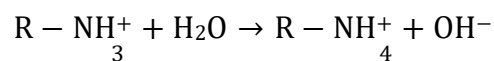


O PNA indica predominância dos valores de pH mais ácidos, comprovados pela proximidade entre o valor mínimo, primeiro quartil e segundo quartil. Tal comportamento é condizente com a região, pois a concentração média obtida na região foi  $4,73 \pm 0,40$  e aproxima-se do pH médio de  $4,23 \pm 0,18$  obtido no estudo de Moreira (2019) durante a seca. A solubilização e liberação de metais adsorvidos em sedimentos, além de cessar a decomposição de matéria orgânica carbonácea pode ocorrer caso o pH esteja ácido (SILVA, 2016).

Em NA, o gráfico apresenta dois registros que ficaram fora da distribuição dos dados no box-plot, o que implica em observações a serem destacadas. O ponto NA08 é o flutuante dos Botos, localizado no rio Negro e demonstrou o menor pH:  $4,08 \pm 0,02$ , o que indica semelhança com ambientes naturais de águas pretas (ZIEDERMAN, 2001). O segundo ponto, localizado próximo a uma área de drenagem (igarapé Santo Antonio), mostrou um pH  $5,31 \pm 0,03$ , o que sugere que a capacidade de autodepuração do rio Negro possivelmente esteja prejudicada neste local (LAGES; SILVA; PINTO, 2007).

Em MAO, a distribuição de pH na região foi assimétrica. Diferente de NA, pH acima de 6 foram anteriormente registrados pelos estudos na orla de MAO, sugerindo altos níveis de impacto por influência antrópica, em razão da alteração de pH ácido a pH neutro a básico (SOUZA FILHO, 2020; MELO; SILVA; MIRANDA, 2005; RIMA, 2004). Em ambientes amazônicos, pH ácidos são comuns em ambientes naturais de água preta, cuja faixa é 3,5 a 5,8, principalmente, devido à matéria orgânica com predominância de ácidos graxos dissolvida na água (SILVA, 2012). Conseqüentemente, a legislação vigente não supre a necessidade de avaliação de influência antrópica em ambientes amazônicos. Corpos hídricos que apresentem pH superior a 6, apesar de estar em conformidade com a resolução, cujo VMP é 6 a 9, indicam impactos gerados de influência antrópica através de despejos industriais e esgotos domésticos na área de coleta (SIOLI, 1967; ZIEDERMAN, 2001; RIMA, 2004; MUNTZ, 1978; CLETO FILHO; WALKER, 2001; SILVA, 2012). A elevação do pH nas águas naturalmente ácidas ocorre principalmente pela presença de amônia nos esgotos domésticos, especialmente em tensoativos catiônicos (NETO; PINO, 2011), proporcionando reação básica no meio, como mostra a equação 4:

Equação 4: Reação do tensoativo catiônico em água

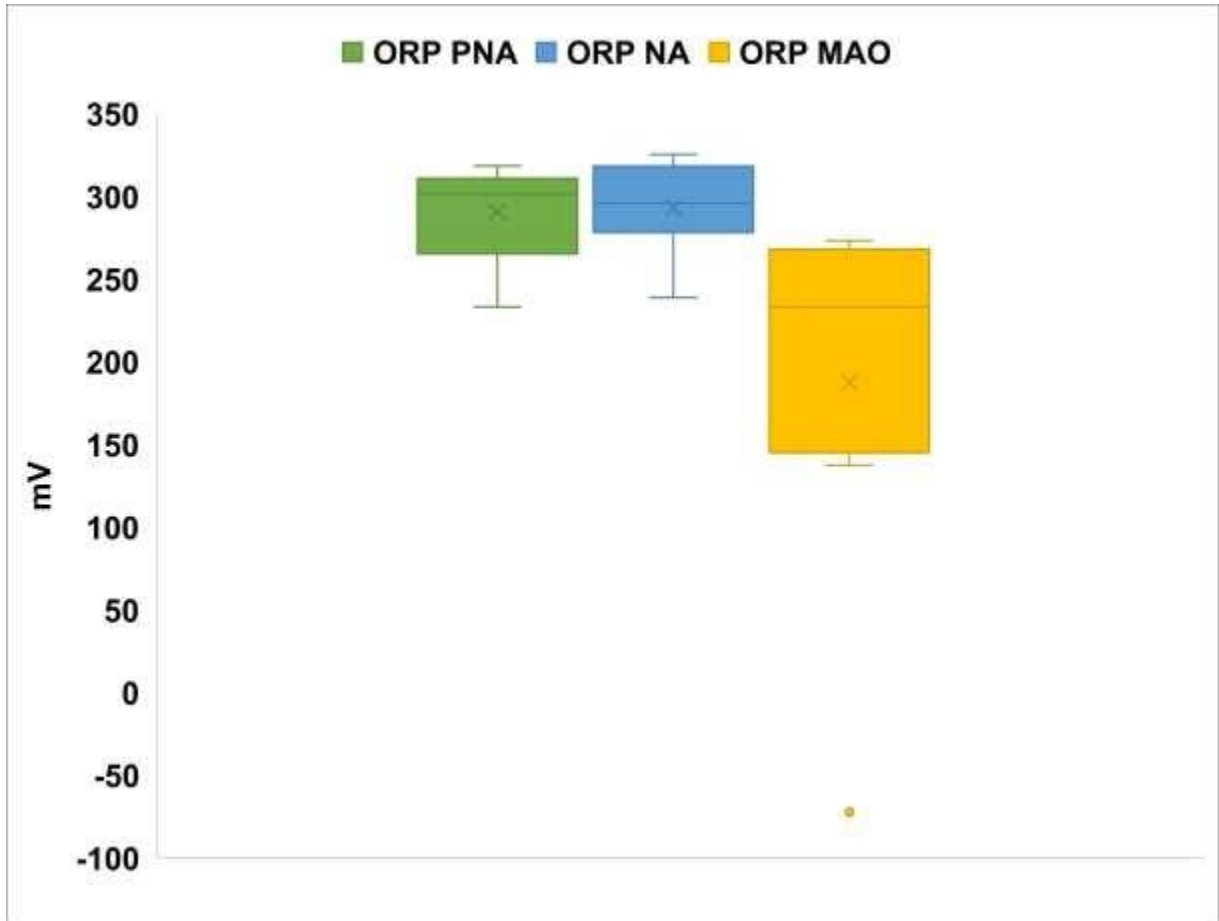


Tensoativos catiônicos são usados em desinfetantes por suas propriedades germicidas. O íon positivo presente no tensoativo catiônico interage com a água (NETO; PINO, 2011). Nos igarapés de São Raimundo (MAO4 e MAO5) e Educandos (MAO6 a MAO8), foram encontrados pH acima de 6 (ANEXO I). Portanto, de acordo com o gráfico 1, houve maior alteração do pH na orla de MAO, o que pode evidenciar um ambiente mais alterado sobre a acidez da água em relação a PNA e NA.

O potencial de oxirredução (ORP) é um indicativo de ambiente redutor ou oxidante, indicando a forma das espécies químicas, a existência de possíveis espécies dissolvidas que alteram o equilíbrio químico da água, sendo um parâmetro semelhante ao pH por indicar o estado do ambiente hídrico. Um ambiente oxidante é quando há deficiência de elétrons e o OD é um agente oxidante importante em águas, enquanto um ambiente redutor tem disponibilidade de elétrons, de modo que espécies ali dissolvidas sofrem redução (BAIRD; CANN, 2011; JARDIM, 2014; FIORUCCI;

FILHO, 2005). A figura 14 demonstra como o ORP comportou-se no PNA, NA e MAO durante a seca:

Figura 14: Variação de ORP nas três regiões em novembro de 2019.



No gráfico, é visível a diferença nas medições de ORP nas três regiões. PNA e NA exibem medições de ORP na faixa entre +200 mV a +350 mV. Em PNA, o ORP médio obtido na UC foi  $290,59 \pm 29,8$  mV, relativamente superior ao ORP obtido por Moreira (2019) durante a seca:  $149,48 \pm 12,54$  mV. Os desvios padrão obtidos nas medições (Anexo I) indicam a variabilidade desse ambiente durante a seca. Em NA, o ORP médio de  $292,94 \pm 29,6$  mV obtido e o gráfico sugerem que este ambiente apresentou semelhança com Anavilhanas durante o período de coleta.

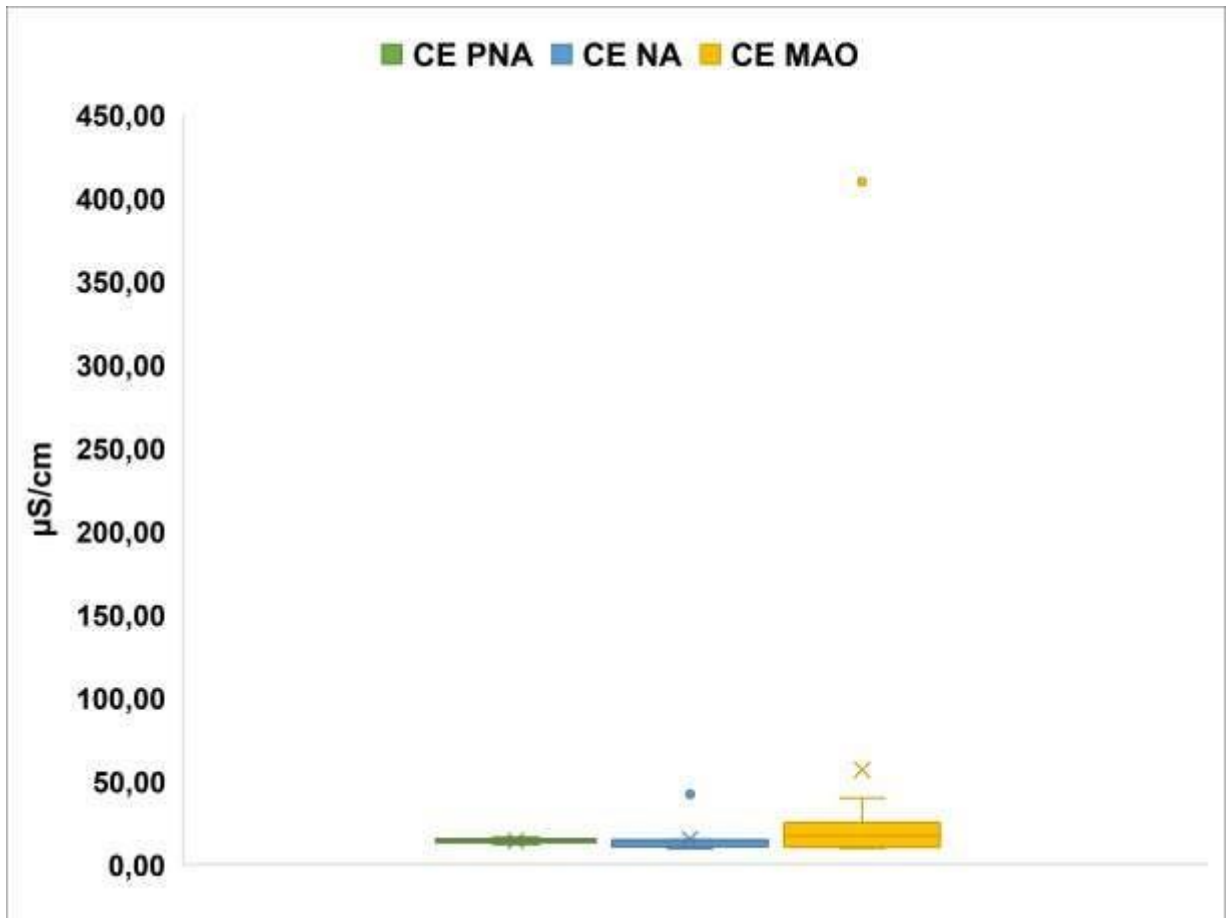
Neste parâmetro, MAO expôs um comportamento contrário às demais regiões, com destaque para MAO6, situado na foz do igarapé do Educandos. Este ponto é *outlier*, pois o ORP está extremamente baixo ( $-72,44$  mV). Pinto e colaboradores (2009) observaram uma relação entre ORP e pH, especialmente na foz do igarapé São Raimundo e Educandos. O pH aumentou e, simultaneamente, o ORP diminuiu, caracterizando-o como um ambiente redutor básico devido a entrada de substâncias

alcalinas (PINTO et. al., 2009). Os autores ressaltaram que os íons nitrito ( $NO_2^-$ ) e amônio ( $NH_4^+$ ) indicaram poluição bacteriana na foz do igarapé do Educandos durante a seca (PINTO et. al., 2009). Neste ambiente, os principais receptores de elétrons são  $Fe^{3+}$ , seguido de sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) e, por fim, matéria orgânica e  $CO_2$ . Os principais produtos de redução são o íon  $Fe^{2+}$ , sulfeto ( $S^{2-}$ ) e metano ( $CH_4$ ), respectivamente (JARDIM, 2014). Simultaneamente, o pH encontrado neste local foi pouco ácido a neutro (pH = 6,69). Isso pode ocorrer devido ao aporte de substâncias alcalinas responsáveis por aumentar o pH provenientes de esgotos domésticos e industriais não tratados (PINTO et. al., 2009; VIANA, 2018; MELO; SILVA; MIRANDA, 2005; SOUZA FILHO, 2018), assim como a biodegradação da matéria orgânica e a presença de nitrato ( $NO_3^-$ ) como marcadores de efluentes na água (LOPES et. al., 2017).

Ambientes com pH e ORP alterados encontrados em alguns pontos de MAO mostram condições extremas de influência antrópica por meio de receptores de elétrons, sendo que os principais podem ser os íons  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $Mn^{4+}$ , reduzindo o manganês para  $Mn^{2+}$ . Além disso, podem gerar o nitrogênio e amônia como produtos majoritários, provenientes do despejo de esgotos não tratados e presença de lixo no entorno (MELO; SILVA; MIRANDA, 2005; JARDIM, 2014; VIANA, 2018; SOUZA FILHO et. al., 2020). Este parâmetro é sensível a mudanças no clima e o metabolismo microbiano ali existente, por exemplo (JARDIM, 2014; OREGA, 1995). As reações de oxidação e redução existentes num corpo hídrico são a forma mais comum dos microrganismos de produzir energia, de três modos diferentes: aeróbia, anaeróbia e fotossintética. A energia por eles produzida serve para degradar a matéria orgânica (OREGA, 1995). Na perspectiva de influência antrópica, o ORP é um potencial indicador de variação dos níveis de influência antrópica das três áreas (do menor para o maior, respectivamente).

A CE indica as espécies iônicas dissolvidas em um ambiente hídrico, demonstrando a complexidade do meio aquático, cuja variação nas três regiões em novembro de 2019 está exposta na figura 15:

Figura 15: Variação de CE nas três regiões em novembro de 2019.



A variação de CE em PNA e NA foram baixas se comparados a MAO, como esperado para o rio Negro. Ambientes naturais de águas pretas apresentam baixa condutividade elétrica, considerando a pobreza de íons dissolvidos e a acidez característica da matéria orgânica pelos ácidos húmicos e fúlvicos (KÜCHLER; MIEKELEY; FOSBERG, 2000; SILVA, 2012; MOREIRA, 2019). Portanto, os ambientes de PNA e NA podem ser considerados como preservados.

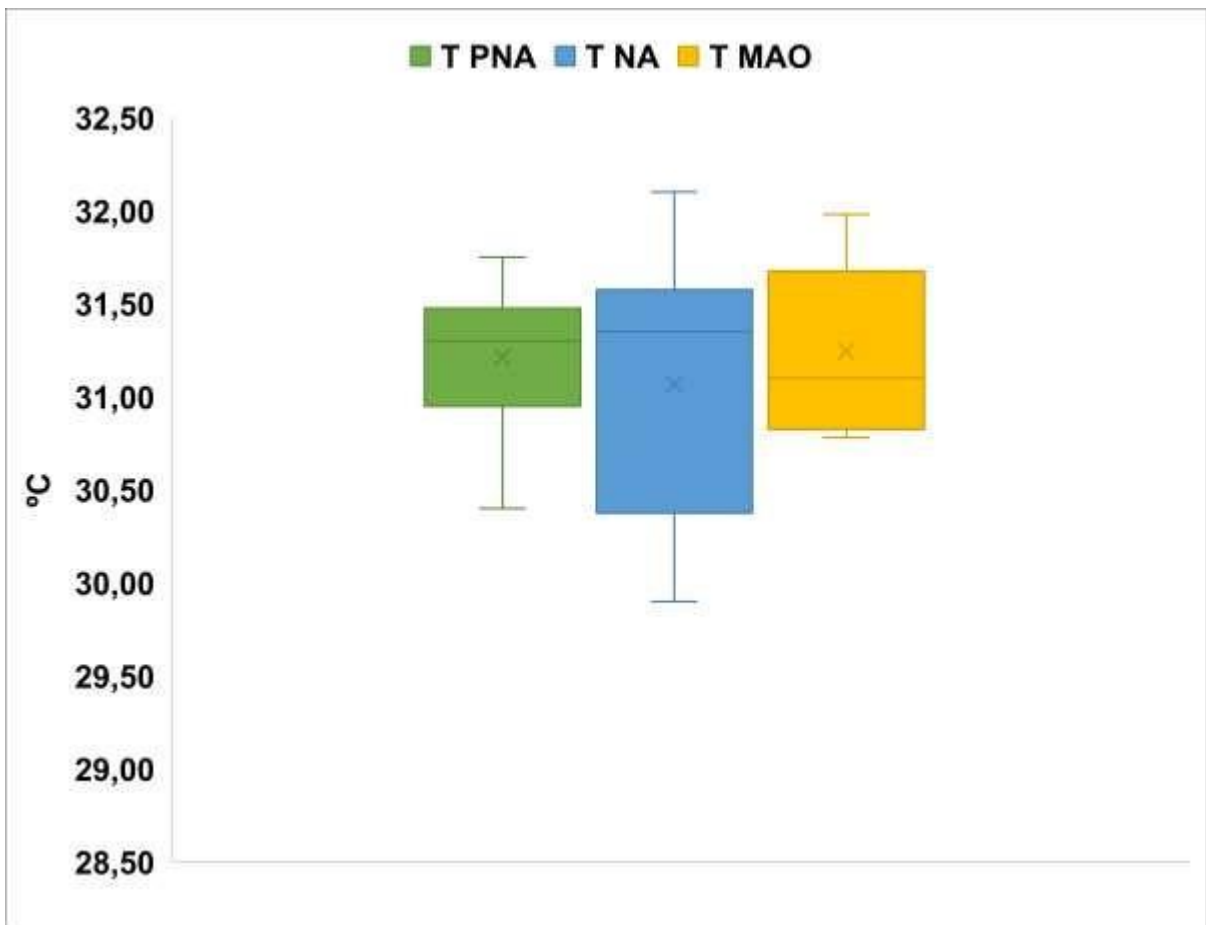
Entretanto, em NA, há um *outlier* situado no igarapé Santo Antônio (NA05). A CE é um parâmetro sensível ao aporte de espécies dissolvidas no ambiente hídrico pela alteração do leito do rio (sendo de origem antrópica ou natural) e volume de água disponível, portanto, a baixa vazão hídrica e erosão do solo encontradas na coleta desta amostra são as causas possíveis para tal medição.

Em ambientes sob alto nível de influência antrópica como o igarapé do Educandos, a alta CE encontrada no ponto MAO6 ( $409,56 \pm 1,24 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) se distancia da CE média obtida em MAO:  $18,02 \pm 10,32 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Isso pode ser atribuído a grandes

quantidades de espécies iônicas dissolvidas como ânions, tais como  $\text{SO}_4^{2-}$ , presentes em detergentes e alguns metais como Cd, Pb e Mn, cujas concentrações foram maiores no período de seca (PINTO *et. al.*, 2009). Neste caso, a CE também pode indicar diferença nos níveis de impacto hídrico por influência antrópica. A quantificação de espécies dissolvidas em um corpo hídrico e sua vazão, assim como avaliação de medidas de dispersão como desvio padrão e coeficiente de variação devem ser analisados em conjunto com estudos feitos na mesma região e mesmo período hidrológico, uma vez que esse parâmetro não tem VMP estimado na legislação. A CE pode indicar que existem espécies químicas dissolvidas no rio Negro (RODRIGUES; SILVA; SILVA, 2009).

A temperatura é um indicador sensível a variação de clima da região, tendo em vista a estratificação térmica existente na água (MOREIRA, 2019). Latitude, altitude, estação do ano, período do dia (entre 8 da manhã a 17 horas da tarde), fluxo aquático e profundidade são fatores que podem ocasionar modificações de temperatura do ambiente hídrico analisado (CETESB, 2001), visto que a coleta de dados foi durante o mês de novembro. A figura 16 mostra a variação de temperatura nas três regiões no período de seca em novembro de 2019:

Figura 16: Variação de temperatura nas três regiões em novembro de 2019



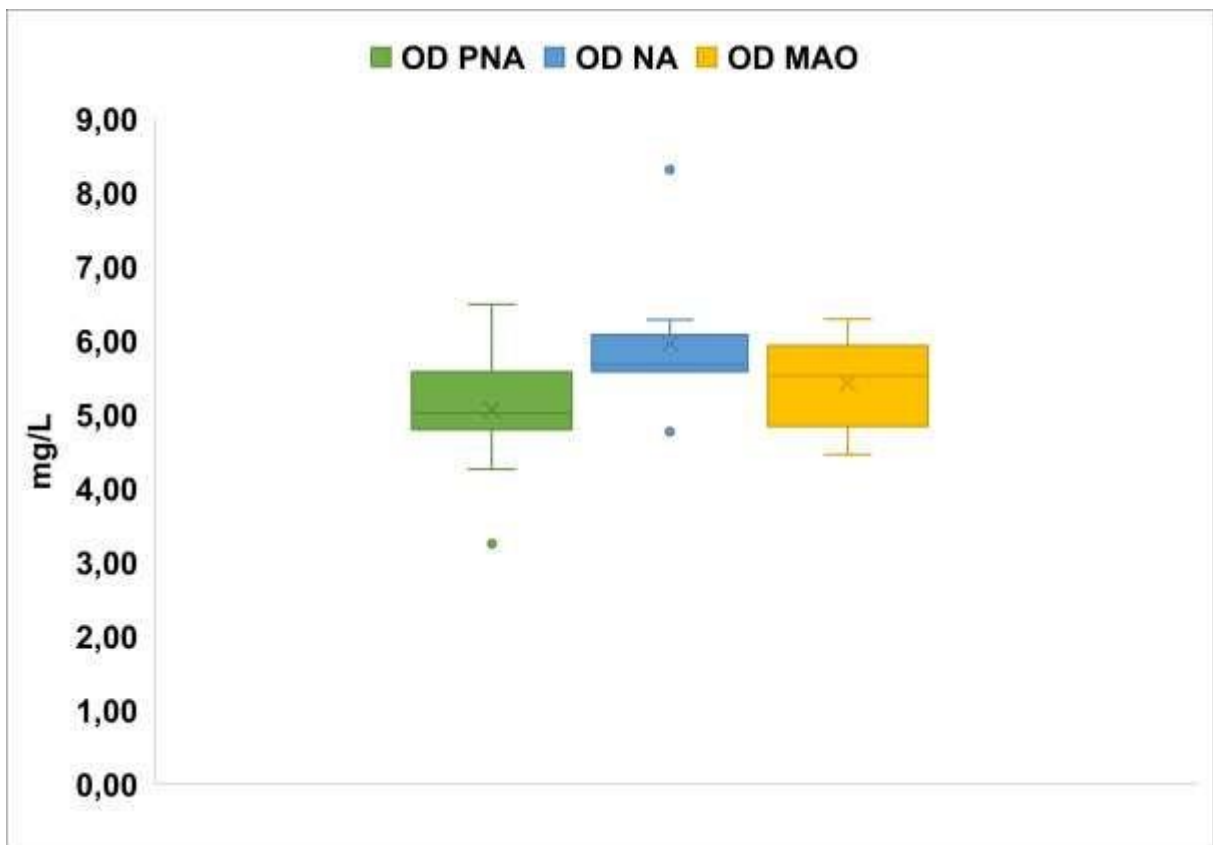
Observa-se que a variação de temperatura, ao longo das três regiões estudadas, apresenta um comportamento não-uniforme. A temperatura média nos pontos do PNA demonstrou uma variação: 30,40 °C a 31,75 °C, com temperatura média de  $31,21 \pm 0,36$  °C. Moreira (2019) obteve temperatura média de  $31,64 \pm 0,37$  °C durante o período de seca. No PNA, este parâmetro pode exibir uma modificação ao longo de um ciclo hidrológico (SOUSA, 2008; MOREIRA, 2019). As altas temperaturas era um cenário esperado por causa da localização da região amazônica na zona equatorial e alta incidência solar (SILVA, 2012).

A região de NA exibiu maior amplitude de temperatura, entre 29,90°C a 31,60°C, com temperatura média de  $31,07 \pm 0,71$  °C. A estação mais chuvosa ocorre em novembro em NA, o que pode explicar a variação da temperatura (MOURA, 2009). A pluviometria total na cidade encontra-se entre 1750 mm a 2500 mm ao ano (MOURA, 2009; CARVALHO, 2001; AB'SÁBER, 2003).

Em MAO, dessemelhante a PNA e NA, as medições ocorreram em um único dia, entre 09 da manhã a 17 horas. foram realizadas ao longo de um único dia, o que explica a variação de temperatura entre 30,80 °C a 31,98 °C, com temperatura média obtida de  $31,25 \pm 0,46$  °C. Em estudo voltado para a bacia do Educandos, as temperaturas nas amostras contidas no rio Negro foram homogêneas entre si. Os igarapés, por outro lado, exibiram as maiores temperaturas em razão do período de seca demonstrar as temperaturas mais elevadas (CALVO, 2018).

O OD é um importante indicador de qualidade da água, pois a sua concentração em águas determina a existência e manutenção de uma biota, além de ser o agente oxidante mais importante em águas naturais (BAIRD; CANN, 2011). A figura 17 demonstra o comportamento do OD nas três regiões:

Figura 17: Variação de OD nas três regiões em novembro de 2019.



No gráfico box-plot de OD, os pontos são prováveis *outliers*, pois se afastam da distribuição dos dados contidas no box-plot. Em PNA, a concentração de OD mínima foi de  $3,24 \pm 1,56$  mg/L, abaixo de 5 mg/L, valor estimado pelo CONAMA 357, de 2005 e a concentração máxima obtida foi  $6,49 \pm 1,72$  mg/L. Os valores obtidos são condizentes com as características do ambiente amazônico (Anexo I), onde rios de



águas pretas tem maior aporte de sólidos e matéria orgânica (galhos, folhas, dentre outros) em forma dissolvida, o que diminui a concentração de OD na região (SIOLI; KLINGE, 1962; SILVA, 2012). O oxigênio dissolvido no rio Negro é naturalmente baixo justamente por causa da grande quantidade de material em suspensão escoado durante o período hidrológico (PINTO et. al., 2009; SOUZA FILHO 2018; CALVO, 2018; VIANA, 2018; MOREIRA, 2019).

Em NA, nos pontos NA01, NA02 e NA03 não houve determinação de oxigênio dissolvido devido às condições ambientais adversas do local como chuva torrencial, ventos e banzeiro. Logo, a determinação de oxigênio dissolvido ocorreu somente nos pontos NA04 a NA12 (Anexo I). Observou-se a presença de dois pontos que se afastaram da média de OD na orla. O primeiro ponto é o Porto de Novo Airão (NA09), que apresentou uma concentração de OD média de  $4,77 \pm 1,51$  mg/L abaixo do VMP previsto pelo CONAMA. Possivelmente, a diminuição de OD neste local ocorreu pela oxidação química de íons como o ferro e o manganês (FIORUCCI; FILHO, 2005). Em contrapartida, a maior concentração de OD foi encontrada no igarapé Santo Antônio:  $8,31 \pm 2,67$  mg/L, cujas condições ambientais encontradas estão expostas na figura 18:

Figura 18: A) vista de entrada Igarapé Santo Antônio; B) Margem igarapé Santo Antônio com restos de sacos plásticos; C) presença de flutuantes residenciais; d) Vista de saída do igarapé Santo Antônio.



A figura A e B mostram que o local está visivelmente impactado e as águas paradas caracterizam o baixo volume hídrico deste ponto, de modo que a alta oxigenação pode ter sido causada pela aeração mecânica provocada pela lancha rápida. A figura C e D mostram a entrada do igarapé, cuja presença de embarcações é bastante comum nas imediações e a quantidade de matéria orgânica local e despejo doméstico encontrada no local foi significativa.

No geral, exceto os pontos MAO2 e MAO3 localizados próximos foz do igarapé do Tarumã, os demais pontos OD apresentaram concentrações acima do VMP previsto pelo CONAMA para rios de classe 2 (5 mg/L), com destaque para o ponto MAO5 (próximo a foz do igarapé São Raimundo) exibiu uma concentração de OD de  $6,28 \pm 3,42$  acima do VMP estimado para rios de classe 1 (6 mg/L), indicando que a oxigenação local possivelmente foi ocasionada pela maior movimentação de água ocasionado pelo trânsito de embarcações (SOUSA, 2008), turbulência causada pelo vento (PINTO et. al, 2009), assim como o uso doméstico da água, cujo movimento promove a aeração por difusão turbulenta pela contínua interação ar-água. O menor volume de água pode proporcionar uma maior entrada de OD oriundos da atmosfera

por formação de funil de ventilação (VON SPERLING, 2007; NOZAKI et. al., 2014; WETZEL, 1983; FURTADO; LOPES, 2015).

Todavia, é importante mencionar que o estudo de Pinto e colaboradores (2009) em MAO, identificou baixas concentrações de OD e altas concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), principalmente na região do igarapé do Educandos, discordando deste estudo (Anexo I). Os autores relacionaram o baixo OD e alta DBO com a grande quantidade de bactérias e matéria orgânica provenientes de esgotos domésticos (PINTO et. al., 2009). É sabido que cidades situadas no entorno das margens do rio Negro realizam a captação dessas águas, lançando diretamente seus esgotos domésticos no rio sem qualquer tratamento, o que altera a composição química e, possivelmente, afeta a biota aquática (SILVA, 2013).

A turbidez nas três áreas encontra-se abaixo do VMP estabelecido pela resolução, pois a turbidez no rio Negro é baixa e suas águas são transparentes, apresentando condições de conservação (MAGALHÃES; JERÔNIMO, 2002; SARGENTINI, 2001; FONSECA; SALEM; GUARIM, 1982). A figura 19 mostra a variação de turbidez entre as regiões estudadas:

Figura 19: Variação de turbidez nas três regiões em novembro de 2019.



Os VMP estipulados pela legislação (até 100 NTU para classe 2 e 40 NTU para classe 1) não estão ajustados para os ambientes amazônicos, pois o gráfico indica grande variabilidade entre as medições das áreas estudadas.

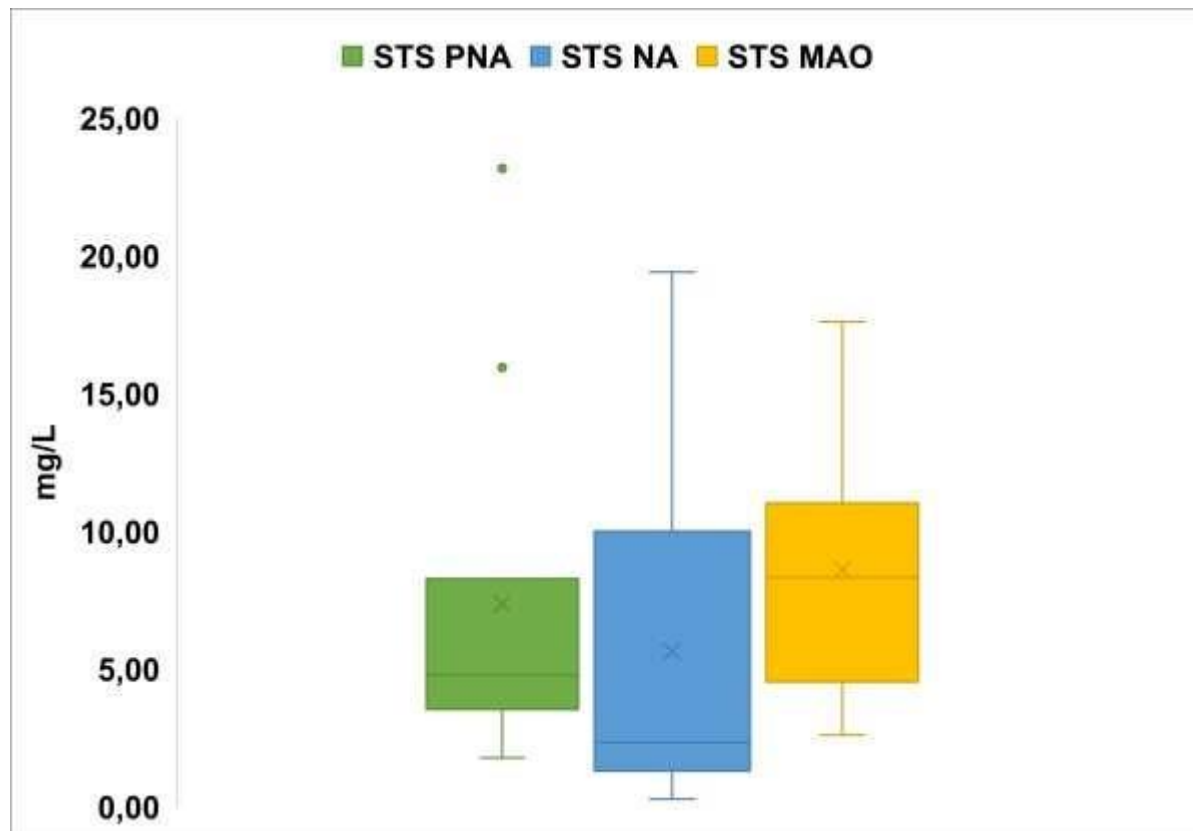
Nota-se uma variação decrescente de turbidez entre as regiões. Quanto à variação da turbidez média ao longo dos locais estudados, PNA mostrou uma turbidez variada:  $15,75 \pm 6,67$  NTU, com alta medição média de turbidez no ponto PNA04.3:  $32,10 \pm 0,47$  NTU, que reflete a heterogeneidade da região (MOREIRA, 2019).

Ao olhar para a turbidez em ambas as cidades, nota-se dois *outliers* em NA, pois se afastam da turbidez média obtida:  $12,06 \pm 2,57$  NTU. Esses dois *outliers* são referentes aos pontos situados no igarapé Santo Antônio (NA05 e NA06). A turbidez média no ponto NA05 foi de  $45,23 \pm 0,26$  NTU, enquanto no ponto NA06, situado na foz do igarapé, a turbidez média obtida foi  $26,17 \pm 0,26$  NTU. Apesar de ambos estarem abaixo do VMP proposto para rios classe 2 (até 100 NTU), o ponto NA05 expôs uma turbidez média superior ao VMP proposto para rios com classe 1 (40 NTU), sendo a mais exigente. Considerando 40 NTU como VMP de referência, possivelmente, essa medição refletiu um grau de impacto no corpo hídrico.

Quanto à MAO, há um provável *outlier* no ponto situado à foz do Educandos (MAO6):  $25,50 \pm 0,08$  NTU, porque também se afasta da turbidez média encontrada na orla da cidade:  $10,28 \pm 4,87$  NTU. Valores de turbidez médios acima de 230 NTU foram encontrados no igarapé do Educandos, classificando-o como um igarapé altamente antropizado (VIANA, 2018). Entretanto, o mesmo local foi estudado por outro autor que obteve valores de turbidez média de 39,2 NTU para os igarapés (CALVO, 2018). A tamanha discrepância entre tais medições podem ser compreendida ao analisar as características da foz do igarapé do Educandos (MAO6), visto que em ambos os estudos, o igarapé apresentou oscilações entre os parâmetros físico-químicos. Este ponto apresenta maior largura e profundidade, além de estar em período chuvoso durante a coleta, o que poderia explicar tal comportamento.

Ao sofrerem diversas formas de erosão, os solos e rochas fornecem sólidos suspensos à água e mobilizados em direção aos terrenos mais baixos e canais fluviais. As margens e o leito do rio também sofrem erosão durante o escoamento, cujos sólidos em suspensão produzidos são integrados na água, neste processo (PEREIRA, 2012), o que pode ocasionar turbidez elevada nesses locais. Contudo, nem sempre é possível relacionar turbidez com sólidos em suspensão por causa do comprimento de onda de luz, cor do efluente, tamanho e forma das partículas, dentre outros (SANT'ANNA JÚNIOR, 2013). A figura 20 expõe o comportamento de sólidos totais suspensos ao longo das três regiões:

Figura 20: Variação de STS nas três áreas em novembro de 2019



A concentração de sólidos totais suspensos (STS) nas três áreas tiveram um comportamento variado. Na região controle, as maiores concentrações de STS foram observadas na margem esquerda, com destaque nos *outliers* situado na margem esquerda do rio Negro (PNA03.2):  $23,17 \pm 0,00$  mg/L e PNA02.2, situado na margem direita do rio Negro:  $15,94 \pm 1,65$  mg/L afastando-se da concentração média no PNA:  $4,92 \pm 2,44$  mg/L. Um estudo que analisou os sedimentos suspensos em Anavilhanas observou uma alta concentração de STS na mesma região durante o período de águas baixas: 10,47 mg/L (MARINHO, 2020), possivelmente devido à influência do material suspenso advindo do rio Branco que se estende pela margem esquerda do rio Negro no Arquipélago Fluvial de Anavilhanas (MARINHO, 2019).

Observou-se uma tendência de aumento na concentração de STS à montante (3,93 mg/L) e a jusante do PNA (7,80 mg/L) durante o período de águas baixas, contrariando a tendência observada num estudo realizado no PNA em novembro de 2018, que expôs concentrações de sólidos suspensos: 4,82 mg/L à montante do PNA e 2,88 mg/L à jusante do PNA. A redução do material em suspensão observada pelo autor na região durante o período em que o autor estudo foi atribuída à extensa área

de água livre na jusante do Arquipélago, diminuição da velocidade do fluxo de água e remanso hidráulico do rio Solimões (MARINHO, 2019).

Em NA, houve uma variação significativa da concentração de STS:  $0,27 \pm 0,19$  mg/L a  $19,40 \pm 4,05$  mg/L. A concentração máxima de STS foi determinada no ponto NA05 (igarapé Santo Antônio), possivelmente em virtude da erosão do solo no entorno do igarapé aliado ao baixo volume d'água e despejo de efluentes domésticos, contribuindo substancialmente para o aumento de turbidez e STS (VON SPERLING, 2005). A variação na concentração de STS na orla da cidade também pode indicar a diversidade dos corpos hídricos analisados, pois os igarapés apresentavam diferenças em suas características físicas: largura, profundidade, indícios de erosão no entorno do igarapé, dentre outros.

Em MAO, as concentrações de STS variaram entre  $2,60 \pm 1,98$  mg/L a  $11,27 \pm 1,04$  mg/L. O ponto MAO4 localizado na foz do igarapé São Raimundo apresentou maior concentração de STS dentre os pontos na orla de MAO durante a seca:  $17,60 \pm 6,79$  mg/L, maior que os valores de STS observados nos demais pontos. Porém, estudos indicam que as maiores concentrações de STS durante a seca foram obtidas nos igarapés do Mindu e Educandos:  $100,03 \pm 0,30$  a  $833,78 \pm 1,67$  mg/L (VIANA, 2018) e  $28,4 \pm 5,8$  a  $124,2 \pm 6,8$  mg/L (CALVO, 2018), respectivamente. Portanto, o rio Negro próximo à foz do igarapé São Raimundo (MAO5) provavelmente estava alterado por despejo de resíduos de fontes antrópicas.

A princípio, é possível perceber que pH, ORP e CE em MAO se diferencia das duas áreas, sugerindo uma tendência crescente entre os locais estudados. Para melhor compreender os cenários, os metais em águas e em sólidos suspensos podem fornecer informações a respeito da qualidade dos ambientes estudados, visto que os metais em sua maioria apresentam afinidade pelo enxofre ( $-S-$ ), pelas carboxilas ( $-COOH$ ) e grupo amino ( $-NH_2$ ), afetando a biota (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009). Podem estar associados a partículas sólidas e estão presentes como sedimentos provenientes de construção, erosão dos solos de construções, erosão do solo e desgaste das superfícies (SILVA, 2014).

## 5.2 Metais dissolvidos e em SS

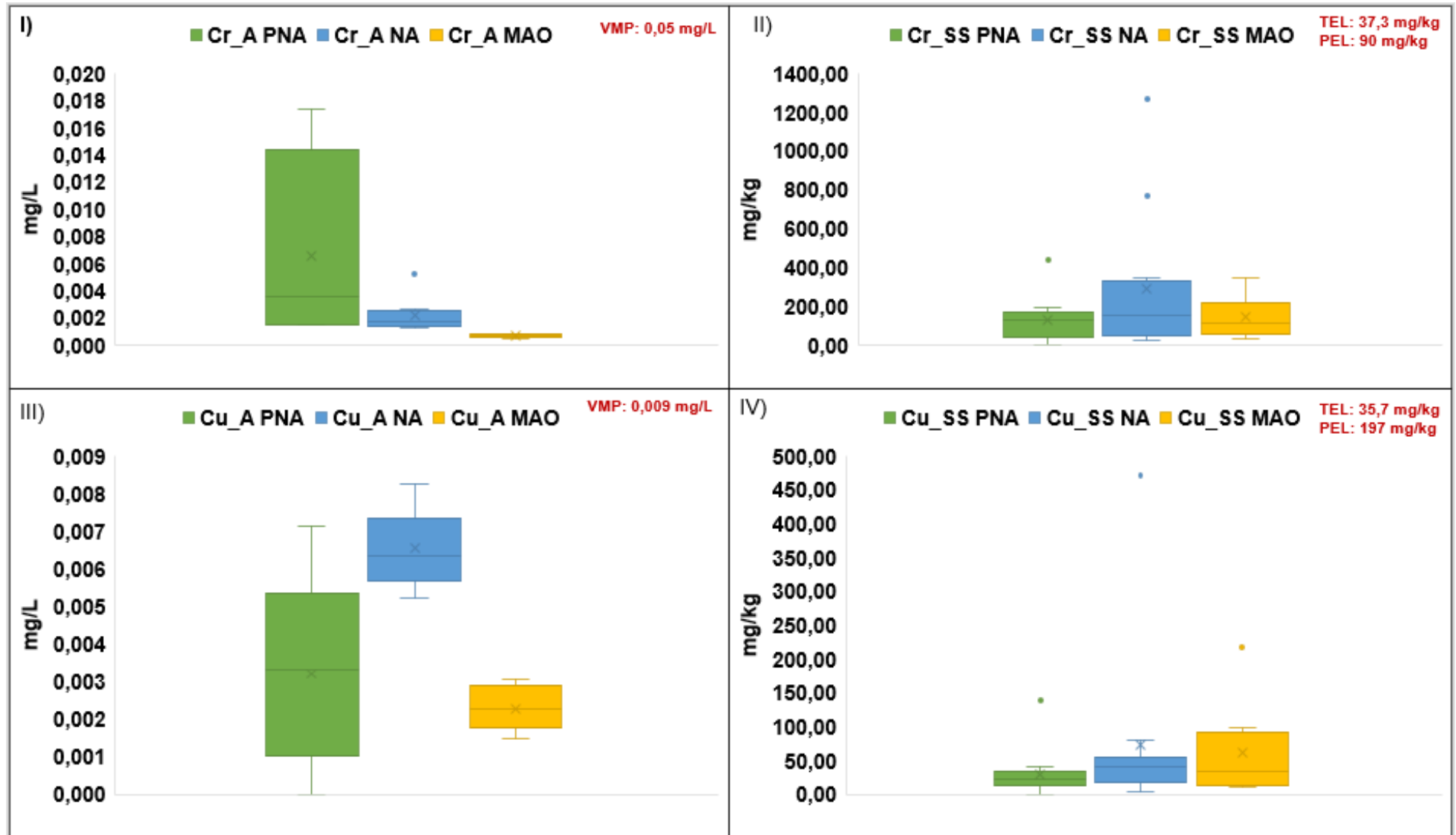
As médias das concentrações de metais dissolvidos no PNA são referentes aos 4 pontos situados à montante (PNA01.2), meio na margem direita ou PNA02.2, meio da margem esquerda ou PNA03.2 e meio à jusante ou PNA04.2), uma vez que a coleta e armazenamento das amostras de metais dissolvidos em água foi limitada por falta de insumos e condições ambientais adversas. Os metais em SS foram determinados em duplicata nos 12 pontos no PNA e NA. Diante desse contexto, a análise e discussão dos dados de metais dissolvidos e em SS foi feita através de características em comum, comparando-os com VMP propostos nas legislações competentes e estudos ambientais anteriormente realizados.

As substâncias húmicas presentes no rio Negro contêm carbono orgânico dissolvido, cujo caráter complexador de metais (ESTEVES, 1988) como Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn, estados de oxidação variados por serem elementos de transição, combinação de metais para compor ligas metálicas, ocorrência (LEE, 1999), fontes e a preferência dos metais pela fração particulada em relação à dissolvida observada neste estudo justificam o agrupamento dos metais tanto na fração dissolvida quanto particulada.

O Cr e o Cu podem ser encontrados em minerais que contenham Fe, como a cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) e a calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) (LEE, 1999). A figura 21 mostram os gráficos agrupados de Cr e Cu dissolvidos e em SS nas três regiões:



Figura 21: Box-plot de Cr e Cu dissolvidos e em SS nas três regiões em novembro de 2019



O box-plot I referente ao Cr dissolvido (Cr\_A) nas três regiões demonstra clara tendência decrescente, com ênfase na região de PNA, onde apresenta uma grande oscilação na concentração média desse metal, enquanto o box-plot II demonstra a preferência de Cr pela fração particulada, com picos de concentrações de Cr em SS na região NA.

A concentração média obtida no PNA foi  $0,0065 \pm 0,007$  mg/L, abaixo de 0,05 mg/L, VMP previsto no CONAMA 357/2005. Ao comparar a concentração média de Cr dissolvido com estudos anteriormente realizados em águas pretas, nota-se diferença entre elas, pois as concentrações variaram entre 0,000001 mg/L (MOREIRA, 2019) a 0,027 mg/L (SOUSA, 2008). Em SS, a concentração média de Cr obtida no PNA foi  $104,06 \pm 66,75$  mg/kg, com destaque ao ponto PNA01.3, situado à montante do PNA:  $473,36 \pm 0,001$  mg/kg, considerado um *outlier*, pois estão acima do VMP estimado pelo PEL (*Probable Effects Level*) de 90 mg/kg, indicador de alto impacto.

Quanto à NA e MAO, ainda no box-plot I, nota-se pouca variação nas concentrações de Cr dissolvido. Em NA, por exemplo, o ponto no gráfico representa a foz do igarapé da Freguesia (NA07), cuja concentração média ( $0,0053 \pm 0,0002$  mg/L) mostra uma alteração por algum despejo de efluente na região, uma vez que se afasta da concentração média obtida na orla de NA de  $0,0022 \pm 0,001$  mg/L. Ainda assim, tais teores são relativamente menores que 0,05 mg/L, VMP estimado pelo CONAMA. No box-plot II, destaca-se os dois *outliers* existentes em NA: NA07, localizado na foz do Igarapé Freguesia ( $1266,44 \pm 0,0004$  mg/kg) e NA12, na foz do igarapé Peixe Boi ( $772,36 \pm 0,0002$  mg/kg), maiores que o VMP de maior impacto (90 mg/kg).

Em MAO, a concentração média de Cr dissolvido ( $0,0007 \pm 0,0001$  mg/L) é menor que 0,05 mg/L, VMP previsto pelo CONAMA, concordando com estudo anterior realizado na cidade, cujas concentrações no período seco foram inferiores a 0,015 mg/L (CALVO, 2018). Quanto a SS, quatro concentrações acima de 90 mg/kg foram encontradas na cidade, citadas em ordem crescente:  $124,39 \pm 0,0002$  mg/kg (MAO5, próximo à foz do igarapé São Raimundo),  $191,70 \pm 0,0001$  mg/kg (MAO8, ponto situado no rio Negro próximo à foz do igarapé do Educandos),  $228,70 \pm 0,0002$  mg/kg (MAO6, foz do igarapé do Educandos) e  $350,71 \pm 0,0001$  mg/kg (MAO2, situado

próximo à foz do igarapé do Tarumã). Viana (2018) encontrou concentração máxima de  $200,92 \pm 1,27$  mg/kg num ponto no igarapé do Mindu e Calvo (2018) determinou o maior teor de Cr em SS no ponto situado na ponte do igarapé do Educandos ( $243,0 \pm 2,1$  mg/Kg), ambos durante a seca.

O box-plot III refere-se ao Cu dissolvido (Cu\_A) nas três regiões. Todas estão abaixo do VMP proposto pelo CONAMA 357/2005, enquanto o box-plot IV exibe a variação de Cu em SS nas três regiões. As concentrações de Cu dissolvido no PNA apresentaram maior amplitude de variação em relação à NA e MAO:  $0,0021 \pm 0,00007$  mg/L a  $0,0071 \pm 0,042$  mg/L. Relativo à concentração média de Cu dissolvido, notou-se uma diferença entre a concentração média de Cu dissolvido neste estudo e o valor obtido por Moreira (2019):  $0,0040 \pm 0,0022$  mg/L e  $0,00273 \pm 0,00162$  mg/L, respectivamente. Ambos abaixo do VMP proposto pelo CONAMA 357/2005.

Em SS, a concentração média de Cu no PNA de  $20,00 \pm 12,71$  mg/kg difere-se da concentração média de Cr em SS obtida por Moreira (2019) durante a seca:  $0,622 \pm 0,307$  mg/kg. Ainda assim, encontra-se abaixo do VMP previsto pelo TEL (indicador de menor impacto). O ponto PNA01.3 se destaca no box-plot, pois afastou-se da concentração média obtida:  $139,95 \pm 0,0001$  mg/kg, acima do VMP previsto pelo TEL: 35,7 mg/kg (menor impacto), embora essa concentração seja menor que o VMP proposto pelo PEL (maior impacto). Situação semelhante foi observada no ponto PNA03.1, localizado na margem esquerda do rio Negro, cuja concentração  $40,71$  mg/L também supera o VMP pelo TEL, mas não por PEL.

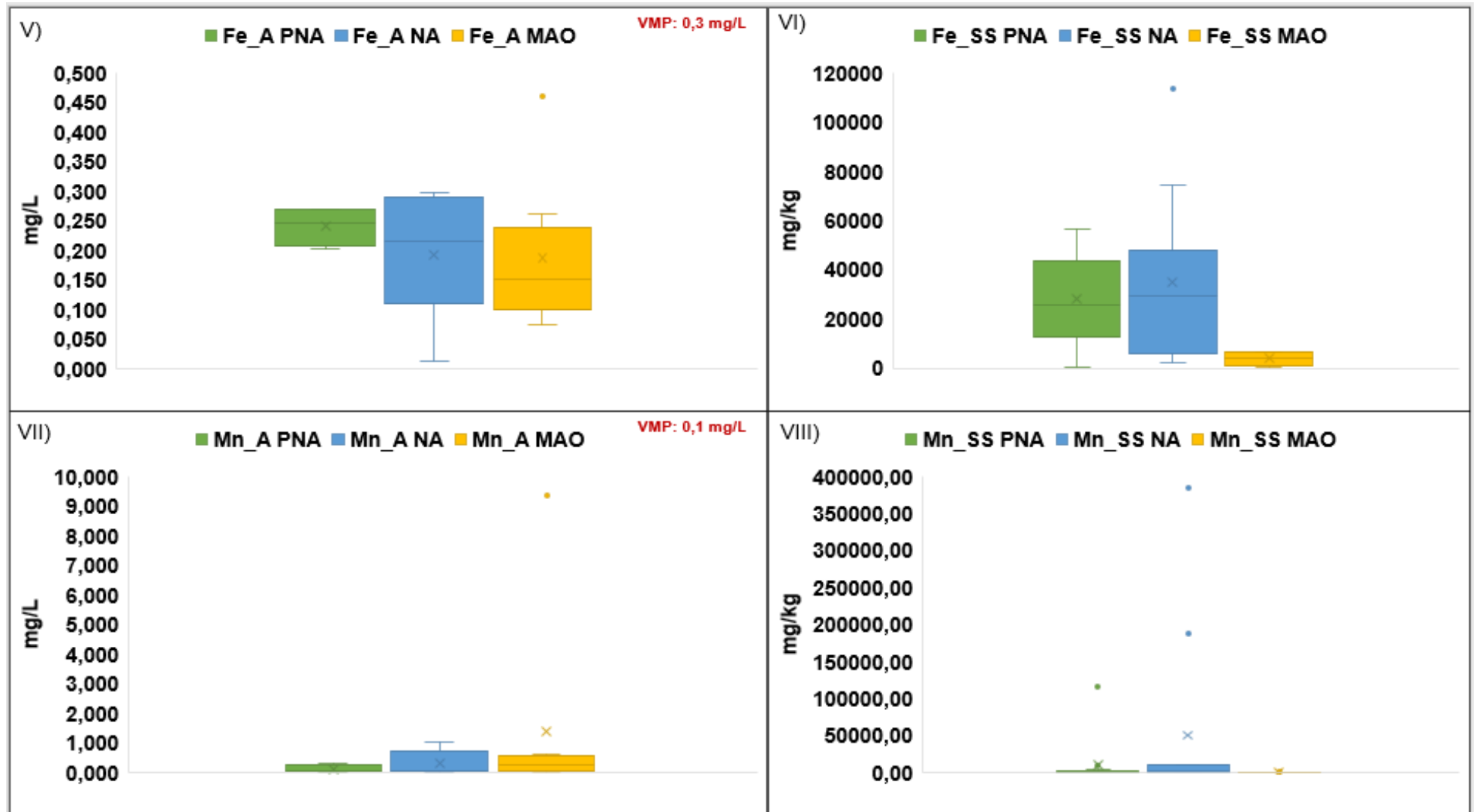
Na orla das cidades, o box-plot III mostra que NA apresentou uma maior variação na concentração de Cu dissolvido que MAO: de  $0,0052$  mg/L a  $0,0083$  mg/L, com concentração média de Cu em NA de  $0,0066 \pm 0,001$  mg/L, enquanto em MAO, as concentrações variaram entre  $0,00149 \pm 0,003$  mg/L a  $0,00295 \pm 0,0002$  mg/L, com concentração média de  $0,0023 \pm 0,001$  mg/L.

Em SS, o box-plot IV mostrou duas concentrações de Cu em SS que se afastavam das médias de ambas cidades ( $35,96 \pm 22,90$  mg/kg e  $39,75 \pm 33,70$  mg/kg, respectivamente): em NA, situado no ponto NA07:  $471,43 \pm 0,0001$  mg/kg e em MAO:  $217,37 \pm 0,0001$  mg/kg (MAO6, foz do igarapé do Educandos), ambos acima do VMP previsto por PEL no NOAA de 197 mg/kg, sugerindo que estes ambientes estão sob alto impacto.

Em MAO, a concentração média obtida foi de  $0,0023 \pm 0,001$  mg/L, com concentrações de  $0,00149 \pm 0,003$  mg/L a  $0,00295 \pm 0,0002$  mg/L. Relativo à fração particulada, tanto NA quanto MAO se assemelham em algumas características: igarapés largos, com grande presença de embarcações, o que pode ter influenciado na proximidade relativa entre as concentrações médias de Cu em SS obtidas em ambas as cidades:  $35,96 \pm 22,90$  mg/kg em NA e  $39,75 \pm 33,70$  mg/kg em MAO.

O Mn pode ser encontrado em minerais associado ao Fe, com estados de oxidação variado, sendo alguns mais incomuns, de -3 a +7. O mais estável é o estado de oxidação +2, correspondendo ao íon  $Mn^{2+}$  (AFONSO, 2019). Fe e Mn em SS não possuem VMP proposto na legislação NOAA, de modo que a discussão será pautada pela comparação com o teor de Fe e Mn em SS obtidas em outros estudos no rio Negro durante a seca. A figura 22 expõe as variações de Fe e Mn dissolvido e em SS:

Figura 22: Box-plot de Fe e Mn dissolvidos e em SS nas três regiões em novembro de 2019



O box-plot V relativo ao Fe dissolvido (Fe\_A) mostra um comportamento diversificado nos três locais, com maior variação de concentrações em NA, seguido de MAO e PNA. A concentração média de Fe dissolvido no PNA é  $0,2410 \pm 0,032$  mg/L, abaixo do VMP estimado pelo CONAMA 357/2005 de 0,3 mg/L. Todavia, estudos anteriores encontraram concentrações ainda menores, também no período de seca:  $0,21388 \pm 0,23$  mg/L (MOREIRA, 2019) e 0,160 mg/L (SOUSA, 2008). Quanto ao box-plot VI, observa-se uma variação nas concentrações de Fe em SS nas três regiões. Em PNA, a concentração média de Fe em SS foi de  $28302,37 \pm 19340,25$  mg/kg, acima dos teores de Fe obtidos em estudos anteriores: 41.423 mg/kg (GAILLARDET et. al., 1997) e  $0,23350 \pm 0,07232$  mg/kg (MOREIRA, 2019).

Em NA, a concentração média de Fe dissolvido (box-plot V) obtida foi de  $0,1934 \pm 0,110$  mg/L, diferente das concentrações de Fe dissolvido obtidas em estudo voltado para o diagnóstico ambiental urbano de NA em águas subterrâneas durante a seca: 0,1 a 0,17 mg/L, atribuindo à alta taxa de movimentação deste elemento em águas subterrâneas (MOURA, 2009). Destaca-se a menor concentração de Fe encontrada no ponto NA09: 0,0136 mg/L, o que não era esperado, em virtude deste local receber diversas embarcações. (VASCONCELOS; MIRANDA; SILVA, 2016). Quanto a Fe em SS em NA (box-plot VI), observa-se um *outlier* – ponto NA12 – cuja concentração de  $113582,73 \pm 0,0576$  mg/kg se afasta da concentração média obtida em NA:  $3191,49 \pm 3922,56$  mg/kg.

Em MAO, somente no ponto MAO06, observou-se uma concentração de  $0,4596 \pm 0,51$  mg/L, acima do VMP de 0,3 mg/L e se afasta da concentração média obtida na orla de MAO:  $0,1487 \pm 0,0619$  mg/L. Outros autores encontraram valores diferentes: acima de 0,50 mg/L (CALVO, 2018) e acima de 50 mg/L (DIAS, 2001). A segunda maior concentração foi encontrada no ponto MAO1:  $0,2606 \pm 0,00245$  mg/L, o que é preocupante, pois aproxima-se do VMP estimado pela legislação (0,3 mg/L) e pode indicar que a foz do igarapé do Tarumã esteja potencialmente contaminada por este metal em virtude das inúmeras atividades antrópicas como estaleiros, marinas e flutuantes.

Um estudo na mesma região durante a seca mostrou que o Fe dissolvido superou o VMP estimado em todos os pontos amostrados na bacia do Tarumã-Açu. Os autores presumiram que tal aumento nos níveis de Fe dissolvido foi provocado

pelo despejo irregular do chorume no igarapé do Matrinxã (SANTANA; BARRONCAS, 2007).

Em MAO, a concentração média de Fe em SS foi  $3899,46 \pm 2424,20$  mg/kg. O alto desvio padrão indica que a concentração exibiu uma variação entre as medições, embora a amplitude na variação da concentração de Fe em SS (box-plot VI) seja menor que a variação observada em Fe dissolvido (box-plot V). Ao observar as concentrações na orla de MAO (ANEXO IV), a maior concentração média foi obtida no ponto MAO8, próximo à foz do igarapé do Educandos:  $13389,32 \pm 0,1291$  mg/kg. Estudos anteriores encontraram concentrações variadas: 31.200 mg/kg (CALVO, 2018) e Torrezani (2016) estudou o Fe em sedimentos na bacia do Educandos e obteve concentrações médias variadas devido ao alto desvio padrão:  $2.567,83 \pm 260,73$  mg/kg a  $19.871,97 \pm 799,25$  mg/kg.

O box-plot VII demonstra que a concentração de Mn dissolvido são maiores em NA e MAO. No PNA, Mn dissolvido apresentou uma concentração média de  $0,10 \pm 0,13$  mg/L no PNA. Moreira (2019) expôs um aumento nas concentrações encontradas em dois estágios da seca –  $0,01399 \pm 0,00887$  mg/L em outubro e  $0,01051 \pm 0,00097$  mg/L em novembro, cujo desvio padrão é alto em outubro devido à transição das fases do período hidrológico (vazante – seca, respectivamente). Outros estudos num mesmo período de seca indicam que a concentração de Mn em ambientes naturais de águas pretas é baixa: entre 0,008 mg/L (GAILLARDET et al., 1997) e 0,01364 mg/L (LAGES, 2010).

Quanto à fração particulada (SS), o Mn expressou teores elevados nas três regiões. Em PNA, o ponto PNA02.2, situado na margem direita do rio Negro:  $115.545,15 \pm 0,025$  mg/L é um *outlier*, pois afastou-se da concentração média obtida na região:  $1285,12 \pm 2533,19$  mg/kg, cujo desvio padrão alto indica a variabilidade da concentração média de Mn no PNA (ANEXO IV). Moreira (2019) obteve uma concentração média de  $1,378 \pm 0,678$  mg/kg, comentando que as maiores concentrações de Mn em SS observadas durante a seca foram oriundas do material em suspensão do rio Branco: 22,43418 mg/kg.

Quanto a orla de NA, a concentração média de Mn foi  $0,32 \pm 0,40$  mg/L. O desvio padrão indica que a concentração do Mn na orla da cidade muda bruscamente entre os pontos dessa área, cuja maior concentração obtida de  $1,01032 \pm 0,37$  mg/L

foi no ponto NA07 (foz do igarapé Freguesia). Considerando que uma das fontes antrópicas de Mn é pela indústria do aço (LEE, 1999), a concentração obtida faz sentido especialmente na seca, uma vez que há uma grande concentração de embarcações atracadas, flutuantes, até mesmo um posto de abastecimento flutuante somado ao menor volume de água para o período. O box-plot VIII mostra a variação de Mn em SS, seguindo o comportamento observado na fração dissolvida. Destacam-se dois pontos como *outliers* em razão de suas altas concentrações em relação a concentração média em NA: NA07, com concentração de  $186795,62 \pm 0,372$  mg/L e NA11, cuja concentração de  $384371,25 \pm 0,001$  mg/L. Ambas as concentrações se afastam da concentração média obtida na região:  $3191,49 \pm 3922,56$  mg/kg.

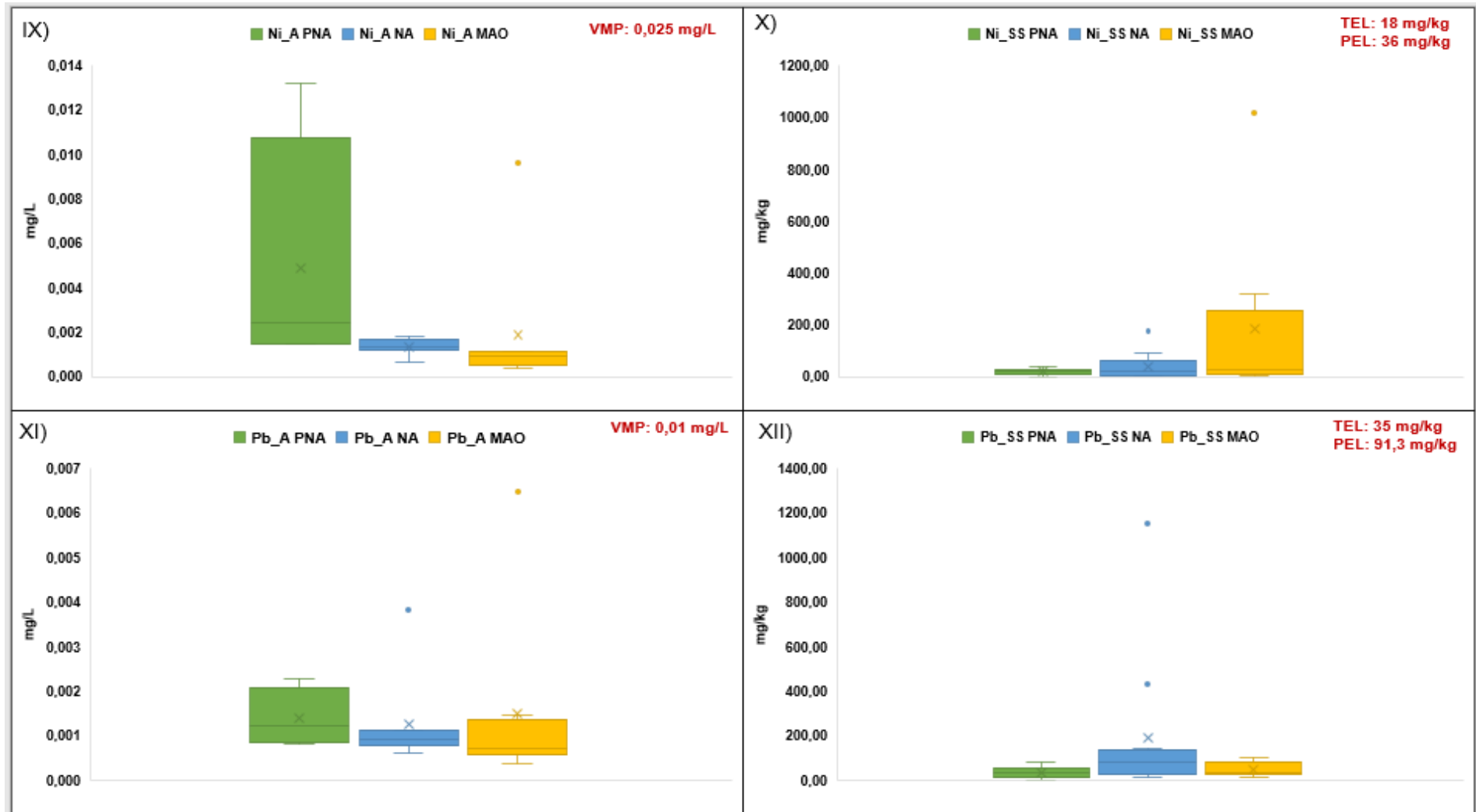
Em MAO, no geral, o box-plot VII demonstra pouca variação de Mn na região, com concentração média de  $0,24 \pm 0,20$  mg/L. Com exceção de MAO1 e MAO4 que mostraram as menores concentrações na orla da cidade ( $0,015 \pm 0,0002$  mg/L e  $0,065 \pm 0,0002$  mg/L, respectivamente), os demais pontos na orla de Manaus apresentaram concentração maiores que 0,1 mg/L, VMP estimado para Mn total pelo CONAMA 357/2005, com destaque na foz do igarapé do Quarenta (MAO6), cuja concentração de  $9,35294 \pm 0,567$  mg/L é a maior em MAO

Em SS, o ponto MAO5 situado no rio Negro próximo à foz do igarapé São Raimundo exibiu a maior concentração de toda a orla:  $1407,89 \pm 0,74$  mg/kg. Provavelmente, sua proximidade com o porto de MAO e, possivelmente, uma contaminação ainda que pontual no período de coleta pode ser a razão dessa concentração. Apesar de não ter VMP previsto no NOAA, estudos voltados no baixo rio Negro demonstram que a concentração de Mn varia significativamente conforme o ciclo hidrológico e o compartimento aquático analisado (SOUSA, 2008; MOREIRA, 2019; SANTANA; BARRONCAS, 2007).

O Ni e o Pb têm características semelhantes, como a preferência pela fração particulada (SS) ao invés da dissolvida. É esperado altas concentrações de Ni (10 mg/L) em regiões de mineração (SOUSA, 2008; CETESB, 2001). As concentrações de Ni e Pb dissolvido estão abaixo do VMP pelo CONAMA, com diferenças entre as concentrações obtidas comparadas a estudos anteriores. A figura 23 exhibe o comportamento do Ni e Pb dissolvido e em SS nas três regiões:



Figura 23: Box-plot do Ni e Pb dissolvido e em SS nas três regiões em novembro de 2019



No box-plot IX, há uma evidente tendência decrescente do Ni dissolvido entre as regiões e todas estão abaixo de 0,025 mg/L, VMP estimado pelo CONAMA 357/2005. Em SS (box-plot X), observa-se uma tendência crescente (PNA < NA < MAO), com concentrações acima de 36 mg/kg, VMP de maior impacto (PEL).

No PNA as maiores variações nas concentrações de Ni dissolvido para o período coletado de  $0,0016 \pm 0,00008$  mg/L a  $0,0132 \pm 0,00066$  mg/L e Moreira (2019) encontrou uma variação de 0,00059 mg/L a 0,0045 mg/L, ambos em novembro. Relativo à fração particulada, o Ni em SS em Anavilhanas (box-plot X) apresentou concentração média de  $19,92 \pm 12,75$  mg/kg, maior que o esperado para a região. Moreira (2019) encontrou uma concentração média de  $0,00049 \pm 0,00061$  mg/kg durante a seca. Entretanto, Gaillardet e colaboradores (1997) determinou concentrações elevadas de Ni em SS no rio Negro: 69 mg/kg (GAILLARDET et. al., 1997).

As baixas concentrações de Ni dissolvido em NA (box-plot IX) pode sugerir que a orla da cidade está se assemelhando ao comportamento esperado no PNA, principalmente na seca (MOREIRA, 2019). O ponto NA06 situado na foz do igarapé Santo Antônio possui a menor concentração de Ni da cidade ( $0,00069 \pm 0,00004$  mg/L), sendo relativamente maior que a concentração média de Ni em toda região de Anavilhanas durante a seca de  $0,00049 \pm 0,61$  mg/L (MOREIRA, 2019). MAO, por outro lado, apesar da baixa variação de suas concentrações médias de Ni dissolvido, exibiu um *outlier* expressivo, no ponto MAO6:  $0,00965 \pm 0,0002$  mg/L. Outros estudos com este metal dissolvido exibiram concentrações maiores que 5 mg/L (DIAS, 2001; SILVA, 2010; LOPES, 2010), mostrando que a quantidade deste metal no rio Negro pode variar em função da vazão hídrica anual, da pluviosidade e, principalmente, à quantidade e composição química do despejo de efluentes no ambiente hídrico.

Quanto ao Ni em SS, o box-plot X mostra *outliers* que se afastaram das concentrações médias em ambas as cidades. Em NA, o ponto NA07 situado na foz do igarapé Freguesia exibiu concentração de  $175,79 \pm 0,00001$  mg/kg e em MAO, a maior concentração foi obtida no ponto MAO6, na foz do igarapé do Educandos:  $1018,63 \pm 0,00026$  mg/kg. Ambos superaram o VMP proposto pelo PEL (maior impacto): Calvo (2018) também encontrou concentração de 591,6 mg/kg num ponto

na bacia do Educandos, indicando que a bacia do Educandos, especialmente sua foz, mostra sinais de contaminação por influência antrópica.

O box-plot XI mostrou que as concentrações de Pb em águas superficiais foram relativamente baixas e nenhuma região esteve em desacordo com VMP previsto em CONAMA de 0,025 mg/L. A região controle (PNA) exibiu uma variação em suas concentrações ( $0,0008 \pm 0,00006$  mg/L a  $0,0023 \pm 0,00022$  mg/L). Estudos anteriores encontraram concentrações médias de Pb de 0,004 mg/L, 0,048 mg/L e 0,160 mg/L para o mesmo período hidrológico, respectivamente (LAGES, 2010; MOREIRA, 2019; KÜCHLER; MIEKELEY; FORSBERG, 2000). Em SS, a concentração média de Pb obtida no PNA durante a seca foi de  $33,26 \pm 25,82$  mg/L, abaixo do VMP de 35 mg/kg previsto pelo TEL, índice de menor impacto. Em seu estudo, Gaillardet e colaboradores (1997) obteve um valor elevado de Pb em SS no rio Negro: 62,8 mg/kg, enquanto Moreira (2019) obteve concentrações médias baixas de Pb de  $0,70170 \pm 0,15170$  mg/kg em outubro e  $0,700 \pm 0,234$  mg/kg em novembro e observou que, em Anavilhanas, os maiores teores de Pb foram encontrados no sedimento de fundo.

A concentração de Pb em NA varia entre 0,00059 mg/L a 0,00382 mg/L, cuja concentração é elevada em relação à média expressa no box-plot XI. Entretanto, estão abaixo do VMP estimado pelo CONAMA 357/2005 (0,01 mg/L). Quanto ao SS, o Pb na região expôs um comportamento anômalo, com teores acima da concentração média de  $67,86 \pm 46,22$  mg/kg. O ponto NA04, situado na foz do igarapé da Tijuca expôs uma concentração elevada de Pb:  $1.155,98 \pm 0,00032$  mg/Kg, o que pode ser explicado pela proximidade de embarcações no entorno, como mostra a figura 24:

Figura 24: Foz do igarapé da Tijuca



Também é possível que o lixo encontrado nas margens do igarapé tenha contribuído para a alta concentração de Pb em SS. A segunda maior concentração de Pb em SS foi encontrada no ponto NA07, na foz do igarapé da Freguesia:  $430,86 \pm 0,00025$  mg/L. Essa medição era esperada neste ponto, principalmente pela existência de postos de abastecimento de combustíveis flutuantes, como mostra a figura 25:

Figura 25: Posto de combustível flutuante no igarapé da Freguesia

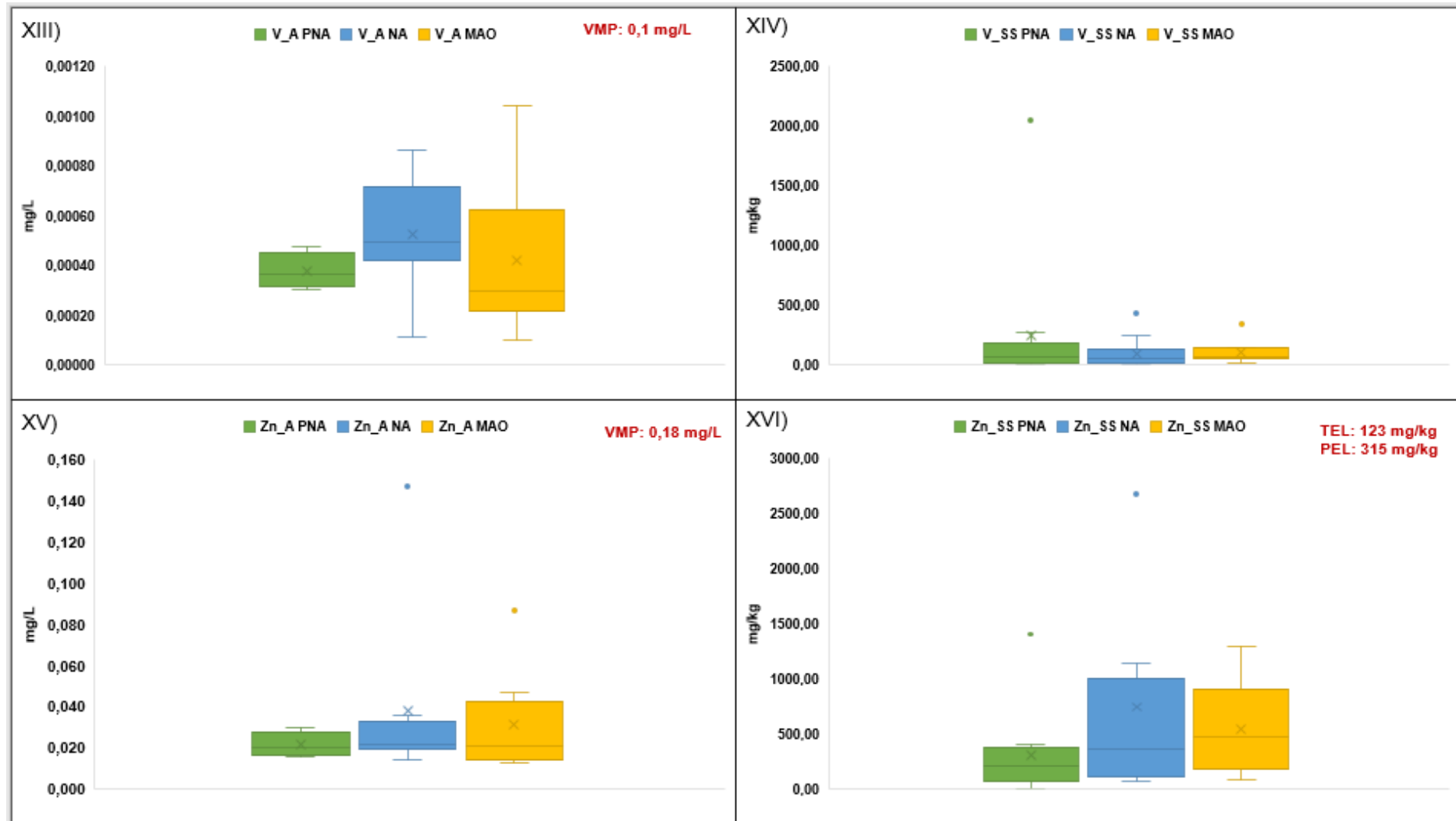


As altas concentrações de Pb em SS nesses dois pontos estão acima do VMP proposto pelo PEL (91,3 mg/kg), sendo este um indicador de alto impacto. É possível que os teores de Pb em SS elevados nestes locais sejam de fontes antrópicas, que podem ser latas de alimentos, gasolina e combustão de carvão (VIANA, 2018). Uma fração insolúvel deste metal pode estar agregado em SS de escoamento por adsorção e absorção (LOPES, 2010).

Quanto a MAO, a concentração média de Pb em SS obtida em MAO durante a seca foi de  $46,36 \pm 30,84$  mg/kg, menor que a concentração média de Pb em SS em NA. Um estudo feito em MAO durante a seca mostrou que os níveis de Pb podem estar acima de 248 mg/Kg (VIANA, 2018). Em termos de amplitude, o teor de Pb variou de 0,00038 mg/L a 0,00649 mg/L obtida no ponto MAO3, situado no rio Negro a jusante da foz do igarapé do Tarumã, revelando um potencial impacto por influência antrópica advindo das marinas próximas a foz dos igarapés na bacia do Tarumã. Dias (2001) determinou em igarapé a maior concentração de Pb: 2,50 mg/L. Por outro lado, outro estudo no igarapé do Educandos obteve concentração de Pb menores que 0,0050 mg/L durante a seca (CALVO, 2018).

O V pode ser reduzido pelo Zn em meio ácido (LEE, 1999) como o rio Negro. O V e Zn dissolvidos encontram-se abaixo do VMP previsto pelo CONAMA 357/2005 (0,1 mg/L e 0,18 mg/L, respectivamente), enquanto em SS, ambos mostraram comportamentos diferentes um do outro. Somente V não apresenta VMP previsto pela legislação NOAA. A figura 26 exibe o conjunto de box-plot referentes aos referidos metais dissolvidos e em SS:

Figura 26: Box-plot de V e Zn dissolvido e em SS nas três regiões em novembro 2019



O box-plot XIII demonstra a variação na concentração de V dissolvido nas três regiões, principalmente em NA e MAO. Em PNA, a concentração média de V obtida neste estudo foi de  $0,000377 \pm 0,0001$  mg/L, relativamente menor que a concentração encontrada em estudo anterior:  $0,00057 \pm 0,10$  mg/L (MOREIRA, 2019). Quanto ao V em SS, a concentração média obtida no PNA é maior que a concentração média obtida por Moreira (2019) durante a seca:  $0,47070 \pm 0,13490$  mg/kg.

Em NA, a concentração de V dissolvido variou ao longo da orla de  $0,00011$  mg/L a  $0,00086$  mg/L, menores que a concentração máxima encontrada no rio Negro por Klücher e colaboradores (2000):  $0,32$  mg/L (KÜCHLER; MIEKELEY; FORSBERG, 2000). Relativo ao V em SS (box-plot XIV), a concentração média em NA foi  $66,45 \pm 74,64$  mg/kg, menor que a região controle. Observa-se um ponto, cuja concentração de V em SS de  $441,49 \pm 0,0438$  mg/kg no ponto NA05 (foz do igarapé Santo Antônio) está acima da concentração média medida na orla da cidade. Provavelmente, o alto teor de V em SS medido nesse local pode ser atribuído à queima dos combustíveis que emite esse elemento (BEZERRA et. al., 2007).

A maior concentração de V em MAO foi obtida na foz do igarapé Tarumã (MAO1):  $0,00104$  mg/L, enquanto a segunda maior concentração de V foi na foz do igarapé do Quarenta (MAO6) com  $0,00067$  mg/L. Os pontos que apresentaram concentrações mais elevadas dentre os 32 pontos de coleta entre as três regiões foram aqueles com presença ou maior relação com zona portuária e presença de embarcações, procedendo com a conhecida origem do V em ambiente aquático sob influência de derivados de petróleo (BEZERRA et. al., 2007). A concentração média de V em SS em MAO foi de  $77,20 \pm 46,23$  mg/kg, exibindo um teor de V em SS acima da concentração média no ponto MAO8, no rio Negro próximo à foz do igarapé do Educandos:  $344,59 \pm 0,0001$  mg/kg. Calvo (2018) quantificou este elemento em pontos no igarapé do Educandos, com concentrações que variavam entre  $12,7 \pm 1,4$  mg/kg a  $34,5 \pm 1,2$  mg/kg durante a seca.

O box-plot XV mostra que as concentrações de Zn dissolvido variaram entre os locais, com a presença de dois prováveis *outliers* por se afastarem das concentrações médias de Zn dissolvido em NA e MAO. A concentração média de Zn dissolvido obtida no PNA  $0,00214 \pm 0,0062$  mg/L, relativamente maior que o teor de Zn dissolvido encontrado por Moreira (2019) no mesmo período analisado ( $0,00603 \pm 1,45$  mg/L).

Estudos em ambientes naturais de águas pretas encontraram concentrações diferentes: 0,004 mg/L (LAGES, 2010) e 2,70 mg/L (KÜCHLER; MIEKELEY; FORSBERG, 2000). Ainda na região controle, a concentração média de Zn em SS obtida foi de  $200,42 \pm 144,72$  mg/kg, maior que o VMP previsto em TEL de 123 mg/kg. Observou-se um *outlier* cujo ponto PNA02.2, situado na margem direita do rio Negro, com concentração elevada:  $1404,82 \pm 0,0004$  mg/kg, concentração que superou o VMP estipulado pelo PEL (maior impacto) de 315 mg/kg.

Em NA, as concentrações de Zn dissolvido variaram entre 0,01421 mg/L a 0,03546 mg/L, também inferiores ao VMP previsto no CONAMA 357/2005. Contudo, a respeito do ponto NA09 (Porto de Novo Airão), cuja concentração de 0,14670 mg/L é preocupante pois se aproxima do VMP, pode ser um indício de que houve contaminação deste metal por atividades antrópicas. Por outro lado, a concentração média de Zn em SS em NA de  $565,17 \pm 766,53$  mg/kg está em desconformidade com VMP estimado pelo PEL, também apresentando um *outlier* situado no ponto NA07, (foz do igarapé da Freguesia):  $2711,49 \pm 0,00064$  mg/kg.

O teor de Zn dissolvido em MAO expôs maior amplitude que as demais áreas: 0,01241 mg/L a 0,04665 mg/L. Destaca-se a tendência crescente observada na região do igarapé do Tarumã-Açu (MAO1: 0,01323 mg/L < MAO2: 0,02517 mg/L < MAO3: 0,04665 mg/L). Em seu estudo no igarapé do Tarumã e seus afluentes, os autores identificaram concentrações variadas: menores que 0,018 mg/L a 0,21 mg/L e ressaltaram que as concentrações mais significativas foram na região do aterro sanitário, localizado dentro da bacia do Matrinxã, um dos afluentes desse igarapé (SANTANA; BARRONCAS, 2007). Posteriormente, o igarapé Tarumã-Açu foi novamente estudado para avaliar os possíveis efeitos da ação antrópica sobre a qualidade do rio Negro. Os autores constataram que as maiores concentrações de Zn dissolvido na região foram maiores na seca e apontou que os teores de Zn podem ter origem dos estaleiros e marinas ali situados (PINTO et. al., 2009).

Em relação à qualidade da água do rio Negro no igarapé do Quarenta (MAO6 a MAO8), a maior concentração de Zn na cidade foi justamente na foz do igarapé do Quarenta (MAO6): 0,08651 mg/L, contrariando a tendência de diminuição no teor de Zn dissolvido no mesmo local observada por Calvo (2018), cuja concentração obtida de 0,0155 mg/L, consideravelmente menor. Estudos anteriormente realizados no



igarapé do Quarenta mostram que a concentração de Zn é relativamente alta ao longo dos anos. Geisser (1999) reportou concentrações máximas de 14,68 mg/L na bacia do Educandos, Sampaio (2000) apresentou um pico de teor de Zn (19,6 mg/L) e Dias (2001) expôs a diminuição da concentração do metal em relação ao anterior: 15,07 mg/L, o que sugere que o igarapé do Quarenta vem sofrendo uma alta influência antrópica. Relativo a Zn em SS, em MAO, somente os pontos MAO4 ( $82,91 \pm 0,00004$  mg/kg), MAO1 ( $182,19 \pm 0,00027$  mg/kg) e MAO7 ( $186,14 \pm 0,0003$  mg/kg) estão abaixo do VMP proposto pelo PEL (315 mg/kg), sugerindo que os demais se encontravam sob influência antrópica no momento da coleta.

Em resumo, ao avaliar a variação das concentrações dos metais em ambas as frações entre os três locais investigados, observou-se uma preferência destes pela fração particulada por adsorção nas três regiões (GUILHERME et. al., 2005), que pode ser atribuída a provável predominância da associação desses metais ao material em suspensão (MES) antes de se acumular no sedimento (LOPES, 2010; MOREIRA, 2019). Os metais em SS exibiram concentrações elevadas, principalmente de Fe e Mn, cujo monitoramento pode ser feito através de bioindicadores como plantas (SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018). Os metais que exibiram uma tendência crescente entre as regiões investigadas foram o Zn dissolvido, Cu em SS e Ni em SS, condizente com os usos desses metais em ligas metálicas e eletrodeposição (LEE, 1999).

Em PNA, após comparar os teores de cada metal dissolvido e em SS em PNA com estudos realizados, notou-se diferença entre os valores obtidos. Os autores atribuem como possíveis fatores para tais diferenças: a hidroquímica diversificada, influência do aporte de MES oriundos do rio Branco (MARINHO, 2019), rio Branco exibiu a maior concentração de V em SS, atribuindo ao aporte desse metal em STS transportado pelo rio Branco, comportamento também observado nos elementos Cr, Cu, Fe e Pb como fator para tal comportamento (MOREIRA, 2019), e a variabilidade que o rio Negro pode sofrer em cada período hidrológico associada a mudanças na pluviosidade anual (MOREIRA, 2019), os quais podem afetar a disponibilidade natural dos metais no ambiente hídrico analisado (SILVA et. al., 2018). O baixo volume de água também pode influenciar disponibilidade desses metais na fração dissolvida e particulada, especialmente o Fe no rio Negro, pois Fe é um elemento abundante no folhelho médio ou rocha sedimentar, com concentração de 47.200 mg/kg (TUREKIAN;

WEDEPOHL, 1961). Porém, não se descarta a possibilidade de influência antrópica na região, uma vez que o PNA tem trânsito de embarcações e, possivelmente, possa haver um descarte inadequado de lixo na superfície do rio Negro constatado na época da coleta, como mostra a figura 27:

Figura 27: Lixo encontrado na superfície do rio Negro em PNA em novembro de 2019



O PNA é conhecido pela exuberância de suas ilhas durante a seca, o que promove o ecoturismo na região. Latas de cerveja ou refrigerante vendidas nos flutuantes da cidade de NA sejam eventualmente descartadas em locais remotos por falta de fiscalização de órgãos competentes, relatado pelo piloto de “voadeira”.

Em NA, a disponibilidade dos metais dissolvidos pode ser afetada pelas características heterogêneas dos corpos hídricos: igarapés com diferentes taxas de vazão hídrica, o maior igarapé da cidade (Freguesia) apresenta posto de gasolina, flutuantes e embarcações que atracam em seu entorno. A presença de carbono orgânico dissolvido (COD) no rio Negro é outro fator a ser considerado, pois os metais tendem a fazer ligação química com esses compostos (FIGUEIREDO et. al., 2009). Quanto aos metais em SS, o comportamento diversificado pode ter relação com a erosividade dos solos no entorno dos igarapés, especialmente no igarapé da Freguesia que, durante a seca, é comum. A pluviosidade encontrada durante a coleta em conjunto com o relevo mais baixo desses igarapés que são diretamente

influenciados pelo ciclo hidrológico (CPRM, 2015; OLIVEIRA JUNIOR; MEDINA, 1990) podem explicar os picos de concentrações previamente discutidos, pois a maior parte liberada é depositada em sedimento (SOUSA, 2008).

Em contrapartida, a variabilidade observada entre os metais dissolvidos e em SS na região pode sugerir que houve contaminação nos corpos hídricos por influência antrópica através de despejo inadequado de efluentes de composição química variada diretamente sobre o rio Negro, cuja decomposição disponibiliza o metal para o ambiente hídrico (PINTO et. al., 2009; SANTOS; JESUS, 2014; SANTANA; BARRONCAS, 2007), uma vez que NA não tem uma estação de tratamento de efluentes. Além disso, NA apresentou teores de Pb elevados em comparação à média encontrada na orla, o que não era esperado, devido às suas fontes antrópicas como indústrias de baterias, fundição primária e secundária, extrativa e petrolífera, assim como a emissão de veículos pela combustão da gasolina, tintas e corantes, cerâmica e indústria bélica (MANZINI; SÁ; PLICAS, 2010), presentes em MAO. NA é um município relativamente pequeno, cujo prospecto de crescimento vem acontecendo ao longo dos anos devido ao turismo ecológico. Neste caso, o Pb pode ser usado na agricultura como fonte de nutrientes no solo (MANZINI; SÁ; PLICAS, 2010) ou proveniente de descarte inadequado de plásticos, pois este metal é utilizado como estabilizador em plásticos (TOWN et. al., 2018). A incineração de lixo urbano emite gases ricos em metais como o Pb (SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018). Este metal é mais retido no sedimento, sendo pouco transportado por águas superficiais ou subterrâneas (LOPES, 2010). Outro metal que precisa de atenção é o vanádio (V), por causa de sua associação com o Pb, sendo encontrado como vanadita ( $PbCl_2 \cdot 3Pb_3(VO_4)_2$ ) em minérios de chumbo e como carnotita em minério de urânio. Seu quimismo é diversificado, porém, uma vez que o número de oxidação aumenta, a propensão de formar íons diminui (LEE, 1999).

No geral, MAO apresentou baixas concentrações dos metais dissolvidos, contudo, a variação de Fe dissolvido aproximou-se do VMP estipulado pelo CONAMA 357/2005. Aparentemente, a disponibilidade dos metais dissolvidos foi afetada pela alteração de pH, com destaque na região de foz do Educandos, que tende a concentrar os despejos de efluentes, pois é uma zona de mistura (VON SPERLING, 2007). Este local expôs altos teores dos metais em relação aos demais, um deles aproximando-se do VMP estipulado em legislação.

Os metais exibiram teores elevados em SS, indicando uma preferência a fração particulada por adsorção (GUILHERME et. al., 2005). Ressaltam-se os teores elevados de Cu, Ni e Zn em SS, pois são condizentes com as atividades antrópicas na região como indústrias. Estudos a respeito de metais em suspensão na orla de MAO preconizam que maiores alterações podem ser percebidas principalmente no período de estiagem (SILVA, 2010), cujo nível de água mais baixo diminui o efeito de diluição dos poluentes, como também diminui o efeito de barramento do rio Solimões sobre o rio Negro (SANTANA; BARRONCAS, 2007; PINTO et. al., 2009; VIANA, 2018; CALVO, 2018).

### 5.3 Estatística Multivariada

As médias e desvios padrão em conjunto com os gráficos box-plot, evidenciaram uma variabilidade entre as três regiões, indicando uma tendência a distribuição não paramétrica. A partir disso, o teste de normalidade é uma ferramenta capaz de confirmar para o pesquisador se os dados apontam uma distribuição normal, popularmente conhecida como distribuição em formato de sino, ou não normal, confirmando a existência de variância entre os grupos, cujo teste de normalidade mais adequado para os três grupos aqui estudados é o de Shapiro-Wilk.

#### 5.3.1 Teste de normalidade de Shapiro-Wilk

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi utilizado com nível de significância de 0,05 a fim de observar se os parâmetros apresentaram distribuição normal ou não, seguindo a estatística anteriormente citada. O teste de normalidade citado foi realizado no software PAST, onde  $p > 0,05$  significa que os dados são normais ( $H_0$  aceita.  $H_1$  rejeitada). Caso os dados apresentem  $p < 0,05$ , os dados não são normais. A tabela 7 mostra o resultado do teste de normalidade dos dados físico-químicos:

Tabela 7: Teste de Shapiro Wilk com nível de significância de 0,05 para as análises físico-químicas durante a seca em 2019.

Valor de p ( $p > 0,05$ : normal)	PNA	NA	MAO
pH	<b>0,00433</b>	0,31750	0,06420
ORP	<b>0,04600</b>	0,77250	0,42480
CE	0,79750	<b>0,05638</b>	<b>0,00001</b>
T	0,43930	<b>0,00635</b>	0,69390
OD	0,51610	<b>0,04435</b>	0,88390
Turb	<b>0,01079</b>	<b>0,00760</b>	0,73560
STS	<b>0,01347</b>	<b>0,00098</b>	0,37070

Fonte: software PAST

A tabela mostra que, para o PNA, somente pH, ORP, turbidez e STS estão distribuídos de forma não paramétrica ao longo da região, refletindo o caráter diversificado encontrado na análise dos parâmetros. Em NA, os parâmetros CE a STS mostraram uma distribuição não normal, indicada pela variação observada nos gráficos box-plot. Somente CE mostrou uma distribuição não normal dos dados em MAO, possivelmente pela alta CE obtida em um dos pontos investigados durante a seca. No geral, PNA e NA tem maiores variações nos parâmetros, se comparados a MAO.

A quantidade de amostras de metais dissolvidos e em suspensão coletadas foram diferentes, conseqüentemente, o teste de Shapiro Wilk foi aplicado separadamente. Os resultados obtidos estão expostos na tabela a seguir:

Tabela 8: Teste de Shapiro Wilk com nível de significância de 0,05 para os metais dissolvidos e em suspensão

Metal dissolvido (20) <sup>1</sup>	PNA_A	NA_A	MAO_A
Cr_A	0.09974	<b>0.001904</b>	0.5638
Cu_A	0.2837	0.6839	0.5316
Fe_A	0.3765	0.06326	<b>0.0372</b>
Mn_A	<b>0.0121</b>	<b>0.01012</b>	<b>4.864E-06</b>
Ni_A	<b>0.02767</b>	0.5307	<b>1.382E-05</b>
Pb_A	0.4353	<b>0.0001016</b>	<b>5.784E-05</b>
V_A	0.6306	0.8304	0.1512
Zn_A	0.785	<b>3.074E-05</b>	<b>0.01357</b>
Metal em SS (32) <sup>2</sup>	PNA_SS	NA_SS	MAO_SS
Cr_SS	<b>0,01576</b>	<b>0,00129</b>	0,39610
Cu_SS	<b>0,00027</b>	<b>0,01419</b>	<b>0,01321</b>
Fe_SS	<b>0,00881</b>	<b>0,00454</b>	0,12130
Mn_SS	<b>0,00230</b>	<b>0,01837</b>	<b>0,00566</b>
Ni_SS	0,42920	<b>0,00236</b>	<b>0,00012</b>
Pb_SS	0,53890	0,05789	0,11050
V_SS	<b>0,00813</b>	<b>0,00214</b>	<b>0,02005</b>
Zn_SS	<b>0,00056</b>	<b>0,00073</b>	0,42090

<sup>1</sup> e <sup>2</sup> simbolizam a quantidade de pontos amostrais analisados. Fonte: Software PAST, 2021.

No geral, os metais na fração suspensa mostraram uma distribuição de não normal, enquanto nos metais dissolvidos, somente Mn e Ni em águas em PNA, Cr, Mn, Ni e Zn dissolvido em NA e Fe a Pb, seguido de Zn dissolvidos em MAO exibiram distribuição não normal. Em razão do objetivo central do estudo, que visa avaliar os indicadores de qualidade da água que podem evidenciar uma diferença de níveis de influência antrópica entre as regiões durante a seca em novembro de 2019, testes de variância foram aplicados em todos os parâmetros, a fim de identificar se há variância significativa entre os dados e quais são os parâmetros que expressam tal variação.

O teste de Kruskal-Wallis é o teste mais indicado para dados não paramétricos, pois sua finalidade é avaliar se há diferença significativa entre as medianas. O teste de Dunn's post hoc é aplicado em conjunto com o teste de Kruskal Wallis e, somente se, a hipótese nula for rejeitada (distribuição normal). Por conseguinte, para examinar o grau de correlação entre os parâmetros estudados, a correlação de Spearman é a mais recomendada.

### 5.3.2 Teste de Kruskal-Wallis e Dunn's post hoc

O teste de Kruskal-Wallis (KW) verifica se há ou não diferença significativa entre as medianas dos grupos analisados, porém, não revela quais grupos tiveram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). O teste de Dunn's Post Hoc (DPH) especifica quais grupos apresentaram diferença significativa. Os dois testes foram feitos no software PAST4 e os resultados obtidos nos testes estão em ANEXO VII.

Os testes foram analisados em pares, ou seja, quando o teste de KW apontou que havia diferença significativa entre as medianas, o teste de DPH exibiu os locais em que houveram diferenças significativas. Assim:

- O teste de KW indicou que o pH tem diferença significativa entre as medianas, enquanto o teste de DPH mostrou que somente MAO se difere significativamente de PNA e NA, confirmado pela variação crescente de pH em direção à MAO observada no gráfico box-plot (figura 1)
- O ORP mostrou diferença significativa entre as medianas. O teste de DPH mostrou que MAO se diferiu significativamente de NA e PNA, confirmando a tendência observada no gráfico box-plot (figura 2).
- Nos metais mostrou que somente Cr, Cu e Ni na fração dissolvida tem diferenças significativas entre as medianas.
- O teste de DPH mostrou que o Cr, Cu e Ni dissolvido em MAO se diferiu significativamente de PNA e NA.
- O teste de KW mostrou que somente o Fe em SS apresentou diferença entre as medianas e o teste de DPH indicou que MAO se diferiu de PNA e NA.

Logo, os testes de Kruskal-Wallis e Dunn's Post Hoc evidenciaram que em MAO, os parâmetros apresentaram diferenças significativas que pode sugerir a existência de diferentes níveis de influência antrópica para a seca em novembro de

2019. A tabela completa com os testes realizados em todos os parâmetros está no Anexo VII.

### 5.3.3 Correlação de Spearman

Após constatar a não normalidade das variáveis estudadas pelo teste estatístico de Shapiro Wilk e os testes de diferença significativa, os dados foram dispostos em uma planilha do Excel e submetidos a uma matriz de autoescalonamento, cujas finalidades são: i) colocar os dados em “termos de variações inerentes ao sistema” (NETO; MOITA, 1997) e ii) permitir a Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Agrupamentos ou HCA. Em seguida, a planilha autoescalada foi submetida ao software PAST4 com a finalidade de elaborar a correlação de Spearman. O quadro contendo os valores de referência para os graus de correlação de Spearman encontram-se a seguir:

Quadro 4: valores de referência para coeficiente de correlação

<b>INTERPRETAÇÃO</b>	<b>COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r e ρ)</b>	
<b>Perfeito</b>	+1	-1
<b>Forte</b>	+ 0,9 a + 0,7	-0,9 a -0,7
<b>Moderado</b>	+ 0,6 a + 0,4	- 0,6 a -0,4
<b>Fraco</b>	+ 0,3 a + 0,1	-0,3 a -0,1
<b>Zero</b>	0	0

Fonte: DANCEY; REIDY, 2006.

A matriz de autoescalonamento elaborada a partir da subtração entre a observação e a média dividido pelo desvio padrão. Em virtude da diferença entre a quantidade de amostras de metais dissolvidos (20 amostras) e em SS (32 amostras), a matriz de correlação de Spearman foi realizada separadamente, onde a primeira expressa o grau de correlação entre as variáveis físico-químicas e metais dissolvidos, exibida na tabela a seguir:

Tabela 9: Matriz de correlação de Spearman para a estação de seca nas três regiões.

	pH	ORP	CE	T	OD	TURB	STS	Cr_A	Cu_A	Fe_A	Mn_A	Ni_A	Pb_A	V_A	Zn_A
pH	1,00														
ORP	<b>-0,82</b>	1,00													
CE	0,37	<b>-0,41</b>	1,00												
T	-0,19	0,18	<b>-0,44</b>	1,00											
OD	0,11	-0,02	0,32	-0,22	1,00										
TURB	0,24	-0,20	0,01	-0,07	-0,15	1,00									
STS	0,28	<b>-0,53</b>	0,37	-0,08	-0,24	0,01	1,00								
Cr_A	<b>-0,72</b>	<b>0,61</b>	-0,28	0,07	-0,27	0,04	-0,33	1,00							
Cu_A	<b>0,82</b>	<b>-0,72</b>	0,12	0,11	0,11	0,13	0,22	<b>-0,74</b>	1,00						
Fe_A	-0,03	0,14	0,17	-0,11	-0,04	0,38	-0,41	0,21	-0,23	1,00					
Mn_A	0,09	-0,11	0,09	-0,44	-0,16	-0,26	0,05	-0,23	0,09	-0,16	1,00				
Ni_A	-0,35	<b>0,51</b>	-0,20	-0,02	-0,31	0,25	-0,32	<b>0,60</b>	-0,50	0,40	0,04	1,00			
Pb_A	-0,30	0,37	-0,32	0,11	<b>-0,64</b>	0,11	-0,34	0,49	-0,20	0,28	0,22	0,59	1,00		
V_A	-0,02	0,28	-0,21	0,28	0,11	0,41	<b>-0,53</b>	0,18	-0,02	0,42	-0,17	0,42	0,08	1,00	
Zn_A	-0,13	0,10	-0,33	0,02	-0,40	0,02	-0,23	0,33	0,04	-0,03	0,47	0,33	<b>0,75</b>	0,07	1,00



A matriz acima apresenta 6 correlações fortes e 8 correlações moderadas. Os parâmetros pH e Cu\_A exibiram uma correlação fortemente positiva, sugerindo que o pH influenciou na disponibilidade do Cu dissolvido nas três regiões, uma vez que as maiores concentrações de Cu dissolvido foram encontradas em corpos hídricos com pH elevado, principalmente em MAO. Outra correlação fortemente positiva foi observada entre o Zn e o Pb dissolvidos, embora as concentrações de Pb em Zn em NA não indiquem uma relação proporcional clara entre eles.

O pH e ORP demonstraram uma correção fortemente negativa, pois conforme a acidez do rio Negro diminuía, ou seja, pH aproximava-se de 7, a disponibilidade de elétrons aumentava (ORP negativo), propiciando reações de redução nas espécies dissolvidas, comportamento notório na foz do igarapé do Educandos (MAO6). O ORP também exibiu uma correlação fortemente negativa com Cu\_A. Nessa situação, a diminuição de ORP disponibiliza elétrons para a água, tornando o Cu um forte agente oxidante. Sua ocorrência ocorre somente em duas formas: forma de complexos ou compostos insolúveis (LEE, 1999).

Relativo às correlações moderadas, o ORP e Cr\_A, seguido de Ni\_A, mostraram uma relação moderadamente positiva. Possivelmente, o teor de Cr dissolvido aumentava conforme o ambiente apresentava boa concentração de OD, uma vez que este é o principal agente oxidante em águas naturais (FIORUCCI; FILHO, 2005). Cr\_A e Ni\_A exibiram uma correlação moderadamente positiva, indicando que estes metais dissolvidos possuíram uma afinidade química um com outro nas três regiões, especialmente em forma de aço de cutelaria, cuja composição química é 20% de Cr e 10% de Ni (LEE, 1999). Entretanto, Pb dissolvido e OD expuseram uma correlação moderadamente negativa, porque o Pb dissolvido na forma de  $Pb^{2+}$  é mais iônico e estável, dificultando a oxidação provocada pelo OD em corpos hídricos.

Após essas observações, foi elaborada uma matriz de correlação de Spearman com os parâmetros físicos e químicos com metais em SS, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 10: Matriz de Spearman dos parâmetros físicos e químicos e metais em SS em novembro de 2019

	pH	ORP	CE	T	OD	TURB	STS	SS_Cr	SS_Cu	SS_Fe	SS_Mn	SS_Ni	SS_Pb	SS_V	SS_Zn
pH	1,00														
ORP	<b>-0,36</b>	1,00													
CE	0,13	<b>-0,49</b>	1,00												
T	-0,31	0,38	<b>-0,58</b>	1,00											
OD	0,23	-0,22	0,21	<b>-0,44</b>	1,00										
TURB	0,24	-0,22	0,32	-0,01	-0,01	1,00									
STS	0,43	-0,28	0,06	-0,26	0,22	0,26	1,00								
SS_Cr	0,07	0,01	0,12	0,21	-0,16	0,23	-0,01	1,00							
SS_Cu	0,12	-0,25	0,23	0,11	-0,09	0,25	0,10	0,88	1,00						
SS_Fe	-0,05	0,03	-0,25	0,24	-0,14	0,29	0,25	0,33	0,18	1,00					
SS_Mn	0,02	-0,14	0,15	-0,08	0,01	0,07	0,05	0,39	0,49	0,30	1,00				
SS_Ni	0,21	-0,15	0,23	-0,02	-0,03	0,18	0,09	<b>0,93</b>	<b>0,89</b>	0,27	0,46	1,00			
SS_Pb	0,17	0,03	-0,04	0,24	-0,01	0,19	0,05	<b>0,79</b>	<b>0,70</b>	0,20	0,32	<b>0,73</b>	1,00		
SS_V	0,27	-0,20	-0,16	-0,05	0,28	0,11	<b>0,45</b>	0,15	0,10	<b>0,75</b>	0,20	0,22	0,12	1,00	
SS_Zn	0,15	-0,21	0,41	-0,20	0,08	0,16	0,12	<b>0,74</b>	<b>0,77</b>	0,07	<b>0,60</b>	<b>0,80</b>	<b>0,62</b>	0,07	1,00

A matriz de Spearman acima foi elaborada com os 32 pontos durante o período hidrológico de seca. O quadro 4 expressa os valores de referência e a interpretação adequada para a matriz de Spearman (DANCEY; REIDY, 2006).

A tabela demonstra 9 correlações fortemente positivas e 2 moderadamente positivas, todos entre os metais em SS, o que indica que os metais estavam adsorvidos aos SS. Somente o V em SS apresentou uma correlação moderada com os STS. As maiores concentrações de V em SS e STS foram encontradas nas três regiões: margem esquerda do PNA, onde a contribuição do MES oriundos do rio Branco é conhecida, NA05, ponto no NA que expôs variações de pH, CE e STS e MAO8, que exibiu o maior valor de V em SS e 2º maior teor de STS da orla. Volume da água nos locais, pluviosidade, tamanho e profundidade são fatores possíveis de explicar as diferenças observadas durante o período de coleta.

Após essas observações, os dados autoescalonados foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA), a fim de classificar em termos de maior variância quais parâmetros apresentam-se como possíveis indicadores de influência antrópica. A mesma matriz de dados autoescalonados também foi submetido à Análise de Agrupamento ou *Cluster*.

#### **5.3.4 Análise de Componentes Principais (PCA)**

A Análise de Componentes Principais (ou *Principal Components Analysis* - PCA) é uma ferramenta de estatística multivariada muito útil para reparar se há possíveis diferenças entre os pontos, especialmente se o objetivo é investigar se parâmetros físico-químicos e determinação de metais potencialmente tóxicos para ambientes hídricos podem ser indicadores de níveis de influência antrópica. Para isso, os dados são plotados em uma planilha no software PAST4.

A análise do PCA será realizada com 20 pontos com todos os parâmetros, por causa da menor quantidade de amostras de metais dissolvidos, com a finalidade de evitar possíveis distorções do software quanto à estatística. Após a análise dos dados, um conjunto de tabelas é gerada, desde quais componentes resumem a taxa de variância dos componentes principais – do maior para o menor em função da matriz de correlação. A PCA dos parâmetros físico-químicos, metais dissolvidos e em SS estão expostos na tabela 14:

Tabela 11: Taxa de variância dos parâmetros estudados

<b>PC</b>	<b>Autovalor</b>	<b>%variância</b>
<b>1</b>	<b>5,66</b>	<b>24,593</b>
<b>2</b>	<b>3,86</b>	<b>16,813</b>
<b>3</b>	<b>2,84</b>	<b>12,382</b>
<b>4</b>	<b>2,16</b>	<b>9,40</b>
<b>5</b>	<b>1,69</b>	<b>7,36</b>
<b>6</b>	<b>1,48</b>	<b>6,46</b>
7	1,27	5,54
8	0,90	3,93
9	0,75	3,26
10	0,65	2,85
11	0,47	2,07
12	0,40	1,74
13	0,29	1,26
14	0,26	1,17
15	0,14	0,64
16	0,06	0,29
17	0,02	0,09
18	0,02	0,07
19	0,01	0,04

Fonte: software Past4, 2021.

A tabela demonstra os autovalores gerados a partir da matriz de autoescalamento dos parâmetros investigados. A variância acumulada é representada pela soma das seis componentes principais e representam, sozinhas, 77,008%. O software gera uma tabela de “loading” ou cargas cujos CP exercem maior influência sobre as amostras nas três regiões. As cargas dos 6 CP que somados geram a maior variância acumulada nas três regiões está exposta na tabela a seguir:

Tabela 12: Cargas dos componentes principais responsáveis pela taxa de variância acumulada nas três regiões em novembro de 2019

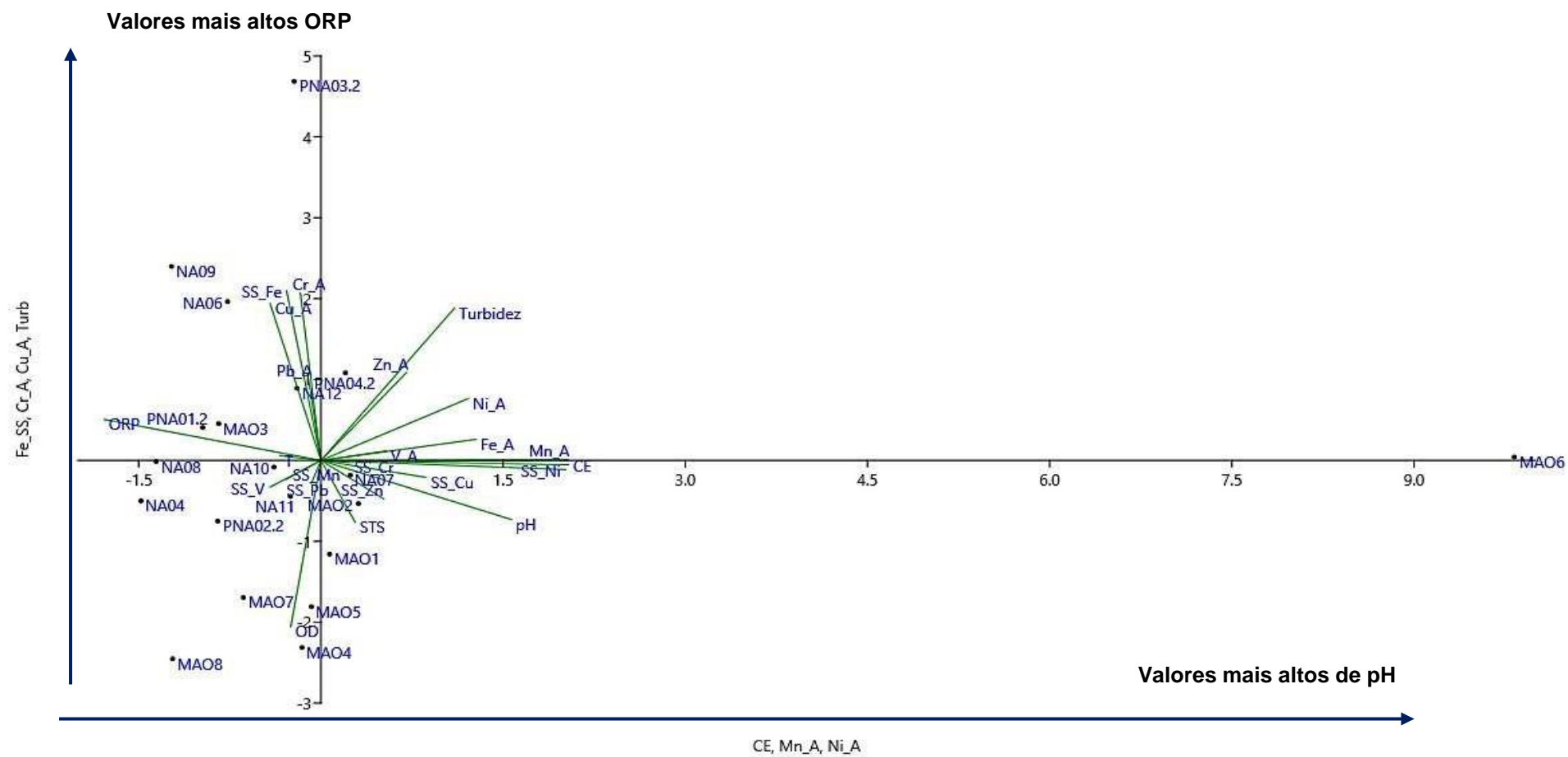
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6
pH	0,31	-0,13	-0,15	-0,05	0,13	0,06
ORP	-0,36	0,17	0,10	-0,04	-0,13	-0,09
CE	<b>0,41</b>	-0,04	-0,01	-0,01	-0,03	0,03
T	-0,07	-0,13	0,01	-0,38	-0,23	0,21
OD	-0,05	0,17	-0,41	-0,11	0,17	0,14
Turb	0,22	0,00	<b>0,38</b>	-0,10	0,28	0,03
STS	0,06	-0,33	-0,15	0,26	0,15	0,13
Cr_A	-0,03	0,02	<b>0,41</b>	0,00	0,01	-0,16
Cu_A	-0,08	0,27	<b>0,39</b>	-0,06	0,13	0,17
Fe_A	0,26	0,11	0,05	-0,17	0,09	-0,48
Mn_A	<b>0,41</b>	-0,02	0,00	0,02	-0,08	0,08
Ni_A	0,24	-0,02	0,15	-0,16	-0,01	-0,16
Pb_A	-0,02	-0,14	0,20	0,10	-0,56	0,05
V_A	0,11	0,27	0,02	-0,43	0,09	0,14
Zn_A	0,14	-0,12	0,22	0,23	-0,34	<b>0,32</b>
SS_Cr	0,05	<b>0,41</b>	-0,01	0,17	-0,03	0,20
SS_Cu	0,17	0,34	-0,04	0,14	-0,17	0,25
SS_Fe	-0,06	-0,02	<b>0,42</b>	0,22	<b>0,38</b>	0,17
SS_Mn	-0,02	0,32	-0,06	<b>0,34</b>	0,00	-0,26
SS_Ni	<b>0,40</b>	0,04	-0,02	0,04	-0,05	0,08
SS_Pb	-0,06	0,25	-0,05	-0,30	-0,03	<b>0,36</b>
SS_V	-0,08	-0,15	-0,07	0,21	<b>0,36</b>	<b>0,34</b>
SS_Zn	0,10	<b>0,38</b>	-0,09	<b>0,35</b>	-0,05	-0,11

Fonte: software PAST4.

A tabela mostra que, dentre os componentes principais, a maior parte deles não exerceu muita influência sobre as amostras, exceto: CE, Mn\_A e Ni em SS (CP1), Cr em SS seguido de Zn em SS (CP2), Fe em SS, Cr\_A, Cu\_A e turbidez (CP3), Zn e Mn em SS (CP4), V e Fe em SS (CP5) e Pb e V em SS, seguido de Zn\_A (CP6).

Os CP1 e CP3 apresentam os parâmetros com as maiores cargas, conseqüentemente, estes parâmetros exerceram maior influência nas amostras nas três regiões e são esses os CP que irão compor o gráfico de PCA, como mostra a figura a seguir:

Figura 28: Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros físico-químicos nas três áreas estudadas em novembro 2019.



Fonte: software PAST4.exe.

Dentre os CP que constituem os eixos do gráfico, a turbidez, CE e pH são os parâmetros que mais exerceram influência nas amostras das três regiões, coincidindo com os resultados discutidos no gráfico box-plot, enquanto o OD foi o parâmetro com a menor influência. Destaca-se o MAO6, pois apresentou valores altos de pH, turbidez, CE e ORP e está mais afastado do gráfico, o que justifica sua associação a esses parâmetros.

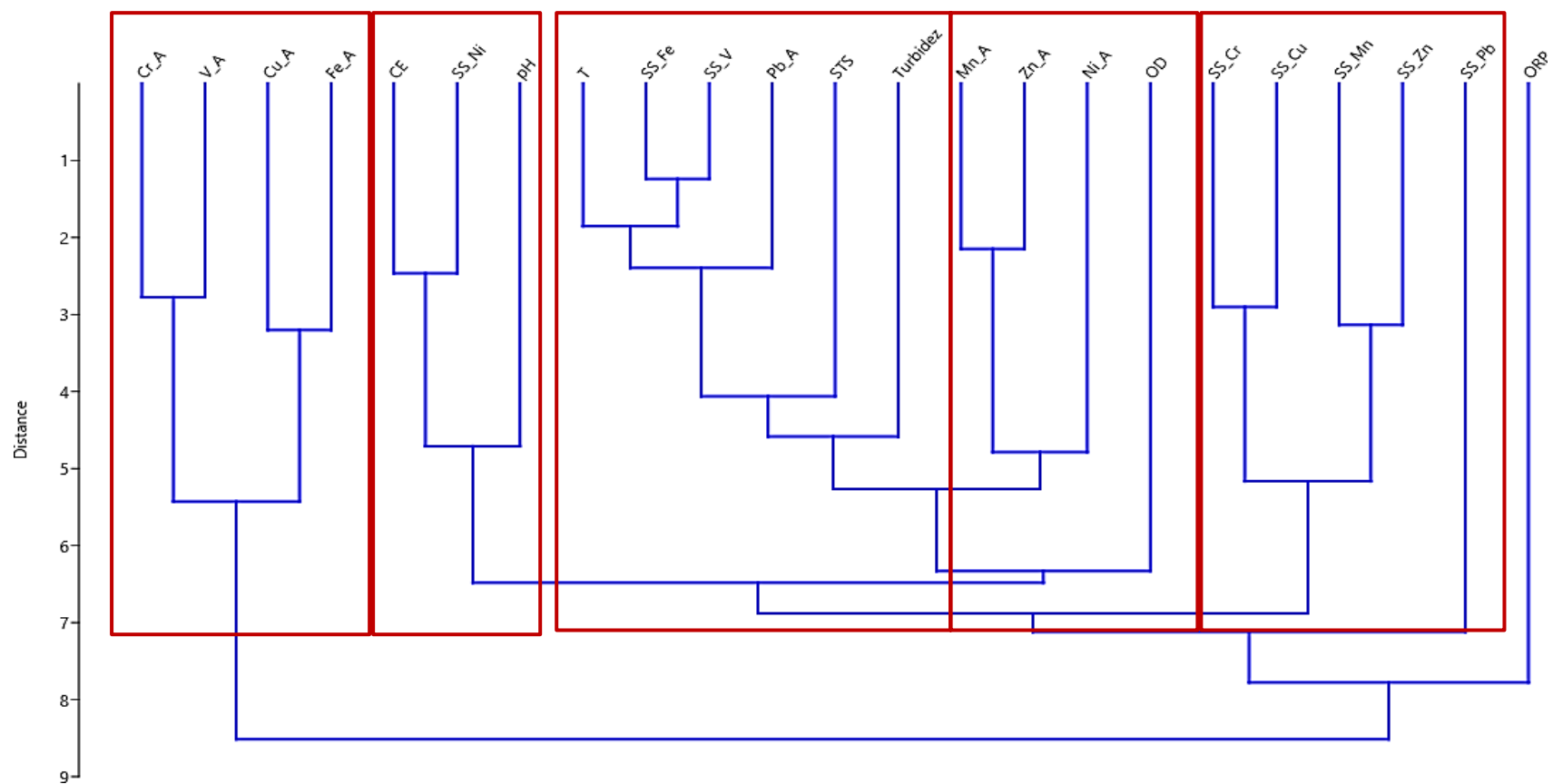
O ponto PNA03.1 está mais associado ao CP2, pois neste ponto exibiu alterações elevadas quanto aos parâmetros Fe\_SS, Cr\_A, Cu\_A e turbidez. No geral, percebe-se que os metais na fração dissolvida exerceram menor influência na variação das amostras comparados aos metais em SS, pois os metais estavam adsorvidos ao MES carregados ao longo do rio Negro no período de coleta analisado. Os demais pontos de NA e MAO variaram sob relativa influência dos parâmetros da CP2.

Observa-se o seguinte cenário: quanto mais próximo a distribuição estiver do eixo CP2, principalmente na parte superior esquerda, maior o grau de associação dos dados com ele. Do mesmo modo, quanto mais dados estão situados na parte inferior do eixo CP1, maior grau de associação com CP1. Os metais em ambos os compartimentos exibiram níveis de influência antrópica em termos pontuais, insinuando que o impacto causado pelas atividades antrópicas nas regiões do baixo rio Negro ocorreu de modo isolado.

### **5.3.5 Análise de Agrupamento Hierárquico ou Cluster (HCA)**

A técnica é baseada na similaridade entre as amostras ou observações de uma determinada população e a premissa da técnica é: quanto mais semelhanças as amostras têm entre si, menor será a distância entre os pontos, agrupando-os. Tal agrupamento gera um dendrograma (NETO; MOITA, 1998). A medida de distância mais empregada entre elas é a distância euclidiana, de preferência quando as variáveis da pesquisa são quantitativas. A similaridade entre as variáveis comparadas é maior quando a distância euclidiana se aproxima cada vez mais de zero (SEIDEL et. al., 2008). Elaborou-se o HCA com as 20 amostras tal como foi feito para o PCA, cujo gráfico dos *clusters* das áreas estudadas está exposto na figura 30:

Figura 29: Dendograma com os parâmetros nas três áreas em novembro de 2019.





A interpretação adequada desse *cluster* é feita de baixo para cima, onde a linha acima da distância relativa de 8 começa a formação de 3 grandes subgrupos. Após o corte na distância relativa 7, é possível observar a formação de 5 subgrupos. ORP apresentou a maior distância euclidiana, condizente com a discussão dos gráficos box-plot e as diferenças quanto aos tipos de ambientes estudados. O OD, agente oxidante essencial em corpos hídricos, foi agrupado com Mn, Zn e Ni dissolvidos, o que sugere que os metais foram oxidados pelo OD. O pH, Ni em SS e CE estão agrupados num mesmo *cluster* em razão de sua relação observada no PCA (figura 28).

Os parâmetros que apresentaram as menores distâncias euclidianas foram o Fe e V em SS, ou seja, ambos apresentam associação entre si, confirmada pela matriz de correlação de Spearman (tabela 10). Quimicamente, o V pode ser encontrado em minerais como vanadita que possuem Fe em sua constituição (LEE, 1999), o que pode justificar a relação entre os metais citados. A turbidez e o STS têm diferentes distâncias euclidianas, indicando que tais parâmetros exibiram uma fraca relação entre eles.

#### **5.4 Síntese do capítulo**

O capítulo explorou os dados, analisando-os sob uma perspectiva comparativa com os VMP previstos pelos órgãos reguladores e resultados obtidos em estudos ambientais sobre a qualidade de água no período de seca, principalmente quando não tinha VMP estimado pela legislação. Posteriormente, procedeu-se com os testes de normalidade, variância e técnicas multivariadas (ACP e HCA), que identificaram quais parâmetros evidenciaram alguma diferença entre os locais estudados durante o período de seca.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As três regiões apresentaram as seguintes características ambientais no período de seca em novembro de 2019:

Os parâmetros físicos e químicos mostraram medições dentro do esperado especialmente em PNA. Os teores de Cr em SS apresentaram-se acima do VMP previsto em PEL, cujo indicador de maior impacto causa preocupação, uma vez que a UC deveria apresentar valores abaixo desse limite. É preciso que mais coletas sejam feitas na região em diferentes períodos hidrológicos para entender o cenário em que PNA se encontra, uma vez que a sazonalidade do rio Negro e a hidroquímica diversificada da região pode influenciar nos parâmetros aqui investigados. Quanto às cidades, NA, no geral, se assemelhou ao PNA durante a seca, exibindo alterações pontuais em alguns parâmetros como pH, CE, OD, turbidez, Cr e Zn em SS. Destaca-se o Pb em SS, que exibiu concentrações elevadas, o que preocupa, já que estudos voltados para a região são ausentes. MAO se diferenciou das demais áreas em virtude das alterações de pH, ORP, CE: pH:  $6,69 \pm 0,01$ , ORP:  $-72,44 \pm 1,32$  e CE:  $409,56 \pm 1,24$   $\mu\text{S/cm}$ , respectivamente. Os metais que apresentaram tendência crescente entre as regiões foram o Cu e Ni em SS, evidenciando uma diferença entre os níveis de influência antrópica: PNA < NA < MAO.

É crucial que os indicadores qualidade da água aqui investigados sejam amplamente estudados na região do baixo rio Negro abrangendo as três regiões (PNA, NA e MAO) e em períodos hidrológicos diferentes, sobretudo pelo ciclo hidrológico em toda a bacia amazônica apresentar diferenças em sua limnologia entre um ano e outro. Os dados obtidos neste estudo e sua avaliação estatística poderão servir como background para avaliar diferentes ambientes amazônicos sob diferentes cenários de influência antrópica, propiciando o devido diagnóstico ambiental.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, J. C. **Manganês no Brasil: descoberta, extração, consumo e comercialização numa perspectiva histórica.** Química Nova. V. 42. N. 10. 2019. P. 1172-1183.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil); COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional** de coleta de preservação de amostras: **água**, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011. Disponível em <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>> Acesso em 04 julho 2021.
- APHA, A. W. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22. ed. Washington DC: American Public Health Association, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Panorama do enquadramento de corpos d'água. Caderno de Recursos Hídricos do Brasil. p. 1689-1699. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <[http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA\\_DO\\_ENQUADRAMENTO.pdf](http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DO_ENQUADRAMENTO.pdf)> Acesso em: 23/07/2020.
- ALVES, N. S.; SANTOS, F. M. M. S. **Análise das ações antropogênicas nas bacias hidrográficas urbanas no município de Manaus-AM, um estudo de caso na microbacia hidrográfica do Bindá.** 2011. p. 1-38.
- ARAÚJO, M. I.; SOUSA, S. G. A.; SANTIAGO, S. M. **A biodiversidade amazônica no Arquipélago de Anavilhanas.** Saberes internacionais/Alternativos. Ambientalmente Sustentável. Vol. 2. Núm. 20. P. 1719-1737. 2015.
- BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental.** Trad. Marco Tadeu Grassi. Rev. Técnica: Marco Tadeu Grassi. 4 ed. Porto Alegre. Bookman, 2011.
- BRASIL, M. (MINISTÉRIO DA S. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. 1. ed. Brasília: FUNASA, 2014. v. 1 ed.
- BEZERRA, M. A. [et. al.]. Determinação de vanádio em derivados de petróleo usando GF AAS após estabilização das amostras como microemulsões. In: 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. V. 2. 2007.
- BITTENCOURT, M. M.; AMADIO, S. A. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. **Acta Amazônia.** v. 37. n. 2. 2007. P. 303-308.
- BRASIL, M. (MINISTÉRIO DO M. A.). **Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.** BRASIL, 2005.
- BRAGA, B. [et. al.] **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRAGA, B.; [et.al]. **Química, a ciência central.** Trad. Robson Matos. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- Bruno, V.R.M. 2000. **Especiação de cobre e chumbo em águas naturais: efeito do material particulado e da matéria orgânica dissolvida.** Tese de Doutorado. Unicamp, Campinas/SP, 210p.
- CALVO, Bruno Del Rio. **Avaliação da influência antrópica na drenagem do igarapé do quarenta e orla de Manaus.** Dissertação. Universidade Federal do Amazonas. 31 de agosto de 2018.

- CLETO, S. E. N.; WALKER, I. **Efeitos da ocupação urbana sobre a macrofauna de invertebrados aquáticos de um igarapé da cidade de Manaus/AM - Amazônia Central**. Acta Amazonica, v. 31, n. 1, p. 69–89, 2001.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Apêndice E Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. In: **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. [s.l: s.n.]. p. 57. 2001.
- CONNEL, D. W.; MILLER, G. J. **Chemistry and Ecotoxicology of Pollution**. John Willey & Sons, 444 p.
- CPRM. (COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS). **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas de Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa**. Julho, 2015.
- DAMASCENO, J. A. **Análise da gestão dos poços públicos da zona urbana em Novo Airão**. In: Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2018, 2018, Manaus. Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2018, 2018.
- DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia**. 3. ed. Porto Alegre: ABDR, 2006.
- DARWICH, A. J.; APRILE, F. M.; ROBERTSON, B. A. **Variáveis limnológicas: contribuição ao estudo espaço-temporal de águas pretas amazônicas**. In: Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central Manaus, 2005.
- DIAS, C.M. **Estudo físico-químico da água de três igarapés da região do Distrito Industrial de Manaus-AM**. Dissertação (mestrado em química de produtos naturais). Universidade do Amazonas (UA). Manaus, 2001
- DORIA FILHO, U. **Introdução à bioestatística para simples mortais**. Editora Negeo. 7ª tiragem. 1997.
- ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FERNANDES, V. R. **Impactos socioambientais causados pelas enchentes excepcionais do rio Negro em Manaus-AM ocorridas entre 1950 a 2015**. Dissertação. Universidade Federal do Amazonas. 2016.
- FERREIRA, A.G.O. **Avaliação ambiental de sedimentos de fundo da sub-bacia do igarapé Educandos (Manaus – AM) usando uma técnica de extração sequencial**. Dissertação (mestrado em Química). Universidade Federal do Amazonas, UFAM. Manaus, 2012.
- FIGUEIREDO, R. O. [et. al.]. **Influência do carbono orgânico dissolvido na sensibilidade ao cobre em peixes amazônicos**. XVIII Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq/FAPEAM/INPA. Manaus, 2009. P. 800-803.
- FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; BOAVENTURA, G. **Fluxo de sedimentos em suspensão na Amazônia - uma análise a partir da base de dados da ANEEL**. Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River Basins. Manaus. 1999.
- FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; **Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia**. In. Revista Brasileira de Geociências. 2011. V. 41. P. 566-576.
- FIORUCCI, A. R.; FILHO, E. B. **A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos**. Química Nova na Escola. N. 22. Novembro, 2005.
- FONSECA, O. J. M.; SALEM, J. I.; GUARIM, V. L. **Poluição e autopurificação do Rio Negro nas cercanias de Manaus**. Scielo. Acta Amazônia. Vol. 2. No. 12. ISSN 0044-5976. Junho, 1982.
- FORTES, F. C. A. [et. al.]. **Impacto ambiental versus Ação Antrópica: um estudo de caso no igarapé Grande – Barreirinha em Boa Vista, RR**. VI Congresso

- Brasileiro de Gestão Ambiental. Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 23 a 26 novembro 2015.
- FRANCINELLI, E. LATRUBESSE, E. **Rio negro: características gerais e da sedimentação quaternária**. VIII Simpósio de Geologia da Amazônia. 2003. P. 443-445.
- FURTADO, C. M.; LOPES, M. R. M. **Influência do pulso de inundação sobre variáveis limnológicas de um trecho urbano do rio Acre, Rio Branco, Acre, Brasil**. *Ambiência Guarapuava (PR)* v.11 n.1. p. 133 - 148 Jan./Abr. 2015 ISSN 1808 - 0251. DOI:10.5935/ambiencia.2015.01.08.
- GAILLARDET, J. et al. **Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin**. *Chemical Geology*, v. 142, n. 3-4, p. 141-173, out. 1997.
- GEISSLER, R.M.O. **Geoquímica Ambiental aplicada à Bacia do Igarapé do Quarenta**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, UFAM. Manaus, 1999. 127p.
- GIBBS, R. J. **The geochemistry of the Amazon river system; part I, The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids**. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 78, n. 10, p. 1203-1232, 1967.
- GIRARD, J. **Princípios de Química Ambiental**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- GUILHERME, L. R. G. [et al]. **Elementos-Traço Em Solos E Sistemas Aquáticos**. In: *Revista Brasileira de Geomorfologia*. Viçosa: [s.n.]. v. 27p. 345-390. 2005.
- HIBAM. **Relatório da Campanha Solimões-Amazonas Nov-Dez/2001**. Programa Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica. Convênio CNPq/IRD, Acordo de Cooperação Técnica Brasil/França. 2001.
- JARDIM, W. F. **Medição e interpretação de valores de potencial redox (Eh) em matrizes ambientais**. *Quim. Nova*, Vol. 37, No. 7, 1233-1235, 2014.
- JUNIOR, B. S. G. **Caracterização do processo de poluição das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Jucu, estado do Espírito Santo, Brasil**. Artigo. ISSN 1982-8470. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Roraima. Agro@ambiente on-line. V. 9 n. 3, p. 2335-242. Boa Vista, RR: 2015.
- KÜCHLER, I. L.; MIEKELEY, N.; FOSBERG, B. R. **A Contribution to the Chemical Characterization of Rivers in the Rio Negro Basin, Brazil**. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. v. 11. 2000. p. 286-292.
- LAGES, A. S.; SILVA, M. S. R.; PINTO, A. **Avaliação da pressão poluidora sobre a hidroquímica do Rio Negro, orla de Manaus**. XVI Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq/FAPEAM/INPA. Manaus, 2007.
- LAGES, A. DA S. **Geoquímica da água preta de rios do município de Apuí, Amazonas**. [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 2010.
- LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão concisa**. trad. 5ª ed. inglesa. São Paulo: Blücher, 1999.
- LEENHEER, J. A.; SANTOS, U. DE M. **Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do no Negro (Amazônia Central)**. *Acta Amazonica*, v. 10, n. 2, p. 343-355, 1980.
- LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Introdução à química da água: Ciência, vida e sobrevivência**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- LEWIS, R. J. [Edictor] **Sax's Dangerous properties of industrial materials**. 9 ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1996. Vol I, II e III. 1996.
- LOPES, F. W. A.; JUNIOR, A. F. M. **Condições naturais de pH em águas superficiais e sua interferencia sobre o Índice de Qualidade da Água (IQA): estudo de caso da bacia do Ribeirão de Carrancas – MG**. VIII Simpósio Nacional

- de Geomorfologia. p. 1-17. 2008. Disponível em <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/8/1/33.pdf>>. Acesso em: 24/07/2020.
- LOPES, A. P. **Estudo de hidrocarbonetos e metais em sedimentos de fundo do rio Negro na orla urbana de Manaus**. UFAM. Dissertação. 2010.
- LOPES, Y. K. L. [et. al.]. Variabilidade hidrogeoquímica em águas do Estuário Amazônico. *Ambiência Guarapuara*. v. 13. n. 2. 2017. p. 325-341.
- MACIEL F.B. **Assentamentos precários: o caso de Manaus. Caracterização e Tipologia de Assentamentos Precários: estudos de caso brasileiros**. Instituto de Pesquisa Economica e Aplicada-IPEA. Brasília, 2016. p249-306.
- MAGALHÃES, A. F. R.; JERONIMO, C. M. **As águas do Rio Negro**. Artigo. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 1-8. 2002.
- MANZINI, F. F.; SÁ, K. B.; PLICAS, L. M. A. **Metais pesados: fonte e ação toxicológica**. *Fórum ambiental da alta paulista*. vol. 6. Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista - ANAP. 2010. p. 800-815.
- MARINHO, R.R.; FILIZOLA Junior, N.P; CREMON, É.H. **Analysis of Suspended Sediment in the Anavilhanas Archipelago, Rio Negro, Amazon Basin**. *Water* 2020, 12, 1073. doi: 10.3390/w12041073.
- MARINHO, R. R. **Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo do fluxo de água e matéria no Arquipélago de Anavilhanas, Rio Negro – Amazonas, Brasil**. Tese. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 2019. 176p.
- MARINHO, R. R.; JUNIOR, Naziano Pantoja Fizioli; CARDENAS, Elisa Natalia Armijos. **Variabilidade hidrológica no arquipélago de Anavilhanas observada por sensoriamento remoto orbital**. Artigo. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Vol. 6. 2017. 6p.
- MARINHO, R. R. [et. al.]. **O projeto hidrogeos-negro no arquipélago de Anavilhanas, Novo Airão (AM): resultados iniciais**. *Revista Geonorte*. ISSN 2237 – 1419. V. 10. N. 34. p. 153-167. 2019.
- MARINHO, R. R. [et. al.]. **Analysis of Suspended Sediment in the Anavilhanas Archipelago, Rio Negro, Amazon Basin**. *Water*. v. 12. Disponível em <[www.mdpi.com/journal/water](http://www.mdpi.com/journal/water)> acesso em 09 abril 2020. p. 1-20.
- MARQUES L. M. L; BERBER J; CARVALHO M. R. **Resíduos e águas em uma bacia hidrográfica urbana. Estudo de caso: bacia de São Raimundo, Manaus/AM – Brasil**. VIII Seminário Ibero-americano. Instituto Superior Técnico - IST. Lisboa, 2008.
- MELO, S. F. S. **Gestão de recursos hídricos no estado do Amazonas: o caso da bacia do Tarumã Açu**. Dissertação. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 17 outubro 2017.
- MELO, E. G. F.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F. **Influência antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus – Amazonas**. *Revista brasileira de geografia*, CAMINHOS DE GEOGRAFIA - revista on line, v. 16, ed. 5, p. 40-47, 18 set. 2005.
- MERTEN, G. H; MINELLA, J. P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura**. *Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent. Porto Alegre*, v.3, n.4, out/dez 2002.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986. Seção 1. Pág. 2548-2549**. Publicada no DOU em 17 fevereiro de 1986. Disponível em <[http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_1986\\_001.pdf](http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf)> Acesso em 15 março 2020.

MOREIRA, Wagner Picanço. **Variação espaço temporal dos parâmetros físicos e químicos e do fluxo de elementos traço como indicadores basais no arquipélago fluvial de Anavilhanas – AM.** Dissertação. Universidade Federal do Amazonas. 28 junho 2019.

MOQUET, J.B. [et. al.]. Amazon River dissolved load: temporal dynamics and annual budget from the Andes to the ocean. **Environmental Science and Pollution Research.** Springer, 2015. DOI: 10.1007/s11356-015-5503-6. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/283207203\\_Amazon\\_River\\_dissolved\\_load\\_temporal\\_dynamics\\_and\\_annual\\_budget\\_from\\_the\\_Andes\\_to\\_the\\_ocean/link/5a070647aca272ed279e4de7/download](https://www.researchgate.net/publication/283207203_Amazon_River_dissolved_load_temporal_dynamics_and_annual_budget_from_the_Andes_to_the_ocean/link/5a070647aca272ed279e4de7/download)> acesso em: 01 jun. 2021.

MUNTZ, W. R. A. **A penetração de luz nas águas de rios amazônicos.** Acta Amaz. vol.8 no.4 Manaus Dec. 1978.

NAGASHIMA, L. A.; SÁ, A. R.; GARCIA, S. M.; **Determinação dos metais nas águas do ribeirão caxangá, nova esperança, estado do Paraná.** Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 1-6. 2010.

NASS, D. P. **O conceito de poluição.** Revista Eletrônica de Ciências. N. 13. novembro de 2002. Disponível em <<http://files.professora-mirtes.webnode.com/200000113-738c57486a/O%20conceito%20de%20polui%C3%A7%C3%A3o.pdf>> Acesso em 28 março 2020.

NETO, J. M. M.; MOITA, G. C. **Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados.** Química Nova. 1998. 21 (4). p. 467-469.

NETO, O. G. Z.; PINO, J. C. D. **Trabalhando a química dos sabões e detergentes.** Material. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. V. 15. 2011. 72 p.

NIENCHESKI, L. F.; WINDOM, H. L.; SMITH, R. **Distribution of particulate trace metal in Patos Lagoon estuary (Brazil).** Marine Pollution Bulletin, v. 28, n. 2, p. 96–102, 1994.

NOZAKI, C. T.; [et. al.]. **Comportamento temporal de oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos.** Atas de Saúde Ambiental. ISSN: 2357-7614. v. 2. p. 29-44. 2014.

NUNES DE MELLO, J. A.; BARROS, W. G. **Enchentes e vazantes no rio Negro medidas no porto de Manaus, Amazonas, Brasil.** Acta Amazônia. v. 31. ed. 2. p. 331-337. 2001.

O'NEILL, P. **Environmental chemistry.** 2<sup>nd</sup> Ed. London: Chapman & Hall, 1993. 246 p.

OLIVEIRA FILHA, M. F. de; PAIVA, J. Z. S; BENTES, D. S. **Pescadores artesanais e os conflitos socioambientais em Novo Airão.** V Seminário Internacional em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. v. 5. Manaus. UFAM. Agosto de 2018.

OLIVEIRA FILHO, P. C.; DUTRA, A. M.; CERUTI, F. C. **Qualidade das Águas Superficiais e o Uso da Terra: Estudo de Caso Pontual em Bacia Hidrográfica do Oeste do Paraná.** In: Floresta e Ambiente. V. 19. N. 1. 2012. ISSN: 2179-8087.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; MEDINA, B. F. **A erosividade das chuvas em Manaus.** Revista Brasil Ci. Solos. V. 14. P. 235-239. 1990.

OREGA, R. C. **Remoção de nitrogênio do esgoto sanitário pelo processo de lodo ativado por batelada.** Universidade Estadual de Campinas. Dissertação. 1995.

PINTO, M. C. F. **Medição *in loco*: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido.** CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Maio, 2007. 51 páginas.

- PINTO, A. G. N. [et al]. **Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM**. Acta Amazonica, v. 39, n. 3, p. 627–638, set. 2009.
- PIVELI, R. P.; KATO, R. P. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005.
- QUEIROZ, M. S.; ALVES, N. S. **Análise Morfotemporal do Arquipélago Fluvial de Anavilhanas – Amazonas**. XVII Simposio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Geografia Física e as Mudanças Globais. Universidade Federal do Ceará. ISBN: 978-85-7282-778-2. Fortaleza. Junho, 2019.
- REBOUÇAS, A. C.; BENEDITO BRAGA, J.; TUNDISI, G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006.
- REDE RIO NEGRO. **Bacia do rio Negro: uma visão socioambiental**. Publicação. 2015.
- RODRIGUES, D. O.; SILVA, S. L. R.; SILVA; M. S. R. **Avaliação ecotoxicológica preliminar das águas das bacias hidrográficas dos rios Tarumã, São Raimundo e Educandos**. Acta Amazônica. Vol. 39. 2009. p. 935-942.
- RODRIGUES, F. M. G. **Pesca em Novo Airão (AM) e suas territorialidades em conflito**. In: Associação dos Geógrafos Brasileiros. 2010. Porto Alegre – RS. **Anais XVI Encontro Nacional de Geógrafos**. 2010. p. 1-11. Disponível em: <[http://docs.fct.unesp.br/docentes/geo/bernardo/BIBLIOGRAFIA DISCIPLINAS GRADUACAO/GEOGRAFIA RURAL 2016/GRUPO N1/ENG\\_2010\\_010.PDF](http://docs.fct.unesp.br/docentes/geo/bernardo/BIBLIOGRAFIA_DISCIPLINAS_GRADUACAO/GEOGRAFIA_RURAL_2016/GRUPO_N1/ENG_2010_010.PDF)> Acesso em 1 dez. 2020.
- RODRIGUES-ZUNINGA, U. F. [et. al.] Influência dos Solos Podzólicos no ciclo geoquímico das substâncias húmicas aquáticas do Rio Negro-AM. Artigo em Anal. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio Grande do Sul. Gramado, 2007. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/30561/1/Proci07.00044.pdf>> acesso em 01 jun. 2021.
- SABESP, (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO). Norma Técnica Interna SABESP NTS 013 – Sólidos, Métodos de Ensaio. 1. ed. São Paulo: NORMA TÉCNICA INTERNA SABESP - NTS, 1999.
- SAMPAIO A.Q. **Caracterização Física e Química dos sedimentos n área do distrito industrial de Manaus-AM**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, UFAM. Manaus, 2000. 120p.
- SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S. R. **Estudo dos metais pesados na bacia do rio Tarumã**. Acta Amazônica. Vol. 37. 2007. P. 111-118.
- SANTOS, L. T. S. O.; JESUS, T. B. **Caracterização de metais pesados das águas superficiais da bacia do Rio Subaé (Bahia)**. Geochimica Brasiliensis. V. 28. N. 2. 2014. P. P. 137-148. DOI: 10.5327/Z0102-9800201400020003
- SANTOS, U. DE M. et al. **Rios da Bacia Amazônica. Afluentes do Rio Negro**. Acta Amazonica, v. 14, n. 1–2, p. 222–237, 1984.
- SANTOS, H. C. R. G. **A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso rio Almada, Sul da Bahia, Brasil**. Artigo. REDE - Revista Eletrônica do Prodema, v.8, n.1, p. 26-45, abr. 2014, Fortaleza, Brasil, ISSN: 1982-5528
- SARGENTINI JUNIOR, E; [et al]. **Substâncias húmicas aquáticas: fracionamento molecular e caracterização de rearranjos internos após complexação com íons metálicos**. Revista Química Nova, Vol 24, No. 3, 339-344, 2001.
- Secretaria de estado de infraestrutura. Programa Social e Ambiental dos igarapés de Manaus (PROSAMIM). **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)**. Julho, 2004.



- SARMENTO, F. S. **O Médio Rio Negro Indígena: Aspectos Históricos socioculturais e Panorama Antropológico Contemporâneo**. Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- SEIDEL, E. J. [et. al.]. **Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite**. Ciência e natureza. UFSM. 2008. P. 7-15.
- SILVA, G. R. O. [et. al.]. **Avaliação físico-química e quantificação de metais potencialmente tóxicos em águas superficiais do rio Jauru**. Revista Internacional de Ciências. Rio de Janeiro, v. 08. n. 02. 2018. P. 268-280. DOI: 10.12957/ric.2018.34864
- SILVA, J. A. **Aplicação de indicadores ambientais para o Cálculo do IQA (Índice de Qualidade da Água) em zona urbana de Manaus**. UFAM. Dissertação. 2016.
- SILVA, M. S. R. **Bacia hidrográfica do rio Amazonas: contribuição para o enquadramento e preservação**. UFAM. Tese. 2013.
- SILVA, E. P.; **Acúmulo e carreamento de metais pesados e sólidos em superfícies asfálticas**. UFG. Dissertação. 2014.
- SILVA, I. N. [et. al.] **Qualidade da água na irrigação**. In: Agropecuária científica no semi-árido. v.07. n 03. 2011. P. 01-15. ISSN 1808-6845.
- SILVA, L. M. **Estudo da correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da Região Amazônica**. Universidade Federal do Amazonas. Dissertação. 2012.
- SILVA M.B. **Análise dos níveis de metais potencialmente tóxicos e análise microbiológica nas águas da bacia do Educandos (Manaus - AM)**. Dissertação. Universidade Estadual do Amazonas, UEA. Manaus, 2010. 58p.
- SILVA, R. F. [et. al.]. **Hidrogeoquímica das águas subterrâneas da área urbana da cidade de Novo Airão**. In: XVIII Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq/Fapeam/INPA. Manaus, 2009. P. 612-615. SIOLI, H.; KLINGE, H. Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**, p. 27-41, 1962.
- SIOLI, H. Studies in Amazonian Waters. In: LENT, H. (Ed.). **Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Pesquisas, 1967. p. 9-50.
- SIOLI, H. **Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Petrópolis: Vozes, 1985.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico do Serviço de águas pluviais**. Publicado em 05 dezembro 2019. Atualizado em 13 março 2020. Disponível em < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-aguas-pluviais/diagnostico-do-servico-de-aguas-pluviais-2018>> Acesso em 13 março 2020.
- SKOOG, D. A. [et. al.]. **Fundamentos de Química Analítica**. trad. Robson Mendes Matos. 9 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.
- SOUZA, P. K. N; OLIVEIRA, T. C. S.; **Avaliação de indicadores de qualidade da água sob diferentes níveis de influência antrópica entre as cidades de Novo Airão e Manaus**. In: I Congresso Online Nacional de Química Analítica e Ambiental, I edição, 2020, Macaé, RJ. Anais Eletrônicos. Macaé, RJ: Editora Congresse-me Ltda, 2020. Disponível em: < [https://congresso-me/eventos/conquiamb/artigos/6761/pdf\\_view.pdf](https://congresso-me/eventos/conquiamb/artigos/6761/pdf_view.pdf) > Acesso: 15 fev 2021.
- SOUZA, G. R. **Avaliação da poluição por microplásticos nas águas do Igarapé do mindu, no ambiente urbano de Manaus**. Dissertação. Sustentabilidade da Amazônia. UFAM. 2020. 212 p.

- SOUZA FILHO, E. A. [et. al.]. **Estudo comparativo de aspectos físico-químicos entre águas da microbacia do mindu e igarapés sob influência antrópica na cidade de Manaus-AM. Artigo.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 1, p. 2419-2433, jan. 2020.
- SOUZA FILHO, E. A. **Estudo comparativo de aspectos físico-químicos entre águas da microbacia do mindu e igarapés sob influência antrópica na cidade de Manaus-AM.** Dissertação. UEA, 2018.
- SOUZA, A. K. R.; MORASSUTI, C. Y.; DEUS, W. B. **Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores.** Acta Biomédica Brasiliensia. Vol. 9. N. 3 dezembro 2018. p. 95-106.
- SOUZA, A. [et. al.] **Similaridade da qualidade das águas superficiais da bacia do Rio Negro, MS.** Ciência e Natura, Santa Maria, v. 35 n. 2 dez. 2013, p. 176-189 177.
- SOUZA, J. R. [et. al.] **Química Ambiental.** Trad. Sonia Midori Yamamoto. Rev. Téc. Reinaldo C. Bazito e Renato S. Freire. 2ª Ed. São Paulo: Pearce Prentice Hall, 2009.
- SOUZA, A. K. F. DE. **Variação sazonal e espacial da concentração de elementos-traço nos rios Urucu, Solimões e Negro - Amazônia Ocidental, Brasil.** [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 22 ago. 2008.
- SODRÉ, F. F. **Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle.** Artigos Temáticos do AQQUA, 2012. p. 9-16. Disponível em: <<http://www.aqqua.unb.br/images/Artigos/Tematicos/difusa.pdf>> acesso em 17 agosto 2020.
- TERRA, V. R; [et. al.] **Estudo limnológico visando avaliação da qualidade das águas do rio Jucu Braço Norte, ES.** Natureza online. 2010. p. 8-13.
- TESTE DE SHAPIRO-WILK. PORTAL ACTION, 1997. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/inferencia/64-teste-de-shapiro-wilk>>. Acesso em: 22 jan. 2021.
- TOWN, R. M. [et. al.] **Biochemodynamic Features of Metal Ions Bound by Micro- and Nano-Plastics in Aquatic Media.** In: Frontiers in Chemistry. 2018. doi: 10.3389/fchem.2018.00627.
- TORREZANI, L. **Avaliação da contaminação antrópica por metais no sedimento de fundo na bacia do igarapé do Educandos – Manaus/Amazonas.** Dissertação. UFAM. 2016. 66 p.
- TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções.** Artigo. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a02.pdf>> Acesso em 16 fev. 2020. Estudos avançados 22. 2008.
- TUREKIAN, K. K., WEDEPOHL, D. H. **Distribution of the elements in some major units of the earth's crust.** Bulletin Geological Society of America, 72, 175–192, 1961.
- VASCONCELOS, M. G. **Avaliação integrada da qualidade da água do rio uberabinha - mg com base na caracterização química dos sedimentos e de espécimes da ictiofauna.** Tese. Universidade Federal de Uberlândia. 2012.
- VASCONCELOS, E. A.; MIRANDA, S. A. F.; SILVA, M. S. R. **Hidroquímica da água captada pela estação de tratamento de Ponta das Lajes Manaus AM.** Anal. V Congresso de iniciação científica. INPA. 2016. ISSN: 21789665.
- VIANA, M. C. **Estudo de contaminantes em água, sólidos totais suspensos e sedimentos de igarapés na zona urbana de Manaus-Amazonas.** Dissertação. Universidade Federal do Amazonas. 2018.
- VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática.** Monografia. UFSM, 2005.
- VILLA NOVA, N. A.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Estimativa da evapotranspiração na bacia Amazônica.** Acta Amazônia. v. 6 n. 2. 1976. p. 215-228.

- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Departamento de Engenharia Sanitária. UFMG. 2007.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Reimpressão ed. Belo Horizonte: 2005.
- WETZEL, R. G. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.
- YAMAMOTO, K. C. **Efeitos do aumento da complexidade ambiental sobre as assembléias de peixes em lagos do Parque Nacional de Anavilhanas, rio Negro (Amazonas – Brasil)**. [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 2011.
- YOURIFUJI, B. **O fantástico mundo dos elementos**. Trad. Cayo Candido. São Paulo. Conrad, 2013.
- ZAGATTO, Pedro A.; BERTOLETTI, Eduardo. **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. 2 ed. São Carlos: Rima, 2008.
- ZIEDEMANN, V.K. O Rio das Águas Negras. “O rio das águas negras”. In: Alexandre Adalardo de Oliveira e Douglas Daly. Florestas do Rio Negro. Companhia da Letras; Universidade Paulista; The New York Botanical Garden, pp. 61-87. Disponível em: <<http://ecologia.ib.usp.br/guiaigapo/images/livro/RioNegro02.pdf>> acesso em 20 março 2020.

**ANEXO I**  
**MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS E STS**  
**EM NOVEMBRO DE 2019.**

Pontos	pH	ORP (mV)	CE (µS/cm)	Temp. (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)	STS (mg/L)
<b>PNA01.1</b>	4,35±0,02	301,25±0,49	14,7±0,00	31,5±0,00	4,97±0,67	10,53±0,43	3,93±0,09
<b>PNA01.2</b>	4,47±0,00	279,75±1,02	15,3±0,00	31,5±0,00	4,87±1,47	10,57±0,70	4,27±1,51
<b>PNA01.3</b>	4,5±0,01	315±0,00	16,1±0,00	31,75±0,00	4,26±1,11	12,67±1,03	2,00±0,75
<b>PNA02.1</b>	4,418±0,02	308,22±0,25	14,2±0,00	30,9±0,00	5,68±0,67	10,50±1,86	1,77±5,42
<b>PNA02.2</b>	4,532±0,05	318,5±1,90	15,3±0,00	30,9±0,00	5,07±1,29	10,76±0,58	15,94±1,65
<b>PNA02.3</b>	4,532±0,13	311,76±0,64	13,8±0,00	30,4±0,00	5,27±1,61	13,73±0,30	8,28±0,47
<b>PNA03.1</b>	4,5±0,01	253,64±2,67	11,9±0,04	31,2±0,00	6,18±1,03	16,87±0,13	23,16±0,00
<b>PNA03.2</b>	5,22±5,36	241,62±1,45	13±0,00	31,1±0,00	3,25±1,48	22,9±0,30	5,28±1,02
<b>PNA03.3</b>	5,364±0,01	233,16±1,05	13,2±0,00	31,1±0,00	6,49±1,51	11,3±0,38	8,28±0,24
<b>PNA04.1</b>	4,63±0,01	300,75±2,04	14,5±0,00	31,4±0,00	4,87±0,64	21,2±1,36	4,20±0,28
<b>PNA04.2</b>	4,66±0,02	300,55±1,05	11,85±0,09	31,4±0,00	5,07±0,49	15,83±0,17	3,40±1,41
<b>PNA04.3</b>	5,53±0,20	252,05±4,74	13,20±0,00	31,4±0,00	4,77±0,49	32,1±0,47	7,8±1,41
<b>NA01</b>	4,67±0,06	289,72±1,38	10,6±0,00	31,4±0,00	ND	7,26±0,08	7,40±9,52
<b>NA02</b>	4,78±0,02	291,48±0,75	10,7±0,00	31,6±0,00	ND	14,63±0,35	10,87±4,62
<b>NA03</b>	4,57±0,01	325,32±0,36	9,4±0,00	31,6±0,00	ND	12±0,34	2,47±1,04
<b>NA04</b>	4,74±0,02	311,2±0,20	10,3±0,00	31,4±0,00	6,28±2,97	11,63±0,21	2,07±3,30
<b>NA05</b>	5,31±0,03	238,8±1,33	41,96±0,00	31±0,00	8,31±1,76	45,23±0,26	19,40±4,05
<b>NA06</b>	4,67±0,02	238,8±2,54	13,48±0,00	31,5±0,00	5,58±0,67	26,17±0,26	7,07±1,51
<b>NA07</b>	4,64±0,00	320,48±0,11	10,98±0,04	31,3±0,00	5,58±0,37	9,9±0,22	0,27±0,19
<b>NA08</b>	4,08±0,02	325,2±1,77	14,48±0,00	32,1±0,00	5,88±1,33	11,13±0,41	0,8±0,00
<b>NA09</b>	4,42±0,01	308,22±9,68	14,2±0,00	30,9±0,00	4,77±1,51	12,67±0,08	12,2±1,60
<b>NA10</b>	4,79±0,02	295,86±0,25	14,5±0,00	29,9±0,00	5,68±0,67	11,6±1,86	1,78±5,42
<b>NA11</b>	4,79±0,01	295,86±0,94	14,5±0,00	29,9±0,00	5,88±1,33	12,97±0,10	2,20±1,23
<b>NA12</b>	4,92±0,01	274,34±0,21	14,84±0,09	30,2±0,00	5,68±0,67	16,83±0,54	1,13±0,66
<b>MAO1</b>	5,81±0,02	272,48±5,63	17,16±0,04	31,98±0,04	5,78±0,85	13,33±0,13	6,53±1,32
<b>MAO2</b>	5,07±0,23	254,34±0,54	10,28±0,07	31,7±0,04	4,46±0,18	14,87±0,10	6,67±0,19
<b>MAO3</b>	5,08±0,01	273,16±1,42	9,6±0,00	31,6±0,04	4,76±0,67	10,80±0,09	2,6±1,98
<b>MAO4</b>	5,66±0,01	137,38±0,66	19,98±0,04	30,90±0,00	5,98±2,87	12,43±0,05	17,6±6,79
<b>MAO5</b>	5,62±0,01	168,02±1,17	17,08±0,08	30,8±0,00	6,28±3,42	11,03±0,13	3,87±0,38
<b>MAO6</b>	6,692±0,01	(-)72,44±1,32	409,56±1,24	30,78±0,00	5,07±1,21	25,5±0,08	9,97±1,58
<b>MAO7</b>	5,10±0,07	236,66±2,09	39,7±0,58	31±0,00	5,37±1,76	9,52±0,05	10,27±5,28
<b>MAO8</b>	4,99±0,04	229,26±1,20	12,32±0,05	31,2±0,00	5,67±2,31	ND	11,27±1,04

ND – Não determinado

**ANEXO II: ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS EM NOVEMBRO DE 2019**

PNA	pH	ORP (mV)	CE (µS/cm)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)	STS (mg/L)
<b>N</b>	12	12	12	12	12	12	12
<b>Min</b>	4,35	233,16	11,85	30,40	3,25	10,50	1,78
<b>Max</b>	5,53	318,50	16,10	31,75	6,49	32,10	23,17
<b>Soma</b>	56,70	3416,25	167,05	374,55	60,75	188,96	88,33
<b>Média</b>	<b>4,73</b>	<b>284,69</b>	<b>13,92</b>	<b>31,21</b>	<b>5,06</b>	<b>15,75</b>	<b>7,36</b>
<b>Variância</b>	0,12	9,00	0,39	0,10	0,24	1,93	1,82
<b>DP</b>	<b>0,16</b>	<b>972,38</b>	<b>1,80</b>	<b>0,13</b>	<b>0,71</b>	<b>44,48</b>	<b>39,69</b>
<b>Mediana</b>	0,40	31,18	1,34	0,36	0,84	6,67	6,30
<b>CV%</b>	<b>8,53</b>	<b>10,95</b>	<b>9,65</b>	<b>1,16</b>	<b>16,64</b>	<b>42,36</b>	<b>85,59</b>
NA	pH	ORP	CE	T	OD	Turbidez	STS
<b>N</b>	12	12	12	12	12	12	12
<b>Min</b>	4,08	238,80	9,40	29,90	0,00	7,26	0,27
<b>Max</b>	5,31	325,32	41,96	32,10	8,31	45,23	19,40
<b>Soma</b>	56,41	3515,28	179,94	372,80	53,64	192,02	67,66
<b>Média</b>	<b>4,70</b>	<b>292,94</b>	<b>15,00</b>	<b>31,07</b>	<b>4,47</b>	<b>16,00</b>	<b>5,64</b>
<b>Variância</b>	0,08	877,48	76,19	0,51	7,95	106,58	35,18
<b>DP</b>	<b>0,29</b>	<b>29,62</b>	<b>8,73</b>	<b>0,71</b>	<b>2,82</b>	<b>10,32</b>	<b>5,93</b>
<b>Mediana</b>	4,72	295,86	13,84	31,35	5,63	12,34	2,34
<b>CV%</b>	<b>6,18</b>	<b>10,11</b>	<b>58,21</b>	<b>2,30</b>	<b>63,07</b>	<b>64,52</b>	<b>105,20</b>
MAO	pH	ORP	CE	T	OD	Turbidez	STS
<b>N</b>	8	8	8	8	8	8	8
<b>Min</b>	4,99	-72,44	9,60	30,78	4,46	0,00	2,60
<b>Max</b>	6,69	273,16	409,56	31,98	6,29	25,50	17,60
<b>Soma</b>	44,02	1498,86	535,68	249,96	43,39	97,49	68,78
<b>Média</b>	<b>5,50</b>	<b>187,36</b>	<b>66,96</b>	<b>31,25</b>	<b>5,42</b>	<b>12,19</b>	<b>8,60</b>
<b>Variância</b>	0,33	13378,22	19254,48	0,21	0,39	49,24	22,74
<b>DP</b>	<b>0,58</b>	<b>115,66</b>	<b>138,76</b>	<b>0,46</b>	<b>0,63</b>	<b>7,02</b>	<b>4,77</b>
<b>Mediana</b>	5,36	232,96	17,12	31,10	5,53	11,73	8,32
<b>CV%</b>	<b>10,49</b>	<b>61,73</b>	<b>207,23</b>	<b>1,47</b>	<b>11,56</b>	<b>57,58</b>	<b>55,47</b>

### ANEXO III: MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO DOS METAIS DISSOLVIDOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NAS TRÊS REGIÕES DURANTE A SECA

Metais dissolvidos em mg/L	Cr_A	Cu_A	Fe_A	Mn_A	Ni_A	Pb_A	V_A	Zn_A
<b>PNA01.2</b>	[54,9±1,6]e-4	[330±4]e-5	[265,5±1,25]e-3	[509±2,2]e-4	[160±5]e-5	[23±2,2]e-4	[40±8]e-5	[2250±4]e-5
<b>PNA02.2</b>	[1,74±1,7]e-4	[21±7]e-4	[22730±3]e-5	[3210±1]e-5	[150±8]e-5	[80±6]e-5	[3±1,4]e-4	[153±1]e-4
<b>PNA03.2</b>	[173,5±5,8]e-4	[71±4,6]e-4	[20,22±10,75]e-2	[25,5±1,32]e-3	[32±2,1]e-4	[15±1,3]e-4	[40±8]e-5	[296±8,2]e-4
<b>PNA04.2</b>	[1,47±2,1]e-4	[35±1,6]e-4	[269,1±11,01]e-3	[292,7±11,63]e-3	[132±6,6]e-4	[9±2,8]e-4	[50±6]e-5	[183±8,7]e-4
<b>NA04</b>	[1,4±2]e-5	[7,2±1,08]e-3	[123,4±16,83]e-3	[26,50±3,73]e-3	[18,2±1]e-4	[7,5±3,2]e-4	[8,6±2,5]e-4	[205,6±4,8]e-4
<b>NA06</b>	[183±5]e-5	[74±1,5]e-4	[1424±9,7]e-4	[1419±9]e-5	[69±4]e-5	[5,9±2,4]e-4	[66±8]e-5	[18,9±1,08]e-3
<b>NA07</b>	[52,6±2]e-4	[63±2,6]e-4	[106,8±2,8]e-3	[1010,32±37,26]e-3	[179±6]e-5	[11,3±1,5]e-4	[74±1]e-5	[3546±8]e-5
<b>NA08</b>	[26,9±1,8]e-4	[55±2,5]e-4	[289,3±4,56]e-3	[264,3±3,5]e-4	[141±2]e-5	[10,9±1,8]e-4	[43±9]e-5	[250±1,8]e-4
<b>NA09</b>	[18,9±1,3]e-4	[63±1,3]e-4	[1360±8]e-5	[845,37±8,1]e-3	[144±8]e-5	[38,2±3,9]e-4	[11±1]e-5	[146,7±3,8]e-4
<b>NA10</b>	[14,7±3,2]e-4	[6,2±1,74]e-3	[28,85±1,34]e-2	[415,61±19,07]e-3	[119±8]e-5	[8,2±3,3]e-4	[55±2]e-5	[21,7±2,65]e-3
<b>NA11</b>	[170±8]e-5	[52±2,9]e-4	[286,8±3,37]e-3	[1121,4±1,2]e-4	[1,19±10]e-3	[9,0±1,7]e-4	[4,3±1]e-4	[212,1±6,5]e-4
<b>NA12</b>	[128±9]e-5	[830±3]e-5	[296,3±1,09]e-3	[3628±6]e-5	[127±4]e-5	[0,95±20]e-3	[4,2±1]e-4	[1421±7]e-5
<b>MA01</b>	[7,1±1,7]e-4	[295±7]e-5	[260,6±2,45]e-3	[152,3±1,8]e-4	[117±2]e-5	[70±8]e-5	[104±5]e-5	[1323±8]e+5
<b>MA02</b>	[6±1,6]e-4	[18,7±4,4]e-4	[175,3±27,98]e-3	[326,02±52,16]e-3	[11,3±4]e-5	[10,2±2,7]e-4	[4,8±1,5]e-4	[25,17±1,08]e-3
<b>MA03</b>	[80±8]e-5	[30,7±1,6]e-4	[160,9±1,09]e-3	[1084,9±6,3]e-4	[106±2]e-5	[0,649±30]e-3	[31±3]e-5	[466,5±1,8]e-4
<b>MA04</b>	[42±8]e-5	[202±9]e-5	[747±3,5]e-4	[657,8±2,4]e-4	[45±4]e-5	[3,8±2,4]e-4	[10±2]e-5	[1241±5]e-5
<b>MA05</b>	[6,4±1,5]e-4	[25,3±1,1]e-4	[1421±7,3]e-4	[377,16±2,13]e-3	[0,72±10]e-3	[7,5±3]e-4	[29±5]e-5	[311,2±2]e-4
<b>MA06</b>	[8,1±2,7]e-4	[26,7±3,9]e-4	[45,96±50,99]e-2	[9352,94±567,71]e-3	[9,65±20]e-3	[14,7±1]e-4	[67±7]e-5	[86,51±1,48]e-3
<b>MA07</b>	[57±6]e-5	[149±5]e-5	[849±5,9]e-4	[595,40±3,13]e-3	[36±7]e-5	[0,69±2]e-3	[2,6±1]e-4	[1627±1]e-5
<b>MA08</b>	[84±3]e-5	[172±1]e-5	[1423±8,5]e-4	[2027,8±8,1]e-4	[78±4]e-5	[53±2]e-5	[21±4]e-5	[1675±4]e-5

## ANEXO IV: MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO DOS METAIS EM SÓLIDOS SUSPENSOS (SS) NAS TRÊS REGIÕES DURANTE A SECA

Metais em SS em mg/kg	Cr_SS	Cu_SS	Fe_SS	Mn_SS	Ni_SS	Pb_SS	V_SS	Zn_SS
<b>PNA01.1</b>	175,31±47e-4	30,56±1,7e-4	42657,26±100,81e-3	402,88±9,3e-4	25,62±8-e5	32,83±1,1e-5	76,33±1,5e-4	220,97±4e-5
<b>PNA01.2</b>	1,55±1,8-4	0,27±3e-5	227,67±2,53e-3	75,58±8,7e-4	0,18±9e-5	0,24±2,2e-4	0,54±5e-5	3,4±7e-6
<b>PNA01.3</b>	437,76±1,5e-4	139,95±6e-5	56649,75±1,93e-3	252,76±9e-5	40,58±8e-5	81,82±1,2e-4	0,15±4e-5	405,73±6e-6
<b>PNA02.1</b>	123,12±2e-5	12,65±1,5e-4	21064,37±9,7e-4	392,58±5e-5	18,64±2e-5	17,69±3,1e-4	271,80±9e-5	123,26±1,3e-3
<b>PNA02.2</b>	91,36±1,8e-4	19,29±5e-5	20878,93±2,74e-3	115545,16±25,08-e-3	25,25±8e-5	34,53±5,6e-4	55,83±8e-5	1404,82±4e-3
<b>PNA02.3</b>	3,75±1,6e-4	0,36±1,1e-4	545,56±3,92e-3	4,13±1,2e-4	0,38±5e-5	0,65±3,2e-4	0,80±8e-5	5,88±1e-3
<b>PNA03.1</b>	139,77±3,8e-4	40,71±1e-5	29296,67±2,60e-2	3476,10±3,27e-3	25,35±7e-5	26,16±6,4e-4	2046,19±8e-6	341,91±3e-5
<b>PNA03.2</b>	20,11±3,1e-4	15,05±1,2e-4	10107,83±56,16e-3	399,65±2,08e-3	5,07±7e-5	10,81±1,2e-4	78,75±8e-5	57,13±4e-4
<b>PNA03.3</b>	125,78±1e-4	22,64±4e-5	43544,01±13,56e-3	8331,97±2,28e-3	22,36±6e-5	41,13±3e-4	176,07±2e-5	380,63±2,2e-4
<b>PNA04.1</b>	138,65±5e-5	20,45±9e-5	22615,97±5,42e-3	125,17±2e-5	14,03±6e-5	27,23±1,9e-4	47,99±1,1e-3	300,12±1e-4
<b>PNA04.2</b>	134,87±1,2e-5	23,91±5e-5	35670,82±37,76e-3	191,61±2,1e-4	30,02±1,2e-4	71,89±3,9e-4	55,70±1,5e-4	163,16±0,00
<b>PNA04.3</b>	190,36±4,9e-4	34,09±2,1e-4	56369,56±135,28e-3	483,90±1,14e-3	31,53±1,2e-4	54,10±5,2e-4	186,06±2,6e-4	202,37±5,5e-4
<b>NA1</b>	45,34±1,2e-4	14,86±7e-5	2186,38±3,9e-4	4766,85±2,06e-3	6,94±5e-4	13,61±1,2e-3	13,07±3e-4	90,67±6e-5
<b>NA2</b>	107,02±9e-4	24,07±6e-5	21220,56±19,39e-3	150,46±1,3e-4	12,55±1,1e-3	44,71±2,5e-3	146,01±8e-4	183,58±6e-5
<b>NA3</b>	205,52±4e-4	52,17±1,5e-4	25360,57±30,28e-3	5713,60±7,03e-3	23,28±7e-4	93,87±1,4e-3	40,65±5e-4	411,46±2,3e-5
<b>NA4</b>	55,79±1,3e-4	11,54±7e-5	5059,4±6,33e-3	24,06±3e-5	6,90±3e-4	1155,98±3,2e-3	7,77±3e-4	73,02±0,00
<b>NA5</b>	82,09±1,6e-4	22,70±1,6e-4	33444,68±43,77e-3	10259,27±28,12e-3	15,24±9e-4	60,97±8e-4	441,49±1,2e-4	248,91±2,8e-4
<b>NA6</b>	253,76±1,9e-4	46,87±3e-5	41735,81±16,64e-3	130,83±2,2e-4	34,62±4e-4	127,93±5,1e-3	247,38±1,5e-3	298,58±1e-4
<b>NA7</b>	1266,44±3,9e-4	471,43±1,3e-4	74368,98±19,71e-3	186795,62±41,74e-3	175,79±6e-4	430,86±2,5e-3	14,28±8e-5	2711,49±6,4e-4
<b>NA8</b>	37,88±1,9e-4	34,95±1,6e-4	4854,5±9,21e-3	8805,01±19,06e-3	7,22±7e-4	20,26±2,6e-3	2,22±4e-5	433,98±1,17e-3
<b>NA9</b>	26,82±1,6e-4	4,82±2,3e-4	7649,82±0,16342	59,10±1,24e-3	4,67±4e-4	9,50±4e-3	101,42±3,8e-4	66,68±1,9e-3
<b>NA10</b>	350,29±2,9e-4	56,25±1,7e-4	42231,59±9,76e-3	1257,46±3,4	43,40±3e-4	79,92±3,2e-3	26,52±1,7e-4	587,78±7e-4
<b>NA11</b>	264,15±1,9e-4	46,55±1,1e-4	49917,99±0,10942	384371,25±53,53e-2	93,29±1e-5	87,84±2e-4	62,21±2,7e-4	2678,83±5,5e-4
<b>NA12</b>	772,36±1,6e-4	80,77±4e-5	113582,73±5,76e-3	748,21±0,3e-5	71,31±6e-4	139,94±2,1e-4	69,44±5e-4	1143,34±5e-4
<b>MAO1</b>	98,40±3e-5	16,84±1,2e-4	6502,13±0,015,89	240,63±1,8e-4	16,42±6e-5	26,10±2,2e-4	76,74±7e-5	182,19±2,7e-4
<b>MAO2</b>	350,71±1,3e-4	98,57±2,2e-4	6760,59±0,10886	634,36±7,5e-4	320,59±7e-5	99,43±7e-5	146,33±2,8e-4	970,94±9e-5
<b>MAO3</b>	82,88±9e-5	11,03±6e-5	1597,65±8,61e-3	79,64±5e-5	9,81±3e-5	27,68±2,1e-4	59,73±1e-5	463,07±8e-5
<b>MAO4</b>	30,41±1,4e-4	11,88±1,8e-4	499,18±0,08263	104,85±5,8e-4	6,82±5e-5	14,98±1,1e-4	52,26±1,3e-4	82,91±4e-4
<b>MAO5</b>	124,39±2,1e-4	39,20±5e-5	2179,19±0,01679	1407,89±7,4e-4	34,32±4e-5	52,96±1,8e-4	130,14±8e-5	477,43±2,5e-4
<b>MAO6</b>	228,70±2,3e-4	217,37±5e-5	6863,81±6,32e-3	147,40±5e-5	1018,63±2,5e-4	38,55±1,5e-4	13,32±3e-5	1291,95±6,4e-4
<b>MAO7</b>	50,55±1,4e-4	27,97±2,2e-4	971,68±0,16178	249,42±1,38e-3	16,38±8e-5	25,42±2,4e-4	61,91±2,8e-4	186,14±3e-3
<b>MAO8</b>	191,70±5e-5	72,73±4e-5	5821,45±0,01291	345,17±4e-5	53,74±7e-5	85,77±1,3e-4	344,59±6e-5	685,24±7e-5

### ANEXO V: ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS METAIS DISSOLVIDOS NAS TRÊS REGIÕES EM PPM (mg/L)

PNA	Cr_A	Cu_A	Fe_A	Mn_A	Ni_A	Pb_A	V_A	Zn_A
<b>N</b>	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Min</b>	0,0015	0,0021	0,2022	0,0255	0,0015	0,0008	0,0003	0,0153
<b>Max</b>	0,0173	0,0071	0,2691	0,2927	0,0132	0,0023	0,0005	0,0296
<b>Soma</b>	0,026	0,016	0,9641	0,4012	0,0195	0,0055	0,0016	0,0857
<b>Média</b>	<b>0,0065</b>	<b>0,004</b>	<b>0,241025</b>	<b>0,1003</b>	<b>0,004875</b>	<b>0,001375</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,021425</b>
<b>Variância</b>	5,52267E-05	4,65333E-06	0,001027663	0,01656813	3,14092E-05	4,75833E-07	6,66667E-09	3,84225E-05
<b>DP</b>	<b>0,007431465</b>	<b>0,002157159</b>	<b>0,03205718</b>	<b>0,1287173</b>	<b>0,005604388</b>	<b>0,000689807</b>	<b>8,16497E-05</b>	<b>0,006198589</b>
<b>Mediana</b>	0,0036	0,0034	0,2464	0,0415	0,0024	0,0012	0,0004	0,0204
<b>CV</b>	<b>114,3302</b>	<b>53,92897</b>	<b>13,30035</b>	<b>128,3323</b>	<b>114,9618</b>	<b>50,16776</b>	<b>20,41241</b>	<b>28,93157</b>
NA	Cr_A	Cu_A	Fe_A	Mn_A	Ni_A	Pb_A	V_A	Zn_A
<b>N</b>	8	8	8	8	8	8	8	8
<b>Min</b>	0,0013	0,0052	0,0136	0,0142	0,0007	0,0006	0,0001	0,0142
<b>Max</b>	0,0053	0,0083	0,2963	1,0103	0,0018	0,0038	0,0009	0,1467
<b>Soma</b>	0,0176	0,0524	1,5471	2,4868	0,0108	0,0101	0,0042	0,3037
<b>Média</b>	<b>0,0022</b>	<b>0,0066</b>	<b>0,1934</b>	<b>0,3109</b>	<b>0,0014</b>	<b>0,0013</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0380</b>
<b>Variância</b>	0,0000	0,0000	0,0121	0,1644	0,0000	0,0000	0,0000	0,0020
<b>DP</b>	<b>0,0013</b>	<b>0,0010</b>	<b>0,1101</b>	<b>0,4054</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,0011</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0444</b>
<b>Mediana</b>	0,0018	0,0063	0,2146	0,0742	0,0013	0,0009	0,0005	0,0215
<b>CV</b>	<b>60,2533</b>	<b>15,6761</b>	<b>56,9415</b>	<b>130,4220</b>	<b>26,8454</b>	<b>83,6367</b>	<b>44,2978</b>	<b>116,8325</b>
MAO	Cr_A	Cu_A	Fe_A	Mn_A	Ni_A	Pb_A	V_A	Zn_A
<b>N</b>	8	8	8	8	8	8	8	8
<b>Min</b>	0,0004	0,0015	0,0747	0,0152	0,0004	0,0004	0,0001	0,0124
<b>Max</b>	0,0008	0,0031	0,4596	9,3529	0,0097	0,0065	0,0010	0,0865
<b>Soma</b>	0,0053	0,0183	1,5004	11,0438	0,0153	0,0120	0,0034	0,2481
<b>Média</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0023</b>	<b>0,1876</b>	<b>1,3805</b>	<b>0,0019</b>	<b>0,0015</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,0310</b>
<b>Variância</b>	0,0000	0,0000	0,0154	10,4132	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006
<b>DP</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,1240</b>	<b>3,2269</b>	<b>0,0031</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,0252</b>
<b>Mediana</b>	0,0007	0,0023	0,1516	0,2644	0,0009	0,0007	0,0003	0,0210
<b>CV</b>	<b>21,2511</b>	<b>25,8881</b>	<b>66,1038</b>	<b>233,7562</b>	<b>163,9637</b>	<b>135,7865</b>	<b>72,6427</b>	<b>81,2214</b>

Software Past:



**ANEXO VI: ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS METAIS EM SUSPENSÃO NAS TRÊS REGIÕES EM PPM (mg/kg)**

<b>PNA</b>	<b>Cr_SS</b>	<b>Cu_SS</b>	<b>Fe_SS</b>	<b>Mn_SS</b>	<b>Ni_SS</b>	<b>Pb_SS</b>	<b>V_SS</b>	<b>Zn_SS</b>
<b>N</b>	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Min</b>	1,55	0,27	227,67	4,13	0,18	0,24	0,15	3,4
<b>Max</b>	437,76	139,95	56649,75	115545,2	40,58	81,82	2046,19	1404,82
<b>Soma</b>	1582,39	359,93	339628,4	129681,5	239,01	399,08	2996,21	3609,41
<b>Média</b>	<b>131,8658</b>	<b>29,99417</b>	<b>28302,37</b>	<b>10806,79</b>	<b>19,9175</b>	<b>33,25667</b>	<b>249,6842</b>	<b>300,7842</b>
<b>Variância</b>	13330,66	1345,895	374045100	1093780000	162,5734	666,8474	327166,6	139932,7
<b>DP</b>	<b>115,4585</b>	<b>36,68644</b>	<b>19340,25</b>	<b>33072,35</b>	<b>12,75043</b>	<b>25,82339</b>	<b>571,9848</b>	<b>374,0758</b>
<b>Mediana</b>	130,325	21,545	25956,32	396,115	23,805	30,03	66,08	211,67
<b>CV%</b>	<b>87,55753</b>	<b>122,3119</b>	<b>68,33438</b>	<b>306,033</b>	<b>64,0162</b>	<b>77,64876</b>	<b>229,0833</b>	<b>124,3669</b>
<b>NA</b>	<b>Cr_SS_1</b>	<b>Cu_SS_1</b>	<b>Fe_SS_1</b>	<b>Mn_SS_1</b>	<b>Ni_SS_1</b>	<b>Pb_SS_1</b>	<b>V_SS_1</b>	<b>Zn_SS_1</b>
<b>N</b>	12	12	12	1,20000E+01	12	12	12	12
<b>Min</b>	26,82	4,82	2186,38	2,40600E+01	4,67	9,5	2,22	66,68
<b>Max</b>	1266,44	471,43	113582,7	3,84371E+05	175,79	1155,98	441,49	2711,49
<b>Soma</b>	3467,46	866,98	421613	6,03082E+05	495,21	2265,39	1172,46	8928,32
<b>Média</b>	<b>288,955</b>	<b>72,24833</b>	<b>35134,42</b>	<b>5,02568E+04</b>	<b>41,2675</b>	<b>188,7825</b>	<b>97,705</b>	<b>744,0267</b>
<b>Variância</b>	138463,2	16279,55	1087302000	1,38696E+10	2585,247	105411,8	16786,16	918050,6
<b>DP</b>	<b>372,1065</b>	<b>127,5913</b>	<b>32974,27</b>	<b>1,17769E+05</b>	<b>50,84533</b>	<b>324,6719</b>	<b>129,5614</b>	<b>958,1496</b>
<b>Mediana</b>	156,27	40,75	29402,63	3,01216E+03	19,26	83,88	51,43	355,02
<b>CV%</b>	<b>128,7766</b>	<b>176,6011</b>	<b>93,85176</b>	<b>2,34335E+02</b>	<b>123,2091</b>	<b>171,982</b>	<b>132,6047</b>	<b>128,7789</b>
<b>MAO</b>	<b>Cr_SS_2</b>	<b>Cu_SS_2</b>	<b>Fe_SS_2</b>	<b>Mn_SS_2</b>	<b>Ni_SS_2</b>	<b>Pb_SS_2</b>	<b>V_SS_2</b>	<b>Zn_SS_2</b>
<b>N</b>	8	8	8	8	8	8	8	8
<b>Min</b>	30,41	11,03	499,18	79,64	6,82	14,98	13,32	82,91
<b>Max</b>	350,71	217,37	6863,81	1407,89	1018,63	99,43	344,59	1291,95
<b>Soma</b>	1157,74	495,59	31195,68	3209,36	1476,71	370,89	885,02	4339,87
<b>Média</b>	<b>144,7175</b>	<b>61,94875</b>	<b>3899,46</b>	<b>401,17</b>	<b>184,5888</b>	<b>46,36125</b>	<b>110,6275</b>	<b>542,4838</b>
<b>Variância</b>	11429,92	4917,082	7976119	196483,7	124649,6	950,961	10768,81	177741,8
<b>DP</b>	<b>106,9108</b>	<b>70,12191</b>	<b>2824,202</b>	<b>443,2649</b>	<b>353,0576</b>	<b>30,83766</b>	<b>103,7729</b>	<b>421,5944</b>
<b>Mediana</b>	111,395	33,585	4000,32	245,025	25,37	33,115	69,325	470,25
<b>CV%</b>	<b>73,87552</b>	<b>113,1934</b>	<b>72,42547</b>	<b>110,493</b>	<b>191,2671</b>	<b>66,51601</b>	<b>93,80388</b>	<b>77,71558</b>

Software Past.

### ANEXO VII: TESTE DE KRUSKAL-WALLIS E DUNN'S POST HOC'S DOS PARÂMETROS INVESTIGADOS NAS TRÊS REGIÕES

Kruskal-Wallis test for equal medians	pH	Dunn's post hoc				Kruskal-Wallis test for equal medians	ORP	Dunn's post hoc			
			pH PNA	pH NA	pH MAO				ORP PNA	ORP NA	ORP MAO
H (chi2):	12,47	pH PNA		0,5567	0,0007302	H (chi2):	11,46	ORP PNA		0,632	0,005371
Hc (tie corrected):	12,48	pH NA	0,5567		0,00434	Hc (tie corrected):	11,46	ORP NA	0,632		0,001317
p (same):	0,001954	pH MAO	0,0007302	0,00434		p (same):	0,00324	ORP MAO	0,005371	0,00132	
<b>Tem uma diferença significativa entre as medianas da amostra</b>		<b>Apenas Manaus se difere significativamente de NA e PNA</b>				<b>Tem uma diferença significativa entre as medianas da amostra</b>		<b>Apenas Manaus se difere significativamente de NA e PNA</b>			
Kruskal-Wallis test for equal medians	CE	Dunn's post hoc				Kruskal-Wallis test for equal medians	T	Dunn's post hoc			
			CE PNA	CE NA	CE MAO				T PNA	T NA	T MAO
H (chi2):	1,861	CE PNA		0,4480	0,5251	H (chi2):	0,0385	T PNA		0,8527	0,9805
Hc (tie corrected):	1,863	CE NA	0,4480		0,1741	Hc (tie corrected):	0,0388	T NA	0,8527		0,8874
p (same):	0,394	CE MAO	0,5251	0,1741		p (same):	0,9808	T MAO	0,9805	0,8874	
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra		Não há diferença significativa entre os grupos				Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra		Não há diferença significativa entre os grupos			
Kruskal-Wallis test for equal medians	OD	Dunn's post hoc				Kruskal-Wallis test for equal medians	Turbidez	Dunn's post hoc			
			OD PNA	OD NA	OD MAO				TURB PNA	TURB NA	TURB MAO
H (chi2):	4,215	OD PNA		0,03999	0,33620	H (chi2):	0,86550	TURB PNA		0,86180	0,37060

Hc (tie corrected):	4,233	OD NA	0,03999		0,33680	Hc (tie corrected):	0,86570	TURB NA	0,86180		0,45950
p (same):	0,1204	OD MAO	0,33620	0,33680		p (same):	0,64870	TURB MAO	0,37060	0,45950	
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra		<b>Apenas NA se difere significativamente de MAO e PNA</b>				Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra		Não há diferença significativa entre os grupos			
Kruskal-Wallis test for equal medians	STS	Dunn's post hoc				Kruskal-Wallis test for equal medians	Cr_A	Dunn's post hoc	Cr_A PNA	Cr_A NA	Cr_A MAO
			STS PNA	STS NA	STS MAO	H (chi2):	14,04	Cr_A PNA		0,5678	0,0016
H (chi2):	2,911	STS PNA		0,2962	0,4595	Hc (tie corrected):	14,13	Cr_A NA	0,5678		0,0016
Hc (tie corrected):	2,912	STS NA	0,2962		0,0941	p (same):	0,000853	Cr_A MAO	0,0016	0,0016	
p (same):	0,2332	STS MAO	0,4595	0,0941		<b>Tem uma diferença significativa entre as medianas da amostra</b>		<b>Apenas Manaus se difere significativamente de NA e PNA</b>			
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra		Não há diferença significativa entre os grupos									
Kruskal-Wallis test for equal medians	Cu_A	Cu_A PNA	Cu_A PNA	Cu_A NA	Cu_A MAO	Kruskal-Wallis test for equal medians	Fe_A	Fe_A	Fe_A PNA	Fe_A NA	Fe_A MAO
				0,15700	0,11230			Fe_A PNA		0,5809	0,2408
H (chi2):	13,52	Cu_A NA	0,15700		0,00024	H (chi2):	1,471	Fe_A NA	0,58		0,4469
Hc (tie corrected):	13,54	Cu_A MAO	0,11230		0,00024	Hc (tie corrected):	1,471	Fe_A MAO	0,24	0,4469	
p (same):	0,00115	<b>Tem uma diferença entre as medianas de MAO e grupos</b>				p (same):	0,4792	Não há diferença significativa entre os grupos			
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra						Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra					
Kruskal-Wallis test	Mn_A	Dunn's post hoc	Mn_A PNA	Mn_A NA	Mn_A MAO	Kruskal-Wallis test for equal medians	Ni_A	Dunn's post hoc	Ni_A PNA	Ni_A NA	Ni_A MAO

for equal medians		Mn_A PNA		0.4687	0.1784			Ni_A PNA		0.1379	0.004665
H (chi2):	1,864	Mn_A NA	0.4687		0.4469	H (chi2):	8,296	Ni_A NA	0.1379		0.09934
Hc (tie corrected):	1,864	Mn_A MAO	0.1784	0.4469		Hc (tie corrected):	8,296	Ni_A MAO	0.004665	0.09934	
p (same):	0.3937	Não há diferença significativa entre os grupos				p (same):	0.01579	<b>Somente MAO se difere dos outros grupos</b>			
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra						<b>Tem uma diferença significativa entre as medianas da amostra</b>					
Kruskal-Wallis test for equal medians	Pb_A	Dunn's post hoc	Pb_A PNA	Pb_A NA	Pb_A MAO	Kruskal-Wallis test for equal medians	V_A	Dunn's post hoc	V_A PNA	V_A NA	V_A MAO
		Pb_A PNA		0,5343	0,1726			V_A PNA		0.3003	0.9312
H (chi2):	2,006	Pb_A NA	1		0,3632	H (chi2):	2,156	V_A NA	0.3003		0.1693
Hc (tie corrected):	2,009	Pb_A MAO	0	0,3632		Hc (tie corrected):	2,159	V_A MAO	0.9312	0.1693	
p (same):	0,3662	Não há diferença significativa entre os grupos				p (same):	0,3397	Não há diferença significativa entre os grupos			
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra						Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra					
Kruskal-Wallis test for equal medians	Zn_A	Dunn's post hoc	Zn_A PNA	Zn_A NA	Zn_A MAO	Kruskal-Wallis test for equal medians	Cr_SS	Dunn's post hoc	Cr_SS PNA	Cr_SS NA	Cr_SS MAO
		Zn_A PNA		0,6048	0,8630			Cr_SS PNA		0,4083	0,7703
H (chi2):	0.3214	Zn_A NA	0,6048		0,6726	H (chi2):	0,6913	Cr_SS NA	0,4083		0,6544
Hc (tie corrected):	0.3214	Zn_A MAO	0,8630	0,6726		Hc (tie corrected):	0,6913	Cr_SS MAO	0,7703	0,6544	
p (same):	0.8515	Não há diferença significativa entre os grupos				p (same):	0,7078	Não há diferença significativa entre os grupos			

Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra						Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra					
Kruskal-Wallis test for equal medians	Cu_SS	Dunn's post hoc	Cu_SS PNA	Cu_SS NA	Cu_SS MAO	Kruskal-Wallis test for equal medians	Fe_SS	Dunn's post hoc	Fe_SS PNA	Fe_SS NA	Fe_SS MAO
		Cu_SS PNA		0,1573	0,2549			Fe_SS PNA		0,8108	0,0099
H (chi2):	2,321	Cu_SS NA	0,1573		0,8993	H (chi2):	9,074	Fe_SS NA	0,8108		0,0052
Hc (tie corrected):	2,321	Cu_SS MAO	0,2549	0,8993		Hc (tie corrected):	9,074	Fe_SS MAO	<b>0,0099</b>	<b>0,0052</b>	
p (same):	0,3134	Não há diferença significativa entre os grupos				p (same):	<b>0,0496</b>	<b>Há diferença significativa entre os grupos</b>			
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra						<b>Tem uma diferença significativa entre as medianas da amostra</b>					
Kruskal-Wallis test for equal medians	Mn_SS	Dunn's post hoc	Mn_SS PNA	Mn_SS NA	Mn_SS MAO	Kruskal-Wallis test for equal medians	Ni_SS	Dunn's post hoc	Ni_SS PNA	Ni_SS NA	Ni_SS MAO
		Mn_SS PNA		0,2863	0,5144			Ni_SS PNA		0,5716	0,2673
H (chi2):	2,73	Mn_SS NA	0,2863		0,1083	H (chi2):	1,237	Ni_SS NA	0,5716		0,5463
Hc (tie corrected):	2,73	Mn_SS MAO	0,5144	0,1083		Hc (tie corrected):	1,237	Ni_SS MAO	0,2673	0,5463	
p (same):	0,2554	Não há diferença significativa entre os grupos				p (same):	0,5388	Não há diferença significativa entre os grupos			
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra						Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra					
Kruskal-Wallis test for equal medians	Pb_SS	Dunn's post hoc	Pb_SS PNA	Pb_SS NA	Pb_SS MAO	Kruskal-Wallis test for equal medians	V_SS	Dunn's post hoc	V_SS PNA	V_SS NA	V_SS MAO
		Pb_SS PNA		0,02364	0,43630			V_SS PNA		0,72770	0,64040

H (chi2):	5,189	Pb_SS NA	0,02364		0,21290	H (chi2):	0,6061	V_SS NA	0,7277		0,43630
Hc (tie corrected):	5,189	Pb_SS MAO	0,43630	0,21290		Hc (tie corrected):	0,6061	V_SS MAO	0,6404	0,43630	
p (same):	0,07467	Não há diferença significativa entre os grupos				p (same):	0,7386	Não há diferença significativa entre os grupos			
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra						Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra					
Kruskal-Wallis test for equal medians	Zn_SS	Dunn's post hoc	Zn_SS PNA	Zn_SS NA	Zn_SS MAO						
		Zn_SS PNA		0,1704	0,1127						
H (chi2):	3,063	Zn_SS NA	0,1704		0,7188						
Hc (tie corrected):	3,063	Zn_SS MAO	0,1127	0,7188							
p (same):	0,2162	Não há diferença significativa entre os grupos									
Não há diferenças significativas entre as medianas da amostra											

Software Past.