



# **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - PPGESA**

## **AVALIAÇÃO DE CARGAS POLUIDORAS DE NUTRIENTES EM CANAIS URBANOS DE MACRODRENAGEM NO MUNICÍPIO DE BELÉM- PA**

ENG<sup>o</sup>(A) ERIKA JOANA NABICA BORGES

ORIENTADOR PROF.DR ANDRE LUIZ DA S. SALGADO COELHO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**



**BELÉM (2022)**



## **AVALIAÇÃO DE CARGAS POLUIDORAS DE NUTRIENTES EM CANAIS URBANOS DE MACRODRENAGEM NO MUNICÍPIO DE BELÉM/PA**

**ERIKA JOANA NABIÇA BORGES**

PTT (PRODUTO BIBLIOGRÁFICO) APRESENTADO AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGESA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.

Examinada por:

Documento assinado digitalmente



**ANDRE LUIZ DA SILVA SALGADO COELHO**  
Data: 13/03/2023 11:17:15-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. André Luiz da Silva Salgado Coelho, Dr. em Engenharia  
Hidráulica e Saneamento  
(PPGESA/ITEC/UFPA - Orientador)

Documento assinado digitalmente



**LINDEMBERG LIMA FERNANDES**  
Data: 14/03/2023 09:04:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Lindemberg Lima Fernandes, Dr. em Desenvolvimento  
Sustentável do Trópico Úmido  
(PPGESA/ITEC/UFPA – Examinador Interno)

**Ilka Suely Dias**  
Serra:23729490206

Assinado de forma digital por Ilka Suely  
Dias Serra:23729490206  
Dados: 2023.03.14 11:21:54 -03'00'

---

Prof<sup>a</sup>. Ilka Suely Dias Serra, MSc. em Engenharia Civil  
(IFPA – Examinador Externo)

**BELÉM**

**2023**



## Agradecimentos

A Deus e a Nossa Senhora de Nazaré, pela vida e por atender às minhas orações, agradeço a oportunidade de participar do Programa de Mestrado e avançar meus conhecimentos ao concluir.

Aos meus pais, Nazaré e Osvaldo, por serem minha base, pelo amor incondicional e por todas as lutas diárias travadas para cuidar de mim, minha irmã Esley e sobrinho João. Agradeço por sempre se manterem presente, pelo apoio e motivação para busca da realização dos meus sonhos, e por me ensinar tudo sobre caráter e responsabilidade.

Ao meu orientador Prof. Dr. André, pelas contribuições dadas para o desenvolvimento deste trabalho, organização e direcionamento de ideias. Obrigada por desempenhar tal função com tamanha dedicação.

À gestão do PROMABEM, pela colaboração e suporte financeiro para a realização desta pesquisa.

Aos amigos da etapa 4 do PROMABEM, pelo grande exemplo de trabalho em equipe e resiliência. Obrigada por compartilharem momentos de aprendizado ao longo desta pesquisa.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional, apoio demonstrado e por suportarem momentos de dificuldade que ajudaram-me a chegar até aqui.

E a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta na realização desta pesquisa, o meu muito obrigada!



## Lista de ilustrações

Figura 1 – Fluxograma da metodologia.....	9
Figura 2 - Mapa de localização da BHEN .....	10
Figura 3 - Esquema dos pontos nos canais da Quintino (esquerda), Timbiras e Caripunas (direita) .....	13
Figura 4 – Localização dos pontos nos canais .....	13
Figura 5 - Materiais utilizados no levantamento batimétrico .....	14
Figura 6 - Seção transversal do canal da Quintino Bocaiúva, medida em 21/11/2020 .....	15
Figura 7 - Seção transversal do canal da Quintino Bocaiúva, medida em 16/06/2021 .....	15
Figura 8 - Seção transversal do canal da Timbiras, medida em 21/11/2020 .....	16
Figura 9 - Seção transversal do canal da Timbiras, medida em 16/06/2021 .....	16
Figura 10 - Seção transversal do canal da Caripunas, medida em 21/11/2020.....	17
Figura 11 - Seção transversal do canal da Caripunas, medida em 16/06/2021.....	17
Figura 12 - Materiais e Equipamentos.....	18
Figura 13 - Curvas vazão-nível e resultados das regressões lineares para cada campanha.....	20
Figura 14 - Gráfico com os resultados dos parâmetros no Canal da Quintino Bocaiúva.....	22
Figura 15 - Gráficos Carga x Vazão x População - Canal da Quintino .....	25
Figura 16 - Gráficos Carga x Vazão x População - Canal da Caripunas.....	27
Figura 17 - Gráficos Carga x Vazão x População - Canal da Timbiras .....	29





## Lista de tabelas

Tabela 1 - Contribuições per capita e concentrações de nitrogênio e fósforo no esgoto doméstico bruto, adaptado de Metcalf & Eddy (2016). .....	11
Tabela 2 - Atividades realizadas nas campanhas de coleta de dados gerais .....	12
Tabela 3 - Resultados dos levantamentos batimétricos .....	14
Tabela 4 - Métodos das análises laboratoriais dos parâmetros estudados, adaptado do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2018) .....	19



## Lista de abreviaturas e siglas

BHEN	Bacia Hidrográfica da Estrada Nova
ITEC	Instituto de Tecnologia
PPGESA	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental
PROMABEN	Programa de Saneamento da Bacia da Estrada Nova
RLS	Regressão Linear Simples
RMB	Região Metropolitana de Belém
UFPA	Universidade Federal do Pará



## AVALIAÇÃO DE CARGAS POLUIDORAS DE NUTRIENTES EM CANAIS URBANOS DE MACRODRENAGEM NO MUNICÍPIO DE BELÉM/PA

### EVALUATION OF POLLUTING LOADS OF NUTRIENTS IN URBAN MACRODRAINAGE CHANNELS IN THE MUNICIPALITY OF BELÉM/PA

Erika Joana Nabiça Borges<sup>1</sup>

#### Abstract

*With the expansion and population growth of the municipality of Belém/PA, areas with little or almost no sanitation infrastructure were developed, since as it grew, it circumvented water accidents instead of sanitizing them, resulting in large investments in works of macrodrainage currently, in peripheral areas. This work sought to evaluate the degree of pollution caused by polluting loads of nutrients in the 03 (three) macrodrainage channels, being Quintino Bocaiúva, Timbiras and Caripunas, belonging to BHEN, whose contribution flows into the main source of public supply in the municipality. For this, the work carried out the calculation of polluting loads of nutrients, analyzing NTK, ammoniacal-N, organic-N, Nitrate (NO<sub>3</sub>) and Total Phosphorus, in 5 qualitative campaigns, in addition to having carried out a bathymetric survey in 3 campaigns, considering the rainy and less rainy period. Initially, the flow results were presented, which after simulation it was verified that the highest flow is related to the Quintino channel, which was to be expected due to its greater contribution area. The correlation between nutrients and physical variables of temperature, OD and pH of the water was also verified. Thus, it was found that despite being small in most cases, there is a correlation between those mentioned. In addition, the concentration of the parameters was analyzed separately, based on the results of the laboratory analysis, in which the forms of nitrogen and phosphorus exceeded the limits recommended in the legislation, also expected due to the high contribution of the subbasins, in addition to there being no treatment efficient domestic sewage system in this area. Finally, the polluting load values were analyzed based on the relationship between flow and concentration, resulting in high values of load released into the receiving body, characterizing a scenario of extreme water degradation. Still, with this relationship it was possible to estimate the population that would be contributing to this scenario, whose numerical values were also quite high and not consistent with the reality in the area. Therefore, through these results, it is possible to affirm that they may be harmful to the waters of the canals, where a significant degradation of the quality of the waters is expected, which will follow to the Guamá river, and consequently, will reach the population that directly or indirectly have contact with these bodies of water.*

**Key Words:** Domestic effluents. Urban canals. Nutrient load.

---

<sup>1</sup> Discente na Universidade Federal do Pará (UFPA), Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental (PPGESA).

## Resumo

Com a expansão e crescimento populacional do município de Belém/PA, foram desenvolvidas áreas com pouca ou quase nenhuma infraestrutura de saneamento, uma vez que a medida que o mesmo cresceu contornou os acidentes hídricos em vez de saneá-los, resultando em grandes investimentos em obras de macrodrenagem atualmente, nas áreas periféricas. Este trabalho buscou avaliar o grau de poluição provocado pelas cargas poluidoras de nutrientes nos 03 (três) canais de macrodrenagem, sendo Quintino Bocaiúva, Timbiras e Caripunas, pertencentes a BHEN, cuja contribuição deságua no principal manancial de abastecimento público do município. Para isso, o trabalho realizou cálculo de cargas poluidoras de nutrientes, sendo analisados NTK, N-amoniaco, N-orgânico, Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e Fósforo Total, em 5 campanhas qualitativas, além de ter sido realizado levantamento batimétrico em 3 campanhas, considerando o período chuvoso e menos chuvoso. Inicialmente, foram apresentados os resultados de vazão, que após simulação foi verificado que a maior vazão é referente ao canal da Quintino, o que já era de se esperar por apresentar maior área de contribuição. Também foi verificada a correlação entre os nutrientes e variáveis físicas de temperatura, OD e pH da água. Assim, verificou-se que apesar de ser pequena na maioria dos casos, há correlação entre as referidas. Ademais, foi analisado isoladamente a concentração dos parâmetros, a partir dos resultados de análise laboratorial, em que as formas de nitrogênio e o fósforo ultrapassaram os limites preconizados na legislação, também já esperado devido a alta contribuição das sub-bacias, além de não haver tratamento de esgoto doméstico eficiente nesta área. Por fim, foram analisados os valores de carga poluidora a partir da relação entre vazão e concentração, resultando em valores elevados de carga lançados no corpo receptor, caracterizando um cenário de extrema degradação das águas. Ainda, com essa relação foi possível estimar a população que estaria contribuindo com este cenário, cujos valores numéricos também foram bastante elevados e não condizentes com a realidade na área. Portanto, através destes resultados é possível afirmar que poderão ser maléficos às águas dos canais, onde se prevê uma significativa degradação da qualidade das águas, as quais seguirão até o rio Guamá, e conseqüentemente, atingirão a população que de forma direta ou indireta tem contato com esses corpos hídricos.

**Palavras-chave:** Efluentes domésticos. Canais urbanos. Carga de nutrientes.

## 1. Introdução

A água é um elemento essencial para toda a forma de vida. No entanto, há tempos, que o recurso passou a ser uma preocupação crescente, não apenas no que se refere à quantidade disponível, mas, principalmente, em relação a sua qualidade, devido às influências antropogênicas acarretarem prejuízos e restrições aos múltiplos usos, os quais aumentaram o consumo e deterioração do recurso, sobretudo, devido ao crescimento da população urbana brasileira que ocorreu de forma acelerada nas últimas décadas.

Tal problemática acarretou no desenvolvimento de cidades com pouco ou nenhum cumprimento à regulamentação urbana e às normas específicas de ocupação do solo, evidenciando áreas com infraestruturas de saneamento inadequadas, onde é notável a carência de serviços públicos, como coleta de águas pluviais e drenagem urbana, além da deficiência nas políticas de gestão e gerenciamento ambiental (DA SILVEIRA *et al.*, 2003; GONÇALVES, 2008).

Segundo Alencar *et al.*, (2019), tais características agravam e prejudicam um planejamento urbano adequado, assim como interfere na qualidade de vida urbana. O município de Belém, no Estado do Pará, historicamente constituiu-se a partir de assentamentos espontâneos, onde predominam a improvisação e o desconhecimento de soluções de saneamento ambiental compatíveis com as condições naturais da região (CABRAL & CÂNDIDO, 2019).

Abelém (2018) relata que à medida que ocorria a expansão do município, ele foi recebendo seus primeiros equipamentos urbanos, encontrando acidentes hídricos, que em vez de saneá-los foi contornando-os, o que levou à ocupação ser feita preferencialmente nos terrenos de cotas mais altas, pela população de maior renda, e deixando grandes áreas desocupadas, formadas por terrenos alagados ou alagáveis, de cotas baixas para a população de menor renda.



Nos terrenos alagados, as pessoas se estabeleceram sobre a argila (recoberta de camadas de aterro geralmente insuficientes) ou suspensas por estacas (palafitas) em terrenos encharcados, para onde se drena parte dos esgotos das áreas mais altas. Assim, se observavam áreas alagáveis sendo habitadas, com a carência de serviços de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de águas residuárias, drenagem pluvial e coleta e manejo dos resíduos sólidos.

Com a implantação da macrodrenagem em vários bairros do município devido a ocupação desordenada, ocorreram diversas alterações do solo natural que produziram superfícies impermeabilizadas, as quais afetaram a estimativa de cheias dos rios gerando graves problemas à população de um modo geral, sendo um dos maiores desafios da gestão pública (LIMA *et al.*, 2020). Dessa maneira, a canalização de rios e córregos tornaram-se práticas comuns e muitas vezes desnecessárias, sobrecarregando os sistemas de drenagem, que normalmente são dimensionados para suportar um determinado tempo de retorno de chuva, favorecendo processos de alagamento (VINAGRE *et al.*, 2021).

Entende-se que os canais urbanos são particularmente vulneráveis à estas transformações, uma vez que normalmente eles recebem significativos volumes diários de efluentes domésticos e resíduos sólidos. Aliado a isso, há o arraste de poluentes atmosféricos, residenciais, comerciais e outros, pela chuva através do escoamento superficial, influenciando na concentração de cargas poluidoras, elevando a quantidade de matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos nos corpos d'água, acarretando então em maior risco para a saúde humana e ambiental (MENEZES *et al.*, 2016; FRANÇA, 2020; PIMENTEL *et al.*, 2016).

Considerando este cenário, compreende-se a importância da caracterização, avaliação e monitoramento destas cargas poluidoras, pois a partir de estudos desta natureza, normas de referência sobre padrões de qualidade e eficiência na prestação, na manutenção e na operação dos sistemas de saneamento básico poderão ser criados, bem como, estes servirão para auxiliar na tomada de decisão por parte do poder público a respeito de investimentos em infraestruturas de saneamento básico. Assim como, sua divulgação servirá para que a população reflita sobre o cuidado na preservação do recurso hídrico.

Desta maneira, o presente trabalho objetiva avaliar o grau de poluição nos canais de macrodrenagem pertencentes a BHEN, através da análise das cargas poluidoras de nutrientes nitrogênio e fósforo, no sentido de obter informações a respeito da atual situação ambiental, em que cabe destacar, tais nutrientes são poluentes sempre presentes no esgoto sanitário. Dessa forma, a avaliação destas cargas poluidoras pode servir como comprovante da presença de esgoto sanitário nas águas dos canais de macrodrenagem da BHEN.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o grau de poluição provocado pelas cargas poluidoras de nutrientes nos 03 (três) canais de macrodrenagem pertencentes a BHEN – Belém/PA.

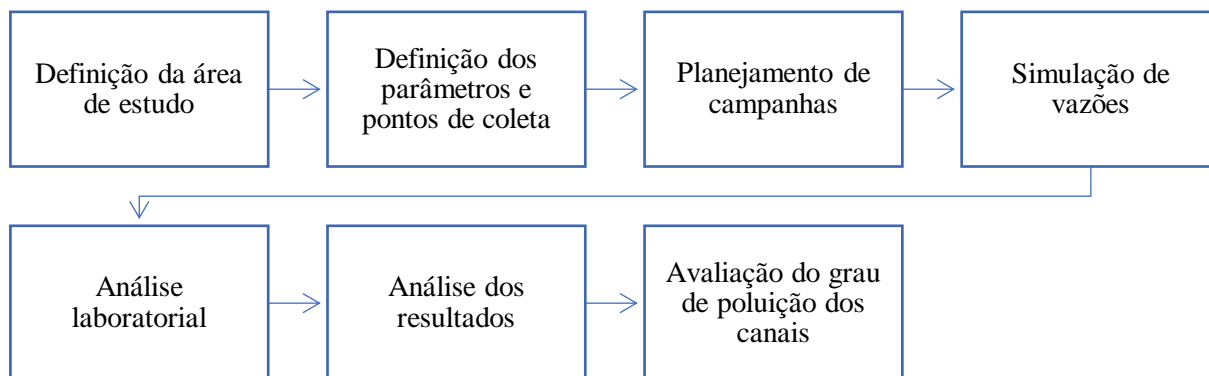
### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar as possíveis vazões nos canais da Quintino Bocaiúva, Timbiras e Caripunas com base em levantamentos batimétricos;
- Avaliar qualitativamente as águas dos canais a partir da obtenção de concentrações de nitrogênio e fósforo;

- Levantar o indicativo população equivalente para análise do grau da presença de esgoto sanitário nas águas dos canais investigados.

### 3. Metodologia

O trabalho foi realizado em etapas, conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1 – Fluxograma da metodologia**

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

Belém, capital do Estado do Pará, satisfaz uma das cidades mais importantes da região norte do Brasil, possuindo uma população estimada no último Censo de 1.506.420 de habitantes e área territorial igual a 1.059,466 km<sup>2</sup> (IGBE, 2021). Apresentando como limites geográficos: a Baía do Marajó (ao Norte), os municípios de Ananindeua, Benevides e Santa Bárbara (a Leste), o Rio Guamá e município de Acará (ao Sul) e Baía do Guajará e Baía do Marajó (a Oeste) (ALENCAR *et al.*, 2019).

Segundo o autor, esta região é influenciada por forças hidrodinâmicas (correntes, maré e descarga fluvial) dos rios Pará, Acará e Guamá, pelas baías do Guajará e baía do Sol, bem como pelos canais de maré que recortam a Região Metropolitana de Belém (RMB), além dos canais das ilhas fluviais.

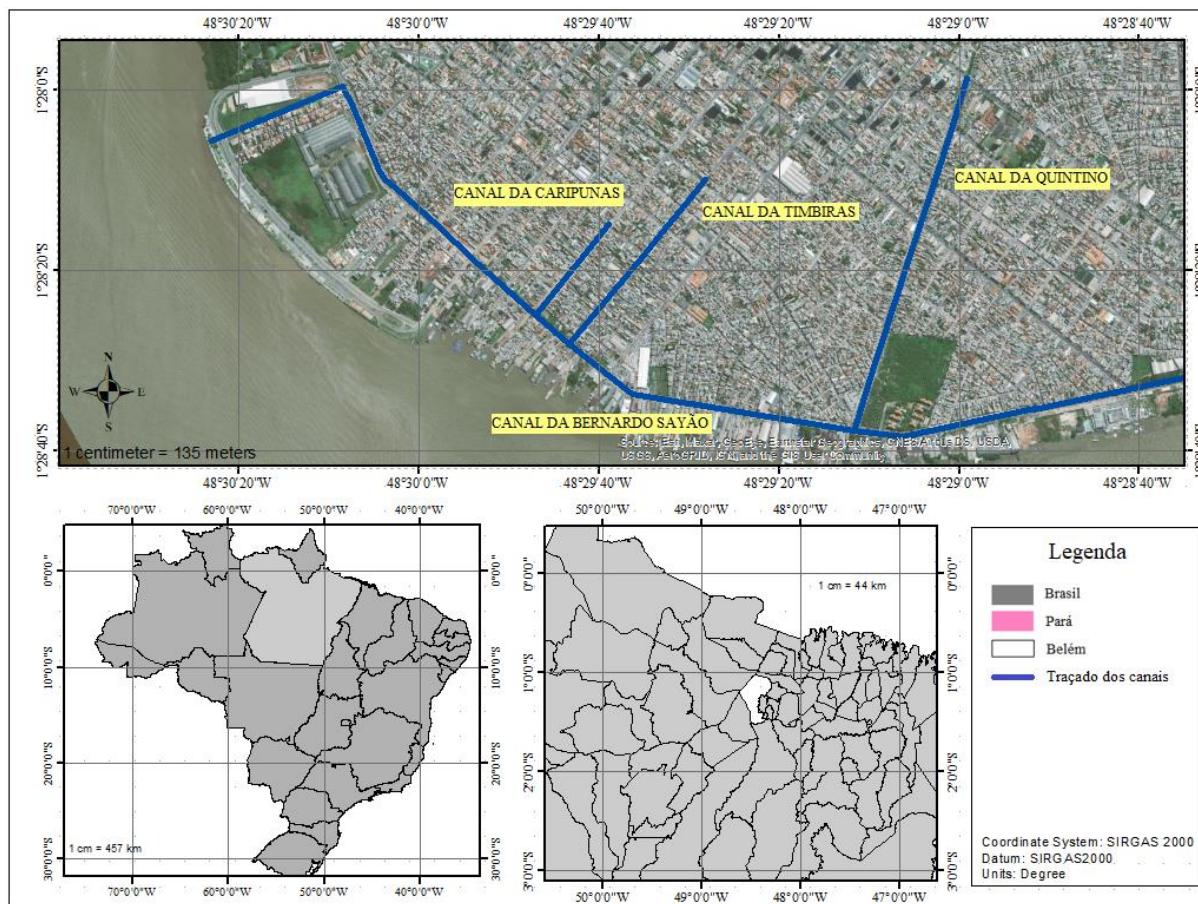
Quanto às bacias hidrográficas de Belém/PA, distribuem-se da seguinte maneira: 60% pertencem à bacia do Una, 17% à Bacia do Tucunduba, 16% à bacia da Estrada Nova (BHEN) e 7% às demais bacias com menor área geográfica. Assim, a BHEN, ilustrada na figura 2, compreende integralmente os bairros da Condor e Cremação, e parcialmente os bairros de São Brás, Nazaré, Jurunas e Guamá, com uma área de drenagem de aproximadamente 9,54 km<sup>2</sup>, sendo 72,7% do seu solo alagáveis, os quais são influenciados naturalmente tanto pela variação anual do nível de água, em função das descargas fluviais, quanto diariamente pela amplitude provocada pelo regime da maré (ENGESOLO ENGENHARIA, 2007; LIMA *et al.*, 2020).

No que concerne à rede de macrodrenagem, a BHEN compreende os seguintes canais: Caripunas, Timbiras, Quintino, Dr. Moraes, 14 de março, 3 de maio, João de Deus, Radional I e II, Bom Jardim, Euclides da Cunha e Bernardo Sayão.

O presente, especificamente, realizou análise no canal da Timbiras, o canal da Caripunas e o canal da Quintino Bocaiúva, conforme apresentado na figura 2.

Os quais satisfazem os principais canais da sub-bacia 1 e 2 da BHEN, além de fazerem parte do Programa de Saneamento da Bacia da Estrada Nova (PROMABEN), que objetiva a promoção da melhoria da qualidade de vida da população do Município de Belém/PA, através

de uma série de intervenções e recuperação socioambiental no meio ambiente urbano, que beneficiará milhares de pessoas.



**Figura 2 - Mapa de localização da BHEN**

O canal da rua dos Timbiras e o canal da rua dos Caripunas, configuram a sub bacia 1, apresentando densa ocupação residencial, destacando muitas ocupações irregulares, que favorecem a aparição de diversos problemas, como a poluição das águas e a proliferação de vetores de doenças de veiculação hídrica. São canais de grande importância no meio urbano da BHEN, cujo investimento era extremamente necessário.

Atualmente, o chamado Canal de Descarga Caripunas Beira-Mar, localizado no bairro do Jurunas, foi concluído. Sendo realizado somente ajustes nas três comportas já instaladas, no aterramento e asfaltamento para a liberação do tráfego na Avenida Bernardo Sayão com a Rua dos Caripunas, além disso, será feita a construção de uma ponte na rua dos timbiras (UCP/PROMABEM, 2022).

O Canal da Quintino Bocaiúva, integra a sub bacia 2 da BHEN, é o responsável pelo deságue da água no canal da Bernardo Sayão e posteriormente no Rio Guamá. O canal possui área de drenagem situada a montante de aproximadamente 1,386 km<sup>2</sup>, e a jusante igual a 1,663 km<sup>2</sup>, valores estes que somados são superiores à área de drenagem da sub-bacia 1 da BHEN, igual a 1,846 km<sup>2</sup> (ENGESOLO ENGENHARIA, 2007). Atualmente, o PROMABEM concluiu a etapa de elaboração do projeto executivo do canal, para início de construção prevista para 2023 (UCP/PROMABEM, 2022).

### 3.2 Carga Poluidora

A quantificação da carga poluidora do afluente lançado foi obtida através do produto entre os valores das concentrações dos parâmetros de qualidade analisados, com o valor das vazões simuladas em pontos estratégicos. Assim temos:

$$\text{Carga}_n = \text{Concentração de "n"} \times \text{Vazão} \quad \text{Equação 1}$$

Em que, a concentração de poluente foi determinada a partir dos resultados de análise laboratorial dos parâmetros de qualidade representados pela letra “n” na Equação 1, cujos referidos são: NTK, N-amoniaco, N-orgânico, Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e Fósforo Total.

Com relação às vazões, foi realizada a simulação utilizando dados dos levantamentos batimétricos realizados ao longo de 3 campanhas. Assim, foi estabelecido que os resultados para cada campanha batimétrica fosse relacionada com a campanha qualitativa cuja data fosse mais próxima, de forma que características físicas se aproximassem mais da realidade, gerando resultados mais confiáveis.

Com os resultados de carga poluidora também foi possível encontrar valores de população equivalente, considerando os valores de per capita para as formas de nitrogênio e fósforo usualmente encontradas no esgoto sanitário do Brasil, apresentadas na Tabela 1.

Parâmetro	Contribuição Per Capita (g/hab.dia)	Concentração (mg/L)
Nitrogênio total	6,0 – 10,0	35 – 60
Nitrogênio orgânico	2,5 – 4,0	15 – 25
Amônia	3,5 – 6,0	20 – 35
Nitrito	= 0	= 0
Nitrato	0,0 – 0,2	0 – 1
Fósforo	0,7 – 2,0	4 – 12
Fósforo orgânico	0,2 – 0,8	1 – 5
Fósforo inorgânico	0,5 – 1,2	3 – 7

**Tabela 1 - Contribuições per capita e concentrações de nitrogênio e fósforo no esgoto doméstico bruto, adaptado de Metcalf & Eddy (2016).**

A população equivalente, geralmente, é utilizada para determinar o equivalente populacional de uma determinada carga, isto é, que população produziria a mesma carga poluidora. Sendo assim, este resultado nos mostra uma estimativa do número de habitantes que está gerando as cargas poluidoras encontradas através da Equação 1.

Logo, temos para o cálculo da população equivalente, a Equação 2.

$$P_{eq} = \frac{\text{Carga poluidora/dia}}{\text{Per capita}} \quad \text{Equação 2}$$

### 3.3 Levantamento de Informações Batimétricas

Para o levantamento de informações batimétricas e vazão nos canais, adotou-se a metodologia e informações de Pereira (2021). O qual, inicialmente, realizou visitas *in loco* para identificar os componentes estruturais e as características dos canais. Diante destas, observou-se que, eles encontram-se inseridos em área residencial, contando com a presença de pequenos comércios,



obras públicas e pouca vegetação. Além disso, foram verificadas patologias estruturais, bem como presença irregular de resíduos sólidos.

Pereira (2021) realizou duas campanhas exclusivas para o levantamento batimétrico, a primeira no dia 21/11/2020 e a segunda no dia 16/06/2021. Uma terceira campanha foi realizada aos dias 25/10/2022, para fins de atualização dos dados coletados. A Tabela 2 demonstra as datas, o horário aproximado do início dos levantamentos batimétricos, as condições de maré e as atividades realizadas.

<b>Data</b>	<b>Horário</b>	<b>Condição de maré</b>	<b>Atividades realizadas</b>
21/11/2020	09:00h	Vazante	Levantamento de profundidades dos canais
16/06/2021	16:30h	Vazante	Levantamento de profundidades dos canais
25/10/2022	12:30h	Vazante	Levantamento de profundidades dos canais

**Tabela 2 - Atividades realizadas nas campanhas de coleta de dados gerais**

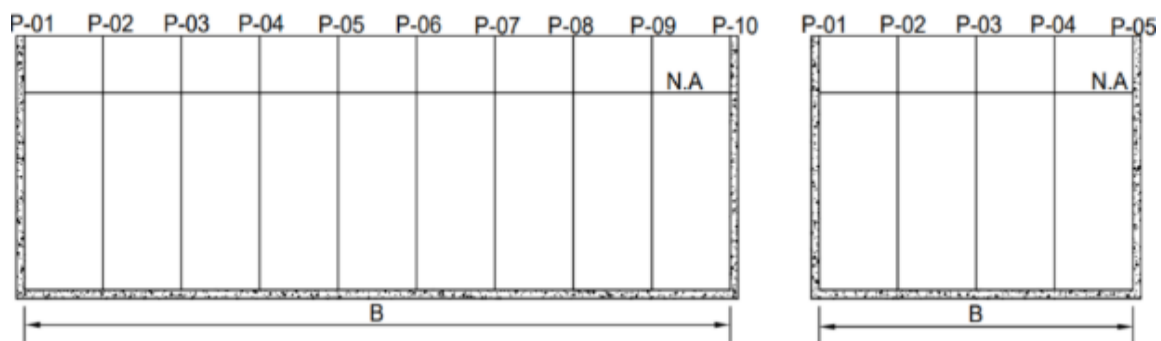
No que confere as medições, na 1ª campanha para o canal da Quintino, foram definidas 10 medições de profundidade do leito, 3 medições do canal da Timbiras e 5 medições do canal da Caripunas. Ocorrendo alterações no número e local relativos à 2ª e 3ª campanhas no canal Timbiras, foram adicionados 02 (dois) pontos (totalizando 5 ao longo da seção transversal), sendo necessário em razão de obras civis e de saneamento na BHEN. Destaca-se ainda que para cada alteração, foi feita uma reavaliação das seções transversais. A figura 5 demonstra a definição dos pontos nos referidos.

Para a batimetria considerou-se o perfil dos três canais como retangular, utilizando o software AutoCAD 2021 para representação dos resultados obtidos nas medições de profundidade dos leitos.

Para o canal da Quintino, identifica-se o P-01, que trata do ponto na margem direita no sentido de escoamento à jusante do canal, o P-02 e consecutivos, são os pontos um metro de distância do P-01 no sentido da largura do canal, até o P-10 que coincide com a borda da margem esquerda do canal no sentido de escoamento à jusante.

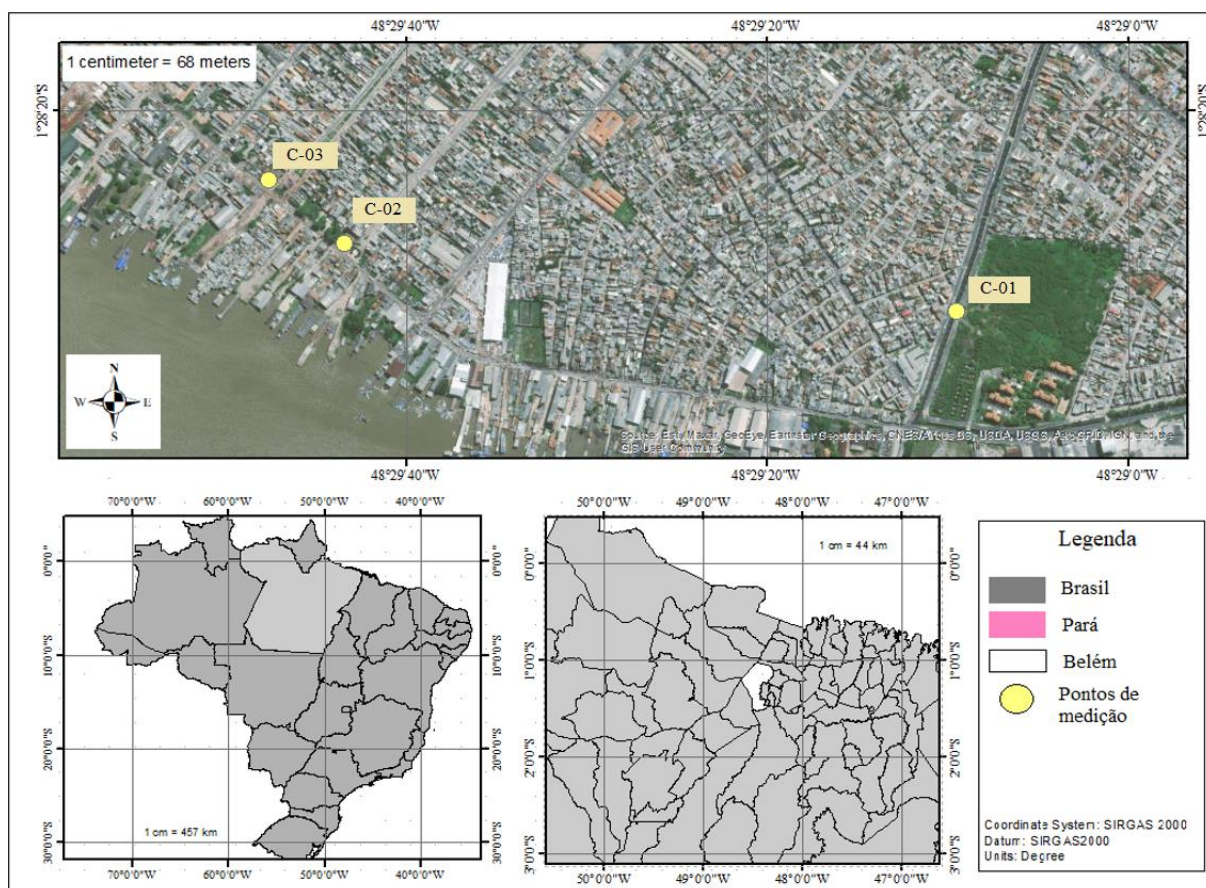
No canal da Timbiras, a 1ª campanha definiu três pontos de medição, em que P-01 e P-03 tratam das profundidades nas bordas internas da galeria retangular do canal e o P-02 na metade da seção no sentido da largura. Porém, Pereira (2021) na 2ª campanha notou diferenças significativas nas medições de profundidade, devido ao assoreamento no leito dos canais, em que P-01 e P-05 coincidiram com as bordas internas da galeria retangular do canal, partindo da margem direita no sentido de escoamento à jusante até a margem esquerda, assim como no canal da Caripunas na 1ª e 2ª campanha. Já na 3ª campanha, devido as obras de intervenção do Promaben, no caso do canal da Timbiras, foi feito levantamento em três pontos, quanto ao canal da Caripunas, conseguiu ser registrado um ponto de profundidade, não havendo levantamento batimétrico. Segue a figura 3, com o esquema dos pontos nestes canais.





**Figura 3 - Esquema dos pontos nos canais da Quintino (esquerda), Timbiras e Caripunas (direita)**

Salienta-se que para a definição das profundidades, o piso de uma passarela de pedestres em concreto foi utilizado como base para o canal da Quintino. No canal da Timbiras e canal da Caripunas, foram utilizados planos horizontais superiores de referência, as paredes horizontais superiores das galerias retangulares de concreto (aduelas). Segue na figura 4, a localização dos pontos onde foram realizadas as medições das seções transversais.



**Figura 4 – Localização dos pontos nos canais**

Quanto aos materiais, o levantamento contou com o auxílio de trena, régua linimétrica e prumo (figura 5).



**Figura 5 - Materiais utilizados no levantamento batimétrico**

Na tabela 3 encontram-se os resultados dos levantamentos batimétricos das campanhas realizadas.

**Canal da Timbiras**

Campanha	Largura	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05	P-06	P-07	P-08	P-09	P-10
1 <sup>a</sup>	2,00	2,03	2,45	2,45							
2 <sup>a</sup>	5,80	1,59	2,63	2,80	2,60	1,54					
3 <sup>a</sup>	2,00	1,91	2,32	2,61							

**Canal da Caripunas**

Campanha	Largura	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05	P-06	P-07	P-08	P-09	P-10
1 <sup>a</sup>	6,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00					
2 <sup>a</sup>	6,00	1,93	2,20	2,45	1,95	1,64					
3 <sup>a</sup>	6,00										

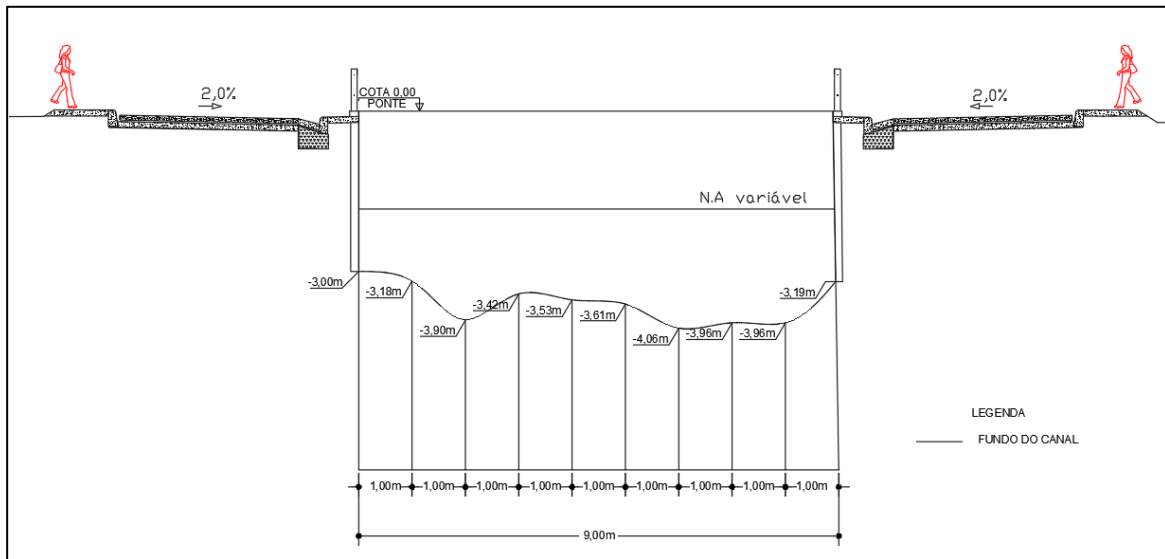
**Canal da Quintino**

Campanha	Largura	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05	P-06	P-07	P-08	P-09	P-10
1 <sup>a</sup>	9,00	3,00	3,18	3,90	3,12	3,53	3,61	4,06	3,96	3,96	3,19
2 <sup>a</sup>	9,00	2,77	2,95	3,26	3,02	3,14	3,37	3,38	3,16	3,00	2,83
3 <sup>a</sup>	9,00	2,95	3,15	3,20	3,01	2,93	3,06	2,91	2,83	2,48	

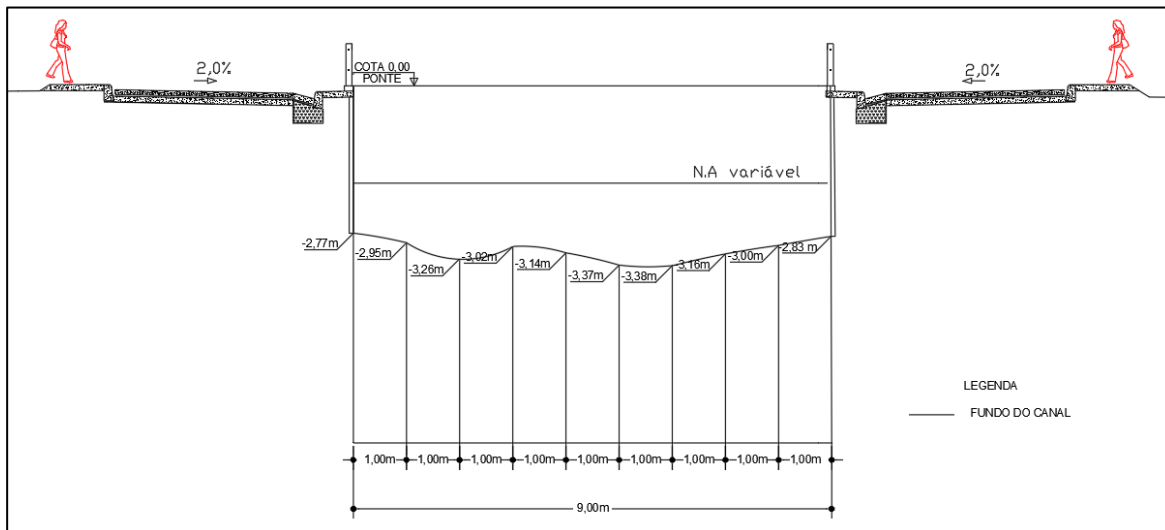
**Tabela 3 - Resultados dos levantamentos batimétricos**

Com as informações das referidas campanha foi possível realizar o desenho das seções dos canais fazendo uso do software AutoCAD 2019.

Nas figuras 6 e 7 é possível visualizar o formato da seção transversal do canal da Quintino Bocaiúva na 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> campanha, respectivamente.

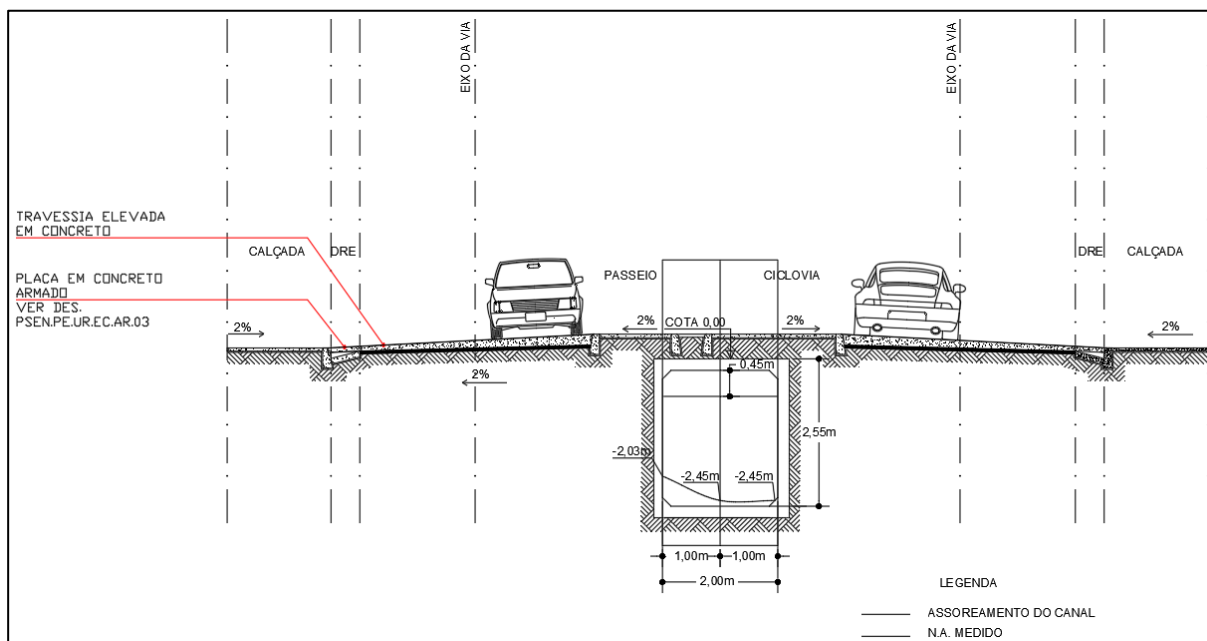


**Figura 6 - Seção transversal do canal da Quintino Bocaiúva, medida em 21/11/2020**



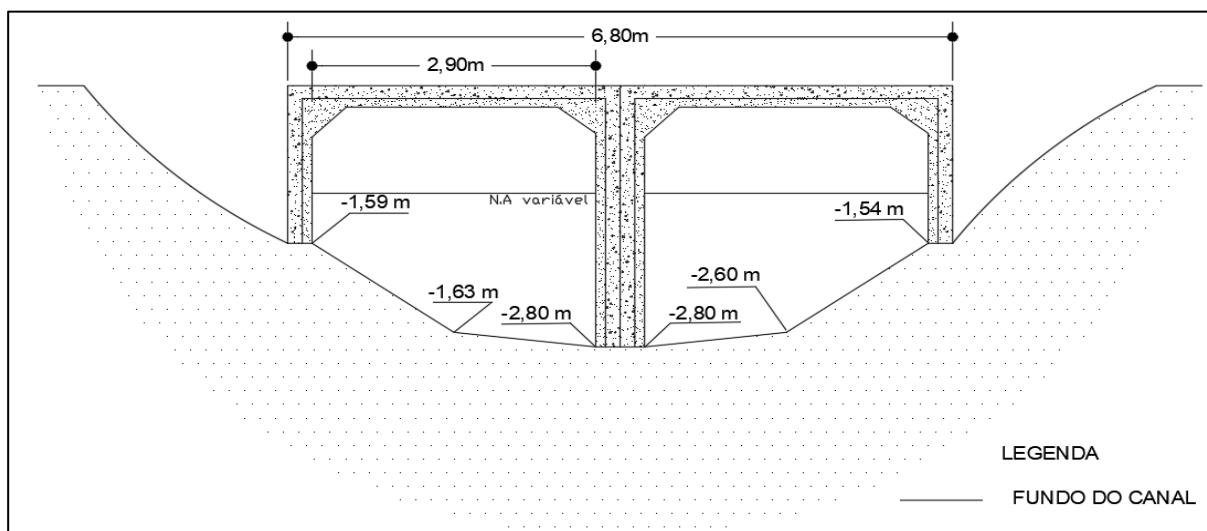
**Figura 7 - Seção transversal do canal da Quintino Bocaiúva, medida em 16/06/2021**

As seções transversais dos canais da Timbiras e Caripunas também foram desenvolvidas e constam nas figuras 8 e 9 (Timbiras), e 10 e 11 (Caripunas).



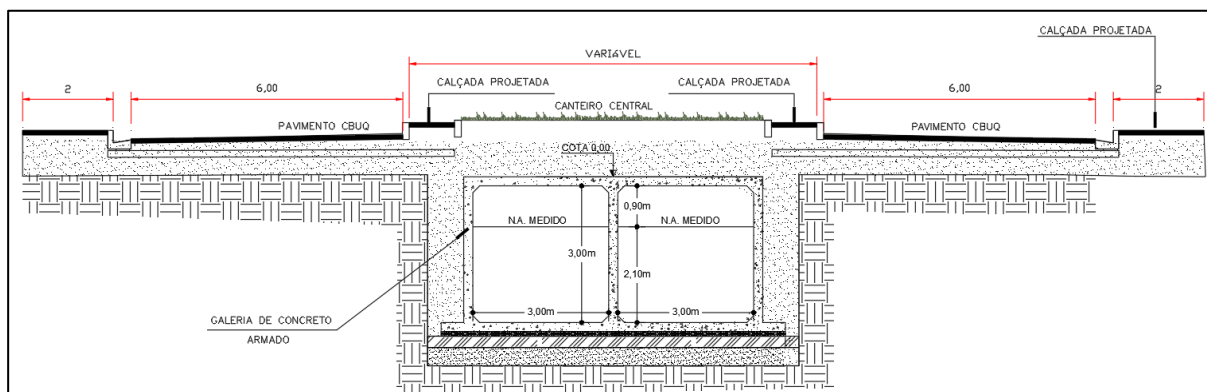
**Figura 8 - Seção transversal do canal da Timbiras, medida em 21/11/2020**

Reitera-se que na segunda campanha ocorreram mudanças na profundidade e largura do canal da Timbiras, por conta da mudança da seção. Assim, devido a esta circunstância em que o ponto foi aterrado, as medições ocorreram em uma outra seção mais próxima do canal da Bernardo Sayão, sendo apresentado o esquema abaixo.



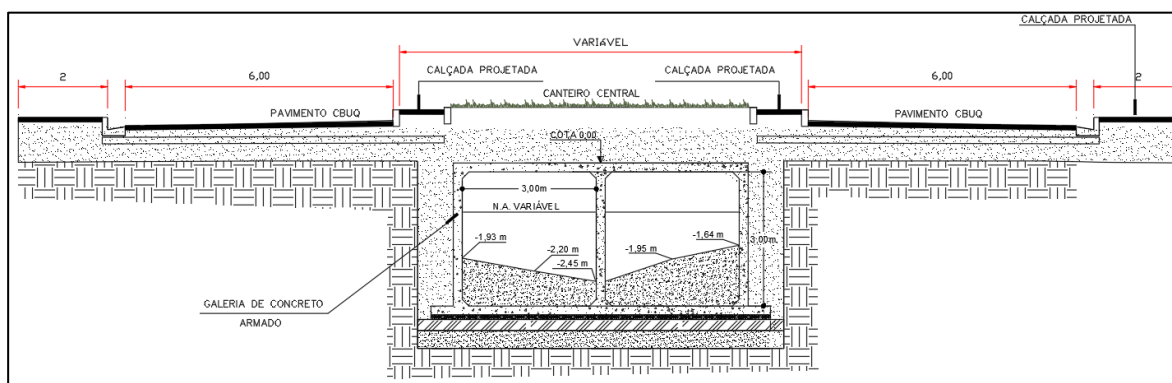
**Figura 9 - Seção transversal do canal da Timbiras, medida em 16/06/2021**

Destaca-se que durante as medições na 1ª campanha realizadas no canal da Caripunas foi possível chegar ao fundo do canal com o prumo, logo, entende-se assim, que não sendo medidas as condições de assoreamento, o escoamento de água estava livre ao longo de toda a seção, sem interferência dos sólidos no fundo do canal.



**Figura 10 - Seção transversal do canal da Caripunas, medida em 21/11/2020**

Diferindo da primeira, a segunda campanha no canal da Caripunas contou com medições que consideraram o assoreamento no leito do canal, logo, foi possível perceber que a seção dos canais diminuiu por conta dos sedimentos no leito.



**Figura 11 - Seção transversal do canal da Caripunas, medida em 16/06/2021**

No que concerne a 3ª campanha batimétrica, não foram desenhadas as seções transversais no software AUTOCAD.

### 3.4 Estudo de Vazão

No que concerne à medição de vazão, Pereira (2021) realizou duas medições *in loco*, aos dias 21/05/2021 e 08/06/2021. Com auxílio do software AutoCAD 2021, foram desenhadas as seções transversais, considerando as profundidades encontradas. Para apuração das vazões, as áreas molhadas foram aferidas com auxílio da função AREA, a partir desta e do conceito de profundidade crítica descrita por Gribbin (2014) para declividades nulas ou quase nulas, foram definidas as vazões durante cada medição através da Equação 3.

$$Q = \sqrt{\frac{A^3 \cdot g}{B}}$$

**Equação 3**

Em que:

Q: representa a vazão em m<sup>3</sup>/s;

A: representa a área molhada do canal em m<sup>2</sup>;

g: representa a aceleração da gravidade próxima à latitude de 0° (9,81 m/s<sup>2</sup>); e



B: representa a largura do canal em metros.

Pereira (2021) ainda define que vazões mínimas correspondem às vazões com o nível de 0,05m, medido do centro da área da seção transversal, e vazões máximas correspondem à 90% da capacidade do conduto (nível em 90% da altura da aduela), no caso dos canais enterrados e 90% da altura em relação ao greide da rua, no caso de canais abertos, que é o caso do canal da Quintino.

De posse de tais informações, foram simuladas as variáveis hidráulicas descritas, em níveis de 5 em 5 cm, gerando então a curva vazão-nível d'água, com o nível d'água sendo medido no ponto central da seção transversal.

Dessa forma, utilizando o software Microsoft Office Excel, foram geradas as curvas vazão-nível através do método de Regressão Linear Simples (RLS), que utiliza uma variável dependente Y (Vazão em  $m^3/s$ ) em função de uma variável independente X (nível d'água em metros).

Segundo Stevenson (1986), a regressão compreende a análise de dados amostrais para saber como duas ou mais variáveis estão relacionadas em uma população e, tendo como resultado uma equação matemática que descreve tal relacionamento. A equação pode ser usada para estimar, ou prever, valores futuros de uma variável quando se conhecem ou se supõem conhecidos valores da outra variável. Desse modo torna-se possível o cálculo da vazão em qualquer nível dos canais, dentro de um limite definido.

### 3.5 Amostragem e Análise Laboratorial

Reitera-se que os parâmetros analisados foram: NTK, N-amoniacoal, N-orgânico, Nitrato ( $NO_3$ ) e Fósforo Total, cujas campanhas de amostragem ocorreram nos meses de outubro/2021, maio/2022, junho/2022, agosto/2022 e outubro/2022, considerando duas estações: uma menos chuvosa, que ocorre uma redução da precipitação pluviométrica em junho, e outra mais chuvosa, iniciando em novembro até maio, quando essa taxa começa a se elevar e os índices de precipitação anual chegam a ser superiores a 2.000 mm.

No que concerne ao preparo dos materiais e equipamentos utilizados, as atividades foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas - LAMAG, localizado na Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental - FAESA da UFPA. A respeito destes, salienta-se o uso da garrafa do tipo Van Dorn (figura 12 - esquerda), da marca Limnotec, a qual foi devidamente higienizada, bem como foram esterilizados em autoclaves, os frascos de polietileno (figura 12 - direita), usados no acondicionamento das amostras.

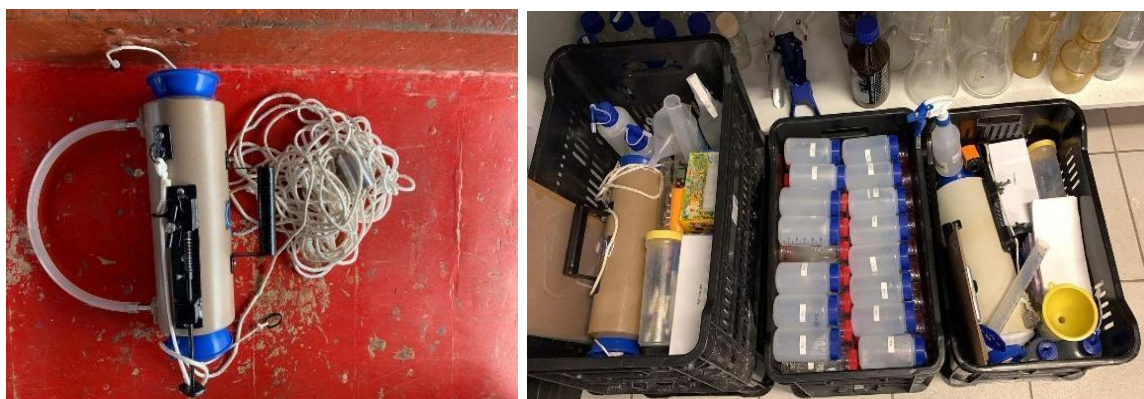


Figura 12 - Materiais e Equipamentos

A avaliação qualitativa contou com amostras integradas a cada 1 hora, a fim de que ao final da campanha, sejam tomadas as alíquotas de cada amostra para formar uma amostra final (composta), que efetivamente foi utilizada para as análises em laboratório. Com isso, os resultados obtidos levaram em consideração as variações espaciais e temporais em cada ponto de monitoramento nos canais.

No que concerne às análises, a equipe responsável, devidamente capacitada, seguiu os procedimentos descritos em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2018), os quais constam na tabela 4 abaixo.

Parâmetro	Unidade	Método de análise
NTK	mg/L	Determinação utilizando a seção 4500-Norg.B ou 4500-Norg.C, mediante a utilização do método de digestão, destilação e titulação;
N-amoniacal	mg/L	Determinação utilizando a seção 4500-NH3 B, mediante a utilização do método de destilação e Nesslerização I ou a seção 4500-NH3 B e 4500-NH3 C mediante a utilização do método de destilação e titulação;
Nitrato	mg/L	Determinação utilizando a seção 4500-NO3- e método de redução em coluna de cádmio;
Fósforo total	mg/L	Determinação utilizando a seção 4500-P- A e 4500-P- E que correspondem, respectivamente, ao método de digestão de persulfato seguido pelo método colorimétrico do ácido ascórbico;
Temperatura	°C	Determinação utilizando a seção 2550 B, mediante a utilização de termômetros de imersão total ou parcial com escala de 0,1°C;
OD	mg/L	Determinação utilizando a seção 4500-O G, mediante a utilização do método de eletrodo com membrana ou a seção 4500-O B mediante a utilização do método de Winkler;
pH	-	Determinação utilizando a seção 4550-H+ B, método potenciométrico;

**Tabela 4 - Métodos das análises laboratoriais dos parâmetros estudados, adaptado do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2018)**

Os resultados de qualidade foram confrontados com os padrões estabelecidos nas mesmas, uma vez que para ambas os padrões estão de certa forma inter-relacionados. Então, ao confrontar as concentrações obtidas com os padrões estabelecidos na N° 357/2005, a interpretação dos resultados direcionam para a qualidade da água, já com a N° 430/2011, os resultados direcionam para caracterização do esgoto, e portanto, demonstrando que é possível caracterizar as águas encontradas nos canais de macrodrenagem.

#### 4. Resultados e Discussão

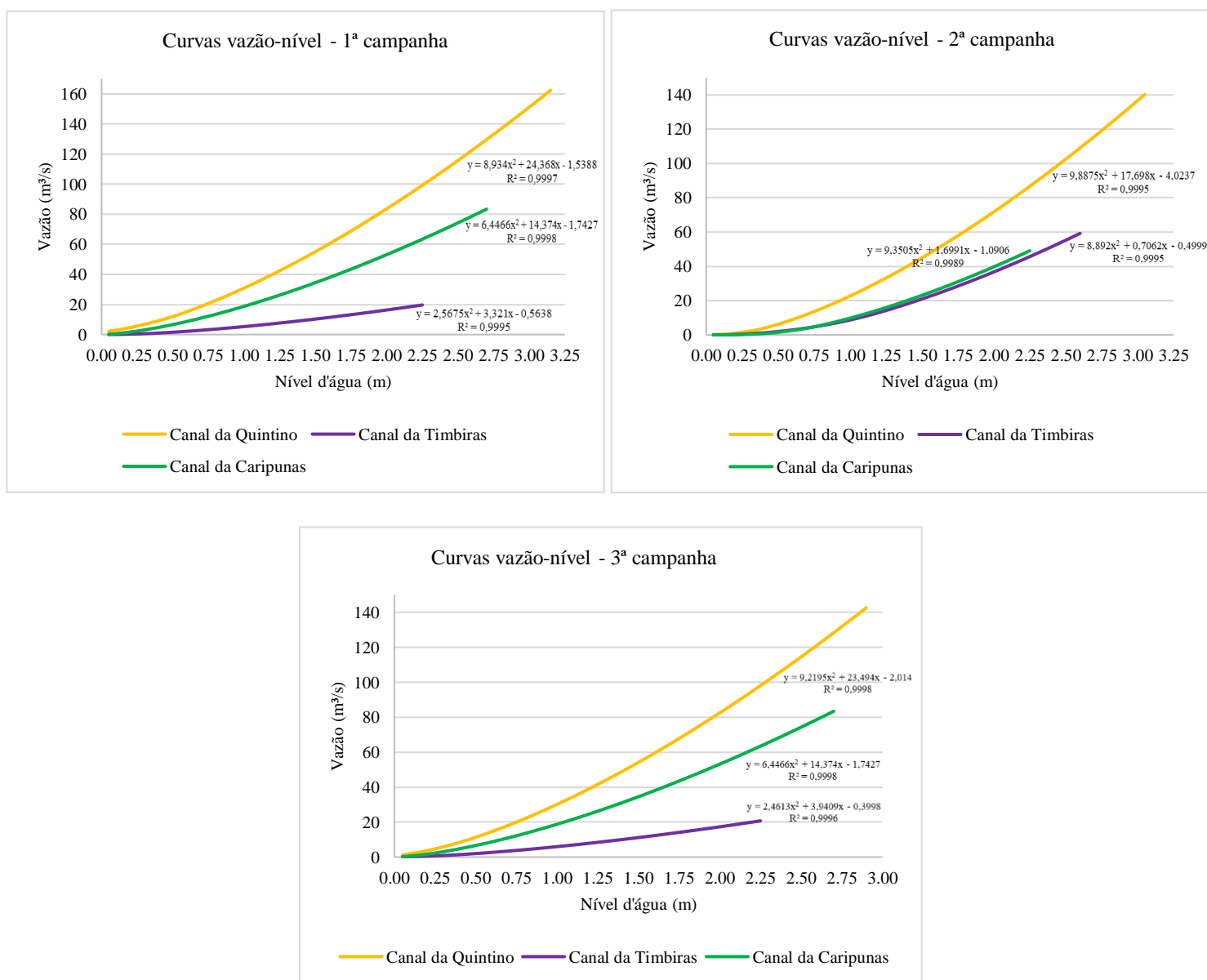
Com vista a facilitar a visualização e compreensão dos resultados da influência dos efluentes para os parâmetros analisados, estes são apresentados textualmente em subcapítulos específicos, como apresentado na metodologia.

##### 4.1 Vazão

Conforme descrito, foram geradas as curvas vazão-nível através do método de regressão linear, cujos gráficos destacados abaixo (figura 13) identificam as 3 campanhas. Destacando as

equações e o valor do coeficiente de determinação  $R^2$ , encontrados através do método de RLS, para os canais da sub-bacia 1 e 2 nas campanhas realizadas.

A partir dos gráficos permite-se verificar que as variáveis são grandezas diretamente proporcionais, ou seja, o aumento do nível implicou no aumento da vazão na mesma proporção. A análise dos gráficos das 3 campanhas de amostragem, evidenciam que o comportamento das variáveis apresentou forte relação, visto que os valores de  $R^2$  demonstraram que aproximadamente 99% da variável Y é explicada pela variável X em todas os canais.



**Figura 13 - Curvas vazão-nível e resultados das regressões lineares para cada campanha**

Uma análise individual dos coeficientes, para a 1ª campanha, entende-se que as simulações se adaptaram mais ao caso do Canal da Caripunas, quando comparado aos outros canais, dessa forma, validando os dados de vazão medidos por Pereira (2021). No que concerne à determinação das vazões simuladas obtidas diretamente pela verificação do nível de água, o canal da Quintino apresentou vazão igual a 162,47 m<sup>3</sup>/s na profundidade máxima, no canal da Timbiras foi igual a 19,67 m<sup>3</sup>/s e no canal da Caripunas igual a 83,37 m<sup>3</sup>/s. Cabe salientar que somadas as vazões encontradas para os canais da sub bacia 1 são inferiores ao canal da Quintino, que integra a sub bacia 2, corroborando o que foi explicitado anteriormente.

Com relação a 2ª campanha, os resultados também mostraram uma forte relação, destacando maior relação nos canais da Quintino e Timbiras. A respeito das vazões simuladas, foi encontrado valores máximos igual a 140,29 m<sup>3</sup>/s para o canal da Quintino, 59,22 m<sup>3</sup>/s para o canal da Timbiras e 49,07 m<sup>3</sup>/s para o canal da Caripunas. Além disso, considerando as vazões medidas por Pereira (2021) encontradas em uma campanha diferente da realizada da 2ª de batimetria (medições de vazão em 21/05/2021 e 08/06/2021), o canal da Timbiras apresentou incompatibilidade com a simulação realizada, o que pode ter ocorrido devido a mudança na seção transversal entre as campanhas.

No que diz respeito a 3ª campanha, o canal da Quintino apresentou  $Q_{\text{máx}}$  igual a 142,51 m<sup>3</sup>/s e o canal da Timbiras igual a 20,72 m<sup>3</sup>/s. Quanto ao canal da Caripunas, reitera-se que não houve levantamento batimétrico devido às obras de intervenção do Promaben terem dificultado a coleta, assim, para efeitos de gráfico, foi apresentado os resultados referentes a 1ª campanha realizada, cujo  $Q_{\text{máx}}$  é igual a 83,37 m<sup>3</sup>/s.

Cabe salientar ainda que os resultados somado das vazões da sub bacia 1 são inferiores a sub bacia 2, em todas as campanhas, associando que a área de drenagem da sub-bacia 2 é maior em comparação à área de drenagem da sub bacia 1.

Diante do exposto, ressalta-se que a análise de regressão através do coeficiente de determinação  $R^2$ , além de trazer muita informação sobre a forma do gráfico que relaciona as variáveis, também permite identificar se estas resumem de forma adequada a relação de interesse. Assim, nesta análise, notou-se o predomínio de uma relação muito forte entre as variáveis nível da água e vazão, podendo gerar um problema de multicolinearidade, em que se torna difícil olhar para os parâmetros estimados de forma independente.

#### 4.2 Concentração dos parâmetros

Na caracterização dos parâmetros selecionados, de forma geral, percebeu-se que os parâmetros avaliados demonstraram comportamento bastante similar nas diferentes campanhas, como pode ser observado nos gráficos dispostos na figura 14 para cada canal.

Inicialmente, salienta-se que os resultados laboratoriais foram confrontados especialmente com as Resoluções do CONAMA N° 357/2005, que “*Dispõe sobre a classificação dos corpos d’água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*”, e a N° 430/2011, que “*Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes*”, complementando a anterior, assim temos:

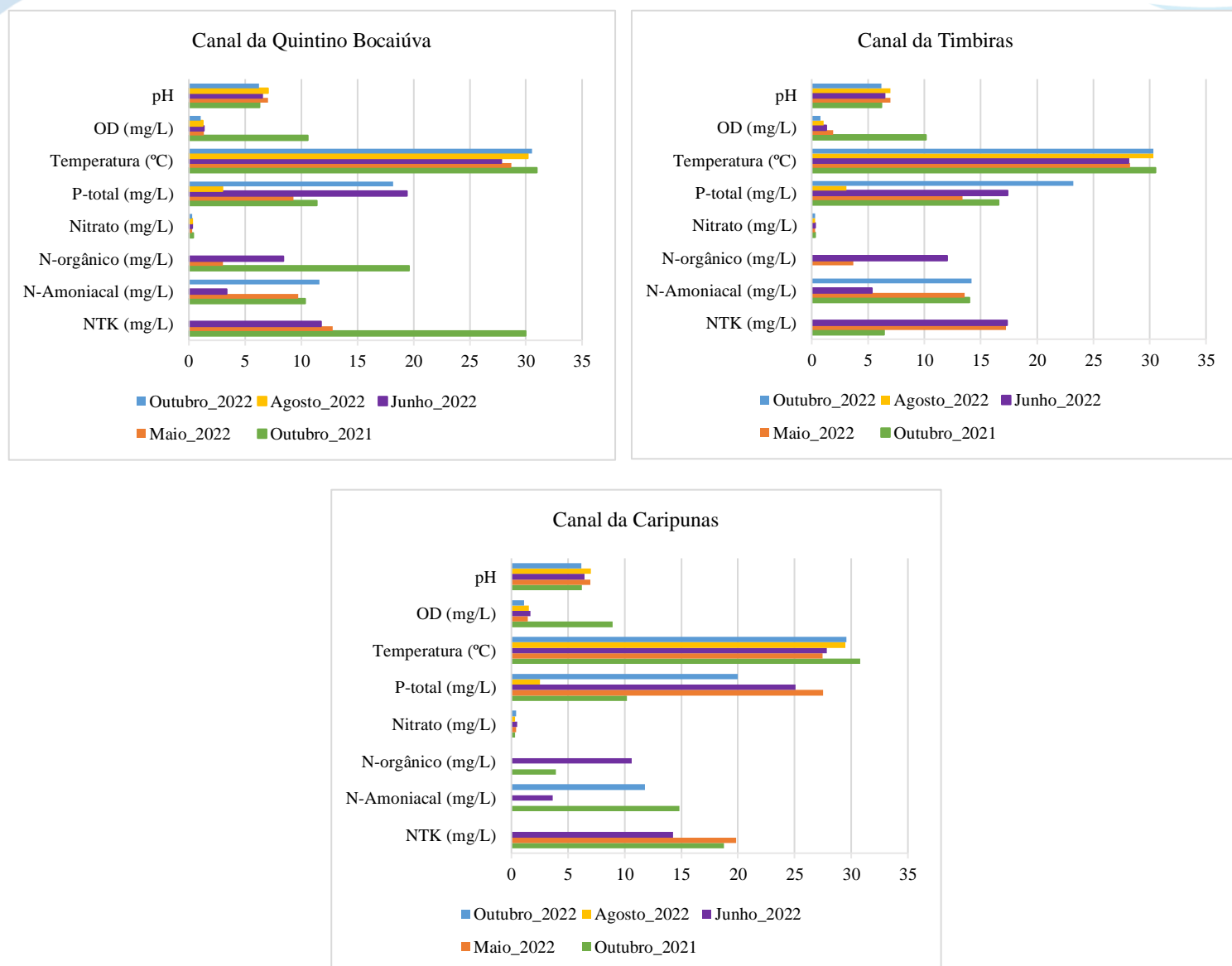


Figura 14 - Gráfico com os resultados dos parâmetros no Canal da Quintino Bocaiúva

#### 4.2.1 pH

Se tratando do parâmetro pH, os resultados obtidos para canal da Quintino, que configuram um intervalo entre 6,23 (mês de outubro/2022) e 7,05 (mês de maio/2022), demonstraram normalidade ao que preconiza as Resoluções nº 357/2005 (pH entre 6 e 9) e a nº 430/2011 (pH entre 5 e 9). A respeito do canal da Timbiras, também atestaram estar dentro do esperado, com intervalos de 6,17 (outubro/2021 e outubro/2022) e 7,00 (maio/2022). E no que concerne ao canal da Caripunas, os valores encontrados vão de 6,16 (outubro/2022) a 7,02 (agosto/2022). No geral, os resultados obtidos de pH demonstraram que houve pouca variação entre os canais, podendo ser considerado um parâmetro estável, indicando que mesmo havendo o lançamento de esgoto, não influencia de maneira direta no pH, onde se espera que na presença do esgoto bruto acuse um pH mais alcalino, onde na maioria dos casos, as concentrações não ultrapassam valores de 8,3.



#### 4.2.2 Temperatura

Quanto a temperatura, as máximas e mínimas encontradas na amostragem do canal da Quintino, são iguais a 30,99 °C (mês de outubro/2021) e 27,825 °C (mês de junho/2022). Para o canal da Timbiras, satisfazem o intervalo de 30,5 °C (outubro/2021) e 28,125 °C (junho/2022). Quanto ao canal da Caripunas, os registros foram iguais a 30,8 °C (mês de outubro/2021) e 27,45 °C (maio/2022).

Tais valores encontram-se dentro do esperado, sendo inferiores a 40 °C, valor que é preconizado pela legislação (Resolução CONAMA N° 357/2005). Infere-se que a temperatura do efluente lançado pode ser considerada similar ao do corpo hídrico, estando em torno de 27 °C e 30 °C.

#### 4.2.3 OD

Considerando a Resolução n° 357/2005 (art. 16), o limite preconizado não pode ser inferior a 4,0 mg/L O<sub>2</sub> em qualquer amostra (águas doces/classe 3), desta forma, percebe-se que todos os canais atestaram inconformidade com a legislação, com exceção dos valores encontrados na campanha do mês de outubro/2021. Assim, temos: 10,60 mg/L, para o canal da Quintino; 10,13 mg/L para o canal da Timbiras; e 8,91 mg/L, para o canal da Caripunas.

Os resultados abaixo do padrão de OD podem estar associados com a diminuição da quantidade de chuvas na região nos meses menos chuvosos, o que diminui a lâmina d'água, interferindo nos valores de vazão, e conseqüentemente, no aumento das concentrações de nutrientes. Com a diminuição de oxigênio na água, causada principalmente pela decomposição bacteriana da matéria orgânica, dependendo da magnitude deste processo, podem vir a morrer diversos seres aquáticos, inclusive peixes. Essa interpretação é necessária devido os canais da Timbiras e Caripunas ainda apresentarem tais seres vivos, sendo imprescindível a manutenção e preservação destes.

#### 4.2.4 Série do Nitrogênio

Dos parâmetros estudados da série do Nitrogênio, o NTK foi o que apresentou valores discordantes ao que é estabelecido pela legislação, em seu § 3° do art. 10, da Resolução n° 357/2005, propõe que em águas doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência. Logo, todas as coletas amostrais para os 3 canais de macrodrenagem ultrapassaram o limite de referência, sendo identificados valores bem elevados com relação ao padrão.

Quanto ao N-amoniacal, o limite estabelecido é igual a 20 mg/L (art. 16 da Resolução n° 430/2011). As amostras do canal da Quintino, apresentaram uma variação de 3,36 mg/L no mês de junho/2022 e 11,6 mg/L no mês de outubro/2022, compatíveis com a norma. Para o canal da Timbiras, o intervalo entre 5,32 mg/L (junho/2022) e 14,2 mg/L (outubro/2022). E o canal da Caripunas, entre 3,64 mg/L (junho/2022) e 14,84 mg/L (outubro/2021). Nota-se então que os resultados respeitam o que foi disposto na legislação.

A respeito do Nitrato, também estão dentro do limite considerado neste estudo, igual a 10 mg/L (Resolução n° 357/2005, art. 16), variando entre 0,3 mg/L e 0,4 mg/L (somente em outubro/2021), na amostragem para o canal da Quintino; 0,3 mg/L em todas as amostragens para o canal da Timbiras; e, 0,3 mg/L (outubro/2021 e agosto/2022) e 0,5 (junho/2022).

Não são estabelecidos limites para o N-orgânico por ambas resoluções, no entanto, sabe-se que se a poluição é recente, o nitrogênio estará basicamente na forma de nitrogênio orgânico ou

amônia e, se antiga, basicamente na de nitrato (as concentrações de nitrito são normalmente mais reduzidas), desde que se tenha, no meio em questão, o suficiente de oxigênio dissolvido para permitir a nitrificação.

#### 4.2.5 Fósforo total

Se tratando de FT, o art. 17 da Resolução nº 430/2011 incube o órgão ambiental de estabelecer um padrão, dessa maneira, devido o estado do Pará não dispor de legislação compatível que estabeleça padrões de qualidade, foi observado a Resolução nº 357/2005, que estabelece para ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários, o limite de 0,15 mg/L (classe 3).

Logo, comparando com os resultados obtidos, verifica-se que todos os resultados analisados para os canais ultrapassaram o valor de referência. O canal da Quintino determinou intervalo entre 2,99 mg/L (mês de agosto/2022) e 19,4 mg/L (mês de junho/2022); 3,08 mg/L (agosto/2022) a 23,2 mg/L (outubro/2022) no canal da Timbiras; e 2,51 mg/L (agosto/2022) a 27,5 mg/L (maio/2022) no canal da Caripunas.

A presença de fósforo no esgoto doméstico apresenta-se como fosfatos, nas formas inorgânica (polifosfatos e ortofosfatos), sendo a origem principal nos detergentes e outros produtos químicos domésticos; e na forma orgânica, ligada a compostos orgânicos, cuja origem é fisiológica. Tais formas foram evidenciadas nas análises laboratoriais, em concentrações preocupantes, que corroboram com a conjectura de que houve o lançamento de efluentes sem tratamento nas águas da área de estudo

A presença do FT e do Nitrogênio em todas suas formas, é assegurado que houve contribuição significativa na concentração dos parâmetros devido a influência do efluente sanitário lançado sem tratamento, uma vez que eles têm origem antropogênica, principalmente através dos despejos domésticos e industriais, detergentes e excrementos de animais. Cabe destacar que apesar destes não apresentarem problemas de ordem sanitária, são elementos indispensáveis para o crescimento de algas, e quando em elevadas concentrações, como foi encontrado nas coletas de água dos canais, podem conduzir a um crescimento exagerado desses organismos, caracterizando o processo de eutrofização.

Especificamente, com relação ao processo de conversão do nitrogênio, salienta-se ainda que têm implicações na operação das estações de tratamento de esgotos, em termos de consumo de oxigênio, consumo de alcalinidade e sedimentabilidade de lodo (VON SPERLING, 2014).

Considerando tais resultados, resalto o exposto no estudo realizado pela Engesolo Engenharia (2007), que evidencia o comportamento dos canais como um reservatório, que tanto conduz como recebe água do Rio Guamá, principalmente, em virtude da declividade muito baixa da bacia hidrográfica e dos mesmos, além do efeito predominante da elevação do nível d'água quando da ocorrência de precipitações intensas e do remanso das águas do citado rio, o que influencia significativamente na concentração dos nutrientes, a destacar a presença do fósforo e nitrogênio total, que apresentaram valores que ultrapassaram a legislação e dessa forma são relevantes para a caracterização das águas dos canais estudados.

Portanto, sabe-se que em um curso de água, a determinação da forma predominante dos nutrientes podem fornecer indicações sobre o estágio da poluição eventualmente ocasionada por algum lançamento de esgoto a montante. No esgoto doméstico bruto, as formas predominantes satisfazem o nitrogênio orgânico e a amônia.

#### 4.3 Análise das Carga Poluidoras

Esta análise trata do impacto do lançamento de esgoto sem tratamento nos cursos d'água, com destaque aos rios urbanos, levando-se em consideração, os nutrientes nitrogênio e fósforo, os quais são elementos indispensáveis para o crescimento de microorganismos e algas.

#### 4.3.1 Canal da Quintino Bocaiuva

Os 03 canais da BHEN estudados neste trabalho apresentaram características e comportamentos semelhantes, no entanto, o canal da Quintino foi o que apresentou resultados mais bem representativos, inferindo que tem importantes consequências ambientais, uma vez que os valores de carga poluidora encontrados para as formas de nitrogênio e fósforo, podem conduzir a fenômenos de eutrofização destes corpos d'água, o que pode estar associado a área de contribuição do canal, conforme já mencionado, é maior que a área da sub-bacia 1. A figura 15 nos mostra os gráficos com os resultados das cargas poluidoras para o canal da Quintino Bocaiuva durante as campanhas.

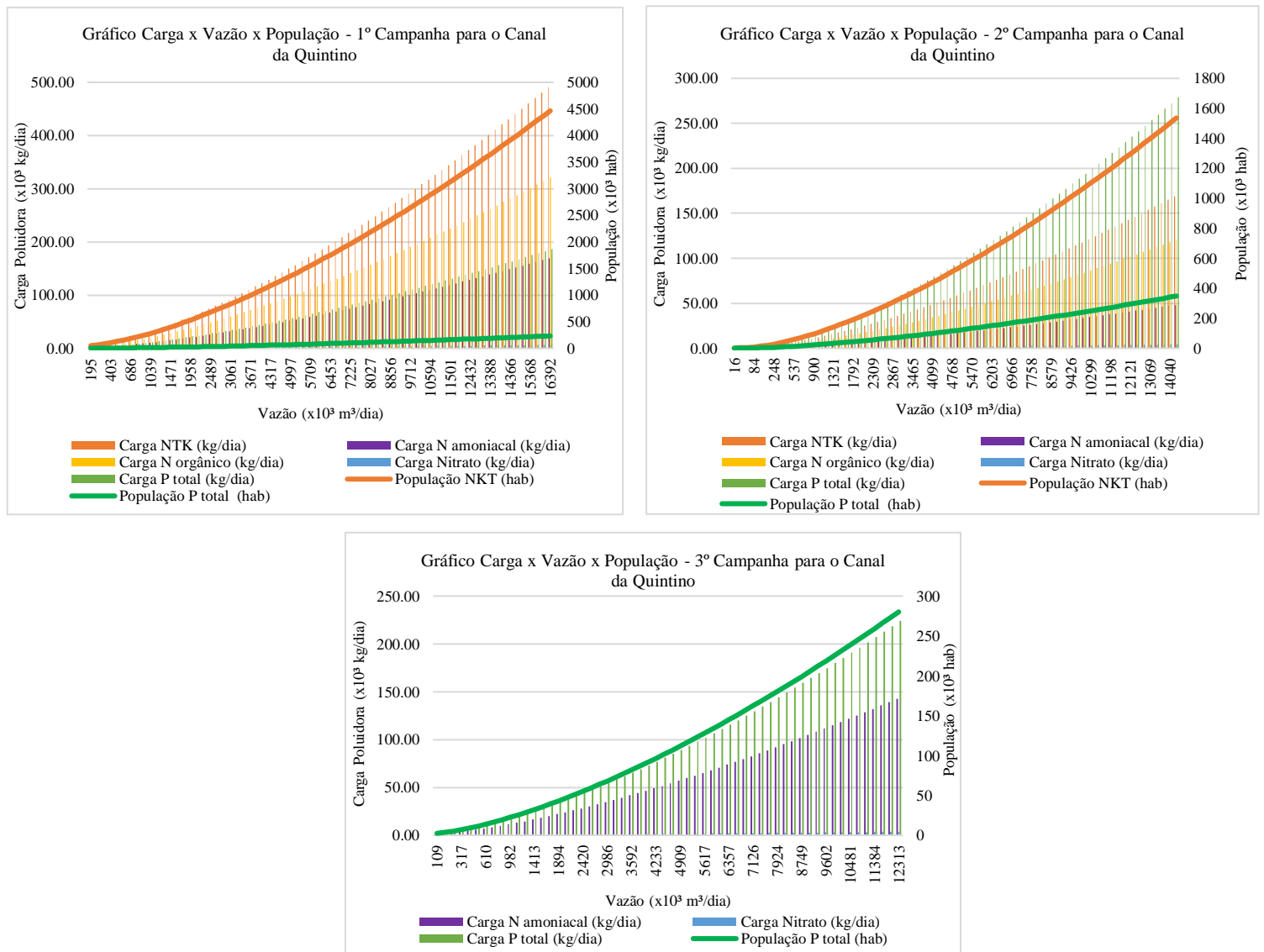


Figura 15 - Gráficos Carga x Vazão x População - Canal da Quintino

As cargas poluidoras e contribuição per capita das formas de N e P no esgoto doméstico naturalmente variam de localidade para localidade, mas assim como diversos municípios brasileiros, Belém/PA, por apresentar tratamento precário do esgoto sanitário, evidenciou altos valores de nutrientes a partir da vazão simulada.

Nos gráficos da figura 15, vemos que a medida que a vazão aumenta a carga poluidora segue o mesmo ritmo, sendo grandezas diretamente proporcionais. Neste, identificam-se que mesmo no ponto de vazão mínima, que é necessária para manter um regime de fluxo, são encontrados valores de cargas elevados, inferindo também há elevação concentração de algas no meio.

Os resultados relacionados na 1ª campanha nos mostram que por ser o período mais chuvoso, a vazão influenciou na concentração de cargas de nutrientes, uma vez que o arraste de poluentes e partículas devido ao escoamento superficial é maior. Diferentemente, do que se observa para o gráfico apresentado para a 2ª campanha, cujo período menos chuvoso apresentou menores valores de vazão e logo de cargas. Essa variação reflete diretamente na qualidade da água, principalmente quanto ao efeito diluição dos poluentes.

Na simulação da 2ª campanha, realizada no período menos chuvoso já é observado a redução nos valores de vazão quando comparados à 1ª, no entanto ainda é evidente que o valor de cargas por dia é elevado. Percebe-se ainda que o P total foi o elemento que mais se destacou, possuindo um teor suficiente para ser ligado a presença de esgoto doméstico.

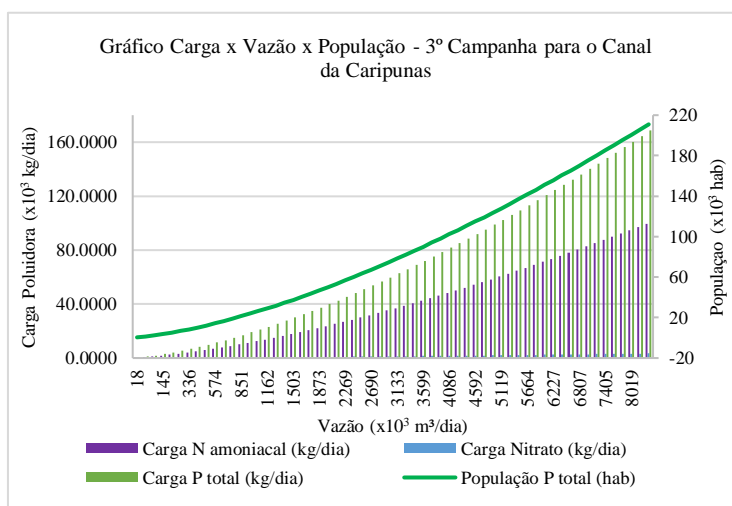
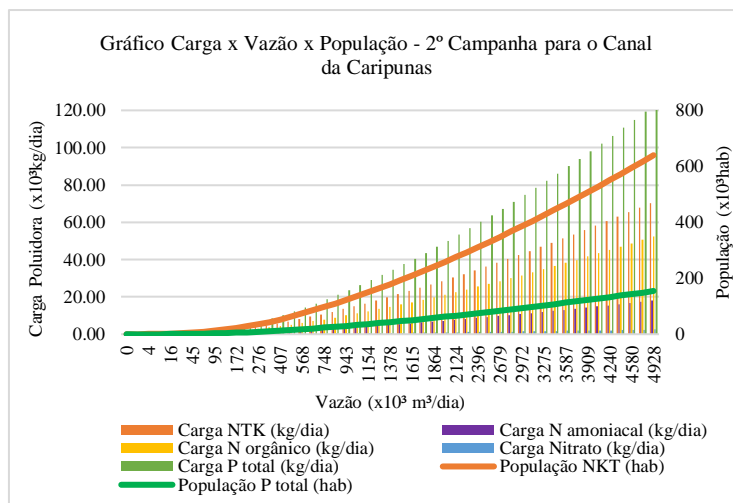
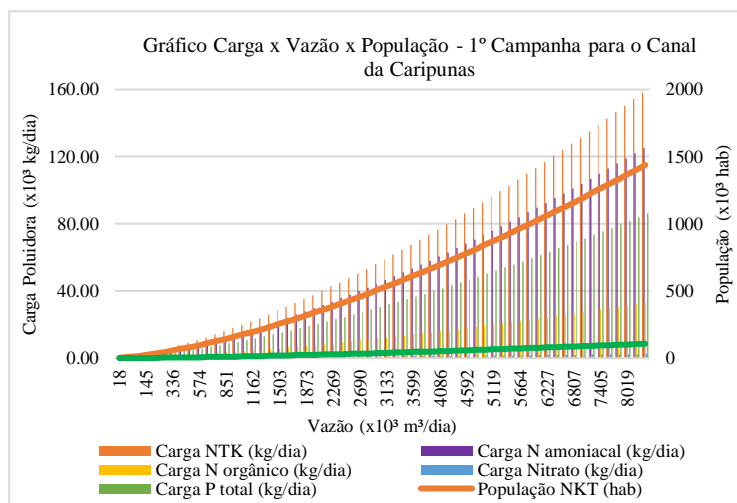
Para a 3ª campanha, não foi possível o resultado de carga para o NTK e o N-Orgânico. Apesar disso, o P total atestou níveis elevados que podem acarretar problemas aos vários usos previstos para o corpo d'água, mesmo não apresentando implicações sanitárias na qualidade da água.

Destacando a presença de nitrato, mesmo que em menores concentrações, conforme observado por ZOPPAS *et al.* (2016), representa um potencial risco para a saúde. Isso ocorre quando o  $\text{NO}_3^-$  tem sua forma reduzida a  $\text{NO}_2^-$ , que uma vez combinado com a hemoglobina do sangue, causar a metahemoglobinemia, conhecida como a síndrome do bebê azul, que ocorre geralmente em recém-nascidos, porém pode afetar adultos com particular deficiência enzimática.

Diante disso, vemos que o canal da Quintino Bocaiuva, por ter área de maior contribuição apresentou maiores níveis de cargas, assim como maiores valores de vazão simulada. Sabendo que a relação entre a vazão do efluente e do corpo receptor é um fator muito importante para determinar se haverá prejuízos à qualidade da água ou não, entendem-se que para o canal da Quintino de elevada vazão, a quantidade de cargas direcionadas ao rio Guamá poderá resultar na degradação do mesmo, uma vez convertendo os produtos benéficos.

#### 4.3.2 Canal da Caripunas

De antemão, cabe destacar que o canal da Caripunas não teve uma 3ª medição de batimetria, sendo replicado os valores encontrados durante a 1ª campanha, os quais também foram realizados no mês de outubro, então desempenhando a função de representar a realidade de um período chuvoso. Assim, na figura 16 encontram-se evidenciados os gráficos das referidas campanhas para o canal da Caripunas.



**Figura 16 - Gráficos Carga x Vazão x População - Canal da Caripunas**

Novamente a 1ª campanha apresentou maiores valores de vazão (período mais chuvoso), reitera-se que com aumento do escoamento superficial, conseqüentemente, maior se torna o carregamento de substâncias, logo veremos os maiores valores de carga e população equivalente. Na referida campanha, as cargas de NTK também evidenciaram os valores mais elevados, permitindo concluir que houve despejo irregular de efluentes domésticos.

Com relação a 2ª campanha, observa-se que quando se trata das estimativas de vazão feitas nos canais, no período menos chuvoso apresentaram menores valores de vazão quando comparadas ao mais chuvoso (1ª e 3ª campanhas), influenciando diretamente na qualidade da água, que conforme foi analisado no item 4.2 apresentou parâmetros que ultrapassaram o limite estabelecido pela legislação.

A respeito da 3ª campanha, como já mencionada não teve valores de carga para NTK e N Orgânico, assim sendo, o valor de P total foi o que apresentou mais significância. Cabe reiterar que a problemática deste canal uma vez concluída a obra é com relação a maior dificuldade e elevação dos custos de tratamento da água. Uma vez que a presença excessiva de algas afeta substancialmente o tratamento da água captada, é dada a necessidade de remoção dos



organismos e algas, remoção de cor, remoção de sabor e odor, além do maior consumo de produtos químicos e lavagens mais frequentes dos filtros.

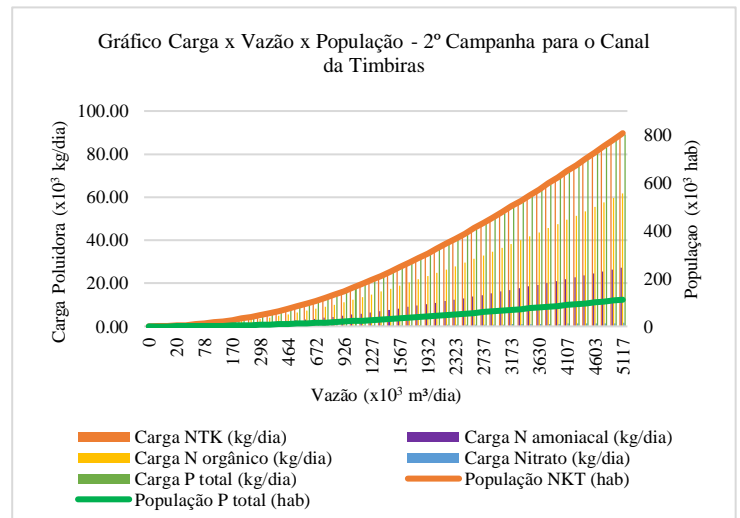
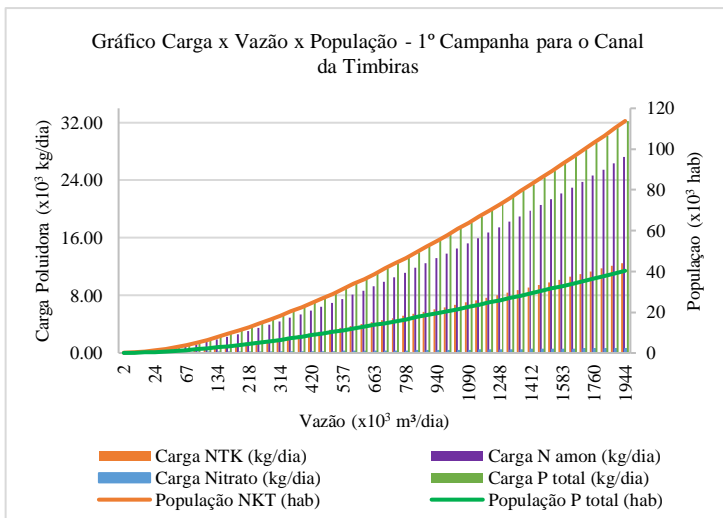
Nestas condições, o lançamento no corpo receptor deverá ter características mais restritivas, mesmo no caso rio Guamá com boa capacidade de assimilação e diluição.

Outro fator que pode influenciar na concentração dos poluentes é a variação de diferentes declividades nos canais, que podem explicar o comportamento do transporte dos sedimentos. Conforme o estudo realizado pela Engesolo Engenharia (2007) foi verificado que a declividade é praticamente nula, o que pode reduzir o carreamento de sedimentos. Porém, devido as análises terem ocorrido em período de obras no canal da Caripunas, sedimentos e outros resíduos podem ter influenciado na concentração dos nutrientes.

### 4.3.3 Canal da Timbiras

Neste canal, enfoca-se sua característica de atuar como um pequeno lago, em que o processo de eutrofização é mais favorável e se observam o crescimento de algas e de outras plantas, devido às condições ambientais como turbidez e velocidades serem mais baixas, ainda destacando que foi o que apresentou menores valores de vazão simuladas, constituindo motivos de preocupação crescente, uma vez que os valores de carga, apesar de menores quando comparados aos outros canais, são bastantes significativos considerando as características do canal.

A figura 17 encontram-se evidenciados os gráficos das referidas campanhas para o canal da Timbiras.



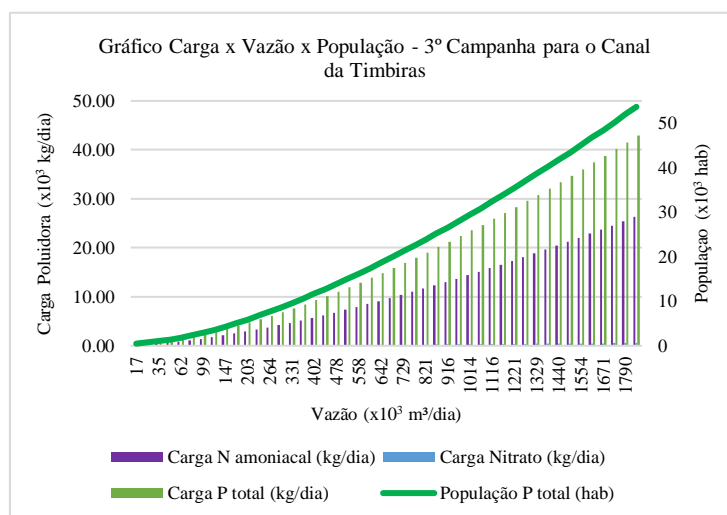


Figura 17 - Gráficos Carga x Vazão x População - Canal da Timbiras

A partir da análise dos gráficos referentes ao canal da Timbiras, logo nota-se que apresentou comportamento divergente dos demais canais, observa-se que as cargas de P-total satisfazem como o elemento predominante, o qual além do esgoto doméstico ainda pode ser introduzido no meio devido à presença de detergentes. Nesse cenário, permite-se inferir que devido a localização do canal, onde a presença de casas com pouca ou quase nenhuma infraestrutura de saneamento, sendo observado “jiraus” abertos, é marcante, a ação do fósforo teve grande influência no resultado das cargas poluidoras. Outro comportamento registrado, é o destaque do N amoniacal, que é indicativo de poluição recente.

Os resultados para a campanha nº 2 e 3, seguem o comportamento observado na 1ª, novamente sendo encontrados nutrientes limitantes da vida aquática, podendo indicar a possibilidade de eutrofização do corpo hídrico pela proliferação excessiva de algas ou vegetação aquática, cuja decomposição leva ao aumento da demanda bioquímica de oxigênio e à consequente deterioração da qualidade do corpo d’água.

Apesar desta análise não ter sido o foco da pesquisa, um fator importante é que a quantidade de cargas simuladas podem ter influenciado diretamente na concentração de OD, principalmente, nas águas no período mais chuvoso, sendo observado nas campanhas realizadas neste período foram registradas as mais elevadas concentração de nutrientes.

Considerando os resultados encontrados, os valores relativos às formas químicas de nitrogênio e fósforo nas condições de vazão simuladas, principalmente no que se refere às vazões máximas, poderão ser maléficis às águas dos canais, onde se prevê uma significativa degradação da qualidade das águas, as quais seguirão até o rio Guamá, e consequentemente, atingirão a população que de forma direta ou indireta têm contato com esses corpos hídricos.

O resultado disso além de acarretar na contaminação do principal manancial do município de Belém/PA, o qual é utilizado no abastecimento público de água, pode acarretar prejuízos para outros usos previstos no enquadramento do corpo d’água, como na importância do rio no contexto hidrogeográfico, sendo rota de escoamento de muitos municípios equidistantes.

No entanto, é inegável que o enriquecimento por nutrientes é uma das principais causas de degradação da água, principalmente em bacias com ocupação predominantemente urbana, como a área de estudo, localizada no centro do município de Belém/PA, podendo ocorrer então estímulo e o crescimento de plantas aquáticas que poderão desequilibrar a oferta de oxigênio dissolvido, como observado por Bollmann e Marques (2006), o que foi evidenciado nos canais

de macrodrenagem, principalmente no canal da Caripunas e Timbiras, em que há a presença de marcante de plantas aquáticas.

#### 4.4 População Equivalente

Em termos de população equivalente, os resultados evidenciaram que o número de habitantes é superior ao que a contribuição real e ao que foi apresentada no projeto do PROMABEM, isso se manteve para os 3 canais analisados. Destaca-se o comportamento registrado para a o canal da Timbiras, apresentando menor contribuição quando comparado aos outros, apesar de ainda ser bastante representativo e não caracterizar a real situação vivenciada na área. Com esta simulação, foi possível verificar qual a quantidade de habitantes estimados que estão contribuindo para a degradação da água dos canais, em que os valores encontrados fizeram com que a carga dos nutrientes nos demonstre qual prejudicial pode ser o processo de autodepuração do corpo receptor.

Sabe se que com a implantação da macrodrenagem em vários bairros da cidade de Belém/PA, houve diversas alterações que afetaram a estimativa de vazão dos canais, como a impermeabilização de vias, que aumentaram o escoamento superficial e conseqüentemente as vazões de chegada nos sistemas de drenagem e coleta de águas, o que gerou graves problemas à população de um modo geral, mas principalmente, àquelas habitantes de áreas marginais que possuem pouca infraestrutura de saneamento, como é o caso da BHEN.

Nesse sentido e considerando que as habitações não tem sistema de tratamento de esgoto, já era esperado que o cálculo de população fosse apresentar números elevados e que talvez não representasse a realidade, assim sendo, é necessário que a gestão pública tenha uma preocupação maior com o tratamento desse efluente, que deve ser realizado a montante do lançamento no corpo receptor final, sendo este o rio Guamá.

#### 5. Conclusões

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa, foi possível a obtenção das seguintes conclusões:

- Canais com declividade nula, como os BHEN, a simulação das vazões, com a criação de equações características se demonstrou uma ferramenta útil para avaliação quantitativa, tendo em vista a obtenção rápida dos valores de vazão em função apenas do nível d'água;
- As características qualitativas apuradas demonstraram elevadas concentrações de nutrientes nas águas dos canais de macrodrenagem da BHEN, compatíveis com as apresentadas em esgotos sanitários, tanto para nitrogênio (em suas diferentes formas) como para fósforo;
- As interpretações através do indicativo de população equivalente confirmaram a elevada presença de esgoto sanitário nos canais de macrodrenagem avaliados;
- Foi possível confirmar a elevada presença de esgoto sanitário nas águas dos canais de macrodrenagem da BHEN e que a elevada presença de cargas poluidoras de nutrientes pode contribuir para impactos ambientais no Rio Guamá, corpo receptor destes lançamentos.

Diante do que foi exposto, entende-se a importância do estudo de quantificação de cargas poluidoras, principalmente a nível de conhecimento de órgãos ambientais, haja vista que a partir dessa caracterização, são estabelecidas normas e padrões específicos para o licenciamento de atividades ou empreendimentos, os quais devem obedecer a carga poluidora máxima para o

lançamento de efluentes em corpos hídricos, de modo a não comprometer sua qualidade, uma vez que é notória a dificuldade em se atender aos padrões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELÉM, A. G. **Urbanização e remoção: por que e para quem?**. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos - NAEA. 2 ed. Belém/PA. 2018.

ALENCAR, V. E. A. DA ROCHA, E. J. P. DE SOUZA JÚNIOR, J. A. CARNEIRO, B. S. **Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém– PA**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 02, p. 661-680. Março, 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington DC, Estados Unidos. 2018.

BOLLMANN, H. A. MARQUES, D. M. L. M. **Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária**. Revista Engenharia Ambiental e Sanitária, v. 11, n. 4. p. 343-352. Out/dez, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Disponível em:

[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfda\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf).

Acesso em 21 de março de 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em:

<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em 21 de março de 2022.

CABRAL, L. N. CÂNDIDO, G. A. **Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões de causa e efeito**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 11, e20180063.

<https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO08>. (2019).

DA SILVEIRA, G. L. DA SILVA, C. E. IRION, C. A. O. CRUZ, J. C. RETZ, E. F. **Balanco de Cargas Poluidoras pelo Monitoramento Quali-quantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n.1, Jan/Mar, 2003.

ENGESOLO ENGENHARIA. **Estudo de Impacto Ambiental do Programa de Reabilitação Urbana e Ambiental da Bacia da Estrada Nova**. Belém: Engesolo Engenharia, 2007.

FRANÇA, L. R. C. **Aplicação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto no controle da poluição de águas em sistemas de drenagem urbana**. (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 2020.



GONÇALVES, G. W. P. S. **Urbanização e qualidade da água: Monitoramento em lagos urbanos de Londrina-PR.** (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2008.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais.** 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Belém.** 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>. Acesso em: 23 de maio de 2022.

LIMA, A. C. M. FERNANDES, L. L. LOPES, D. F. BITTENCOURT, G. M. VINAGRE, M. V. A. DA SILVA, E. M. **Urbanização e canais urbanos: avaliação da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Una no Município de Belém, Brasil.** Research, Society and Development, v. 9, n. 7, e232973866, 2020.

METCALF & EDDY INC. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** AMGH. 5ª edição. Português. 1980 p. Porto Alegre- RS. 2016.

MENEZES, J. P. C. BITTENCOURT, R. P. FARIAS, M. S. BELLO, I. P. FIA, R. DE OLIVEIRA, L. F. C. **Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Jul-Set, 2016.

PEREIRA, D. O. **Proposta de plano de monitoramento de vazões dos canais de macrodrenagem das sub-bacias 1 e 2 da Bacia Hidrográfica da Estrada Nova – Belém/PA.** Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará. Belém, 2021.

PIMENTEL, I. M. C. CALLADO, N. H. SOUZA, V. C. B. **Qualidade ambiental da Bacia do Riacho Pau D'Arco e sua influência na carga poluidora de duas águas.** XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Aracaju, Sergipe. 2016.

STEVENSON, W. J. **Estatísticas aplicada a administração.** São Paulo: Harbra, 1986.

UCP/PROMABEN. UNIDADE COORDENADORA DO PROGRAMA DE SANEAMENTO DA BACIA DA ESTRADA NOVA. **Obras na Estrada Nova começam a ser entregues em janeiro e vão beneficiar 1 milhão de pessoas.** Disponível em: <https://promaben.belem.pa.gov.br/obras-na-estrada-nova-comecam-a-ser-entregues-em-janeiro-e-vo-beneficiar-1-milhao-de-pessoas/>. Acesso em: 10 de dezembro de 2022. 2022.

VINAGRE, M. V. A. VIEIRA, M. R. S. LIMA, A. C. M. LIBOS, N. M. C. PONTE, M. J. M. **Hierarquização multicritério de alternativas de macrodrenagem urbana na bacia hidrográfica da Estrada Nova em Belém - PA, Amazônia, Brasil.** Research, Society and Development, v.10, n. 11. Agosto, 2021.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFGM, 2014.

ZOPPAS, F. M. BERNARDES, A.M. MENEGUZZI, A. **Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, p. 29-42. 2016.