

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS VINICIUS GARCIA ALMEIDA

PROPOSIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE OBRA DE ARTE
ESPECIAL: estudo de caso do trecho da travessia do rio Paciência com a MA-201

São Luís

2024

MATHEUS VINICIUS GARCIA ALMEIDA

**PROPOSIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE OBRA DE ARTE
ESPECIAL: estudo de caso do trecho da travessia do rio Paciência a MA-201**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil
da Universidade Estadual do Maranhão
para o grau de bacharel em Engenharia
Civil

Orientadora: Prof. Dra. Maria Teresinha de
Medeiros Coelho
Co-orientadora: Prof. Dra. Mayssa Alves
da Silva Sousa

São Luís
2024

Almeida, Matheus Vinicius Garcia

Proposição de dimensionamento hidráulico de obra de arte especial: estudo de caso do trecho da travessia do rio Paciência com a MA-201 / Matheus Vinicius Garcia Almeida. – São Luis, MA, 2024.

102 f

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Maranhão, 2024.

Orientador: Profa. Dra Maria Teresinha de Medeiros Coelho

1.Dimensionamento hidráulico. 2.Inundação. 3.Pontes. I.Título.

CDU: 626.824

Elaborado por Cássia Diniz - CRB 13/910

MATHEUS VINICIUS GARCIA ALMEIDA

**PROPOSIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE OBRA DE ARTE
ESPECIAL: estudo de caso do trecho da travessia do rio Paciência com a MA-201**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil
da Universidade Estadual do Maranhão
para o grau de bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovado em: 22/08/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARIA TERESINHA DE MEDEIROS COELHO**
Data: 21/08/2024 15:03:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho
Universidade Estadual do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **MAYSSA ALVES DA SILVA SOUSA**
Data: 21/08/2024 15:47:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Mayssa Alves da Silva Sousa
Universidade Estadual do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **CLAUDIO JOSE DA SILVA DE SOUSA**
Data: 21/08/2024 15:53:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Claudio José da Silva Sousa
Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, pelo dom da vida, inteligência, discernimento e esforço concedido até aqui. Somado a isso, pela aprovação na academia, em que pude desfrutar de inúmeras experiências jamais almejadas, como participação em empresa júnior, trabalho de extensão e PIBIC.

Adiante, gostaria de agradecer à minha família, em especial à minha saudosa avó, Maria Mendes Almeida, por todo esforço concedido à minha criação durante 17 anos de sua vida, na qual foi fundamental para meu desenvolvimento como ser humano. Agradeço ao meu avô, Antônio Oliveira Almeida, pela convivência e zelo todos os dias para que eu pudesse chegar até aqui de forma íntegra. Aos meus pais, Marcos Antônio Mendes Almeida e Leida Regina Garcia, por todo esforço destinado à minha educação. À minha tia, Marjory Andreia Mendes Almeida, por todo apoio dado até aqui. Agradeço também a minha noiva, Juliana Jansen Santos, por todo companheirismo oferecido durante os cinco anos de graduação, proporcionando conselhos, apoio e motivação. E por fim, ao meu filho, Rafael Jansen Almeida, que mesmo no ventre oferece amor e força para lutar a cada dia pelos meus sonhos.

Os agradecimentos também se destinam à minha orientadora desse trabalho, Maria Teresinha de Medeiros Coelho, pelo apoio, conselho e cautela na elaboração do trabalho e também na orientação de dois PIBIC's. Ao professor Cláudio José, pelos conselhos dados em todas as fases do curso, pela ajuda destinada às minhas experiências dentro da academia. À professora Mayssa Alves da Silva Sousa, minha eterna gratidão pela ajuda, conselhos dentro de sala de aula, motivação pela busca da excelência e inspiração pelo ser humano que és.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos, que compartilharam desses cinco anos de graduação, vivenciando altos e baixos, dificuldades, frustrações e momento de alegria e felicidade.

RESUMO

O ciclo hidrológico é, por natureza, equilibrado, porém, a urbanização desordenada compromete esse equilíbrio, resultando em solo impermeabilizado e ocorrências de inundações. A ausência de integração entre o gerenciamento de drenagem e o planejamento urbano é um problema recorrente no Brasil. Em São Luís, a urbanização lenta e a especulação imobiliária têm ocasionado inundações frequentes na Bacia do Rio Paciência, impactando o tráfego, os imóveis e a saúde pública. É crucial implementar um planejamento urbano eficaz e atualizar os sistemas de drenagem para mitigar esses impactos. O estudo de caso proposto, oriundo do Programa PIBIC/CNPq 2021/2022, tem como objetivo o desenvolvimento de um dimensionamento hidráulico para uma obra de arte especial que atravessa o Rio Paciência, na rodovia MA-201, no município de São Luís – MA. O intuito é reduzir os problemas decorrentes da urbanização e melhorar a gestão das águas pluviais. O estudo envolveu a análise das características físicas de uma sub-bacia do Rio Paciência, por meio de levantamentos bibliográficos e da análise da pluviometria local com base em séries históricas de chuvas fornecidas pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Núcleo Geoambiental do Maranhão (NUGEO) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Foi realizada pesquisa de campo com o auxílio do acervo cartográfico disponível em sites do Governo Federal, utilizando os softwares QGIS para a elaboração de mapas e AutoCAD para a criação de plantas de perfis de elevação e plantas baixas. O dimensionamento hidráulico da obra foi conduzido conforme as normas pertinentes, para assegurar a adequação e eficiência do projeto. A análise identificou que o dimensionamento hidráulico ideal para a região é uma ponte com um vão de 30 metros de comprimento, a fim de garantir que as inundações não causem danos significativos na área.

Palavras-chave: Dimensionamento hidráulico; inundações; pontes.

ABSTRACT

The hydrological cycle is naturally balanced; however, disordered urbanization disrupts this balance, leading to impermeable soil and flooding events. The lack of integration between drainage management and urban planning is a recurring issue in Brazil. In São Luís, slow urbanization and real estate speculation have caused frequent flooding in the Paciência River Basin, affecting traffic, properties, and public health. Implementing effective urban planning and updating drainage systems are crucial to mitigating these impacts. The proposed case study, originating from the PIBIC/CNPq Program 2021/2022, aims to develop hydraulic sizing for a special structure crossing the Paciência River on the MA-201 highway in São Luís, MA. The goal is to address problems arising from urbanization and improve stormwater management. The study involved analyzing the physical characteristics of a sub-basin of the Paciência River through bibliographic research and local pluviometry analysis based on historical rainfall data provided by the National Water Agency (ANA) and the Geoenvironmental Nucleus of Maranhão (NUGEO) at the State University of Maranhão (UEMA). Field research was conducted with the aid of cartographic resources available on federal government websites, using QGIS software for map creation and AutoCAD for generating elevation profiles and floor plans. The hydraulic sizing of the structure was carried out according to relevant standards to ensure the project's adequacy and efficiency. The analysis determined that the ideal hydraulic sizing for the region is a bridge with a 30-meter span to ensure that flooding does not cause significant damage to the area.

Keywords: Hydraulic Design; Flooding; Bridges.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Representação do ciclo da água.....	16
Figura 02 – Divisão das bacias hidrográficas brasileiras.....	17
Figura 03 – Pluviômetro.....	22
Figura 04 – Pluviógrafo.....	22
Figura 05 – Mapa das isozonas brasileiras.....	24
Figura 06 – Ponte Ironbridge.....	37
Figura 07 – Primeira ponte em concreto armado.....	38
Figura 08 – Elementos principais de uma ponte.....	38
Figura 09 – Seção transversal de uma ponte.....	39
Figura 10 – Representação detalhada de uma ponte.....	41
Figura 11 – Ponte treliçada.....	41
Figura 12 – Ponte Pênsil em Santa Catarina.....	42
Figura 13 – Representação de ponte pênsil.....	42
Figura 14 – Ponte estaiada.....	43
Figura 15 – Inundação na região do estudo em decorrência de fortes chuvas.....	45
Figura 16 – Inundação na travessia do rio Paciência com a MA-201.....	45
Figura 17 – Localização das estações pluviométricas.....	53
Figura 18 – Ábaco da distribuição espacial da chuva (k).....	55
Figura 19 – Bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão.....	57
Figura 20 – Localização da bacia do Rio Paciência na Ilha do Maranhão.....	58
Figura 21 – Delimitação da sub-bacia do rio Paciência travessia com a MA-201.....	58
Figura 22 – Vista aérea da travessia da MA-201 com o rio Paciência.....	59
Figura 23 – Vista transversal da ponte de concreto da travessia.....	60
Figura 24 – Material obstruindo parcialmente fluxo da água nas estruturas da galeria celular.....	60
Figura 25 – Localização da seção delimitada no estudo.....	61
Figura 26 – Detalhes da localização da seção delimitada para estudo.....	62
Figura 27 – Representação da seção transversal do pontilhão existente na travessia da MA-201.....	62
Figura 28 – Curvas de níveis da sub-bacia delimitada.....	63

Figura 29 – Dados da precipitação média mensal entre 1985-2023.....	69
Figura 30 – Dados da precipitação máxima mensal entre 1985-2023.....	69
Figura 31 – Dados do número de dias com chuva entre 1985-2023.....	70
Figura 32 – Precipitações máximas anuais.....	70
Figura 33 – Curva de Intensidade-Duração-Frequência.....	73
Figura 34 – Curva de Precipitação-Duração-Frequência.....	73
Figura 35 – Gráfico: Cota x $AR^{2/3}$ – Travessia MA-201.....	76
Figura 36 – Gráfico: Cota x $AR^{2/3}$ – Travessia MA-201 (vão = 20m)	77
Figura 37 – Gráfico: Cota x $AR^{2/3}$ – Travessia MA-201 (vão = 30m)	78
Figura 38 – Seção transversal de pontilhão após o delimitado para estudo.....	79
Figura 39 – Vista aérea do pontilhão.....	79
Figura 40 – Ponte Verde próximo ao Shopping Pátio Norte, Paço do Lumiar - MA.....	80
Figura 41 – Seção transversal para vão 10 metros	80
Figura 42 – Seção transversal para vão 20 metros	81
Figura 43 – Seção transversal para vão 30 metros	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Grandezas características da precipitação.....	20
Quadro 02 – Isozonas.....	24
Quadro 03 – Valores de K segundo Gumbel.....	26
Quadro 04 – Período de recorrência utilizado pelo DNIT.....	28
Quadro 05 – Grandezas características do escoamento superficial.....	33
Quadro 06 – Valores dos coeficientes de rugosidade de Manning.....	48
Quadro 07 – Grau de impermeabilização do solo em função de seu uso.....	50
Quadro 08 – Coeficientes volumétricos de escoamento C_2	50
Quadro 09 – Dados do posto pluviométrico - INMET.....	52
Quadro 10 – Dados do posto pluviométrico – NUGEO.....	53
Quadro 11 – Precipitações médias mensais de 1985 – 2023.....	54
Quadro 12 – Definição das altitudes da sub-bacia do Rio Paciência.....	64
Quadro 13 – Cálculo da declividade média equivalente da sub-bacia.....	64
Quadro 14 – Coeficiente de rugosidade “n” para a sub-bacia do estudo.....	65
Quadro 15 – Parâmetros para cálculo do Modelo de Manning.....	66
Quadro 16 – Dados para cálculos da vazão de contribuição.....	67
Quadro 17 – Método estatístico de Chow-Gumbel.....	71
Quadro 18 – Precipitações diárias em função do tempo de retorno.....	72
Quadro 19 – Precipitação de 24 horas, 1 hora e 06 minutos.....	72
Quadro 20 – Parâmetros da equação da chuva.....	74
Quadro 21 – Parâmetros para cálculo através do método I-PAI-WU.....	74
Quadro 22 – Cálculos hidráulicos de enchente máxima na travessia da MA-201.....	75
Quadro 23 – Cálculos hidráulicos para vão de 20 metros.....	77
Quadro 24 – Cálculos hidráulicos para vão de 30 metros.....	78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Hidrologia	15
2.1.1 Ciclo hidrológico.....	15
2.1.2 Bacia Hidrográfica.....	16
2.1.3 Vazão de capacidade.....	18
2.1.4 Método I-PAI-WU – Vazão de contribuição.....	19
2.1.5 Precipitação.....	19
2.1.6 Período de retorno.....	27
2.1.7 Tempo de concentração.....	29
2.1.8 Escoamento superficial.....	31
2.2 Inundações urbanas	33
2.3 Drenagem urbana	35
2.3.1 Drenagem de transposição de talvegues.....	35
2.4 Pontes	36
2.4.1 Elementos estruturais.....	38
2.4.2 Classificação das pontes.....	40
2.4.3 Pontes em vigas.....	40
2.4.4 Pontes treliçadas.....	41
2.4.5 Pontes pênses.....	41
2.4.6 Pontes estaiadas.....	42
3 METODOLOGIA	43
3.1 Caracterização da área delimitada para estudo	44
3.2 Cálculo da capacidade de vazão do Rio Paciência na travessia com a MA 201	46
3.2.1 Identificação da calha.....	46
3.2.2 Identificação da declividade.....	46
3.2.3 Identificação da rugosidade da margem do rio Paciência.....	47

3.2.4 Vazão de capacidade do trecho MA 201.....	49
3.3 Método I-PAI-WU- Vazão de contribuição.....	49
3.3.1 Coeficiente “C”	49
3.3.2 Tempo de recorrência.....	51
3.3.3 Tempo de concentração.....	51
3.3.4 Precipitação e intensidade da chuva.....	52
3.3.5 Transformação de chuva máxima em vazão.....	54
3.3.6 Coeficiente espacial da chuva.....	55
3.3.7 Cálculo da enchente máxima.....	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1 Área da sub-bacia.....	57
4.2 Identificação da configuração da calha do rio.....	61
4.3 Declividade do rio.....	63
4.4 Rugosidade da margem do rio.....	65
4.5 Cálculo da vazão de capacidade – Aplicação do Modelo de Manning.....	65
4.6 Cálculo da vazão de contribuição – Método I-PAI-WU.....	66
4.6.1 Tempo de concentração.....	68
4.6.2 Precipitação.....	68
4.6.3 Equação da chuva.....	74
4.7 Cálculo da enchente máxima.....	75
4.8 Dimensionamento hidráulico do dispositivo de drenagem.....	76
4.9 Resumo da proposta de dimensionamento hidráulico.....	80
4.9.1 Vão = 10 metros.....	80
4.9.2 Vão = 20 metros.....	81
4.9.3 Vão = 30 metros.....	81
5 CONCLUSÃO	83
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A: Dados pluviométricos.....	92
APÊNDICE B: Plantas de perfil de elevação, baixa e seção longitudinal.....	96

1 INTRODUÇÃO

Em suas condições naturais o ciclo hidrológico é entendido como um sistema em constante equilíbrio dinâmico, todavia, o crescimento urbano acarreta em diversas modificações no comportamento do ciclo, comprometendo a bacia hidrográfica e transformando parte das cidades em áreas de solo impermeabilizado (ALVES *et. al*, 2020). Essa situação se agrava durante o período chuvoso, em que o excesso de água que chega ao sistema de drenagem aumenta devido à canalização advinda das construções, produzindo inundações (TUCCI, 2004; ALVES *et al*, 2020).

A necessidade de aprimorar o gerenciamento da drenagem é evidente. No entanto, muitos municípios brasileiros negligenciam a integração entre gerenciamento e planejamento urbano, como observado por Canholi (2005). Um exemplo recente é a cidade de Porto Alegre, que enfrentou uma das maiores inundações de sua história no ano de 2024. Segundo o engenheiro Augusto Damiani, a causa desse desastre ambiental é a ausência crônica de manutenção no sistema de proteção contra cheias da capital (CENTENO, 2024).

Há propostas de mapeamento contendo manchas de inundação, as quais fazem parte do Sistema de Alertas Hidrológicos, que pode ser utilizado como ferramenta de planejamento urbano e, também possibilita alarmar as autoridades municipais e regionais, de acordo com Coelho (2021). Além disso, muitos sistemas de drenagem estão obsoletos e inadequados para o escoamento das águas pluviais, tornando necessário um redimensionamento para evitar inundações recorrentes durante períodos chuvosos (TEIXEIRA, 2021).

A urbanização acelerada, especialmente a partir da década de 1940, transformou o Brasil em um país essencialmente urbano, com impactos significativos nas capitais do Sul e Sudeste (TUCCI, 2012). A cidade de São Luís, capital do Maranhão, experimentou uma urbanização mais lenta e, ao longo do tempo, desenvolveu áreas propensas a inundações, principalmente próximas aos cursos d'água, como o rio Paciência, que faz parte da Bacia do Rio Paciência (FRANÇA, 2019).

A urbanização desenfreada na Bacia do Rio Paciência, impulsionada pela especulação imobiliária e pela construção de condomínios, resultou em inundações frequentes nas áreas adjacentes ao rio, afetando o tráfego de rodovias e avenidas, imóveis vizinhos e causando prejuízos materiais e impactos na saúde (BEZZERA *et*

al., 2004; FRANÇA, 2019). Portanto o Plano Diretor deve prever o desenvolvimento da cidade e as práticas necessárias para melhorar as condições atuais (TUCCI, 2008).

O presente estudo deu continuidade ao projeto do Programa de Bolsas PIBIC/CNPq 2021/2022, visando propor um dimensionamento hidráulico eficaz para um ponto específico de uma sub-bacia do Rio Paciência em São Luís. A cidade tem sofrido com as consequências da urbanização e ausência de planejamento urbano, resultando em acidentes graves, engarrafamentos e perdas materiais e humanas.

1.1 Justificativa

As inundações são adversidades recorrentes do desenvolvimento urbano, principalmente, em períodos chuvosos e são frequentemente intensificadas pela mediação da ação humana em espaços urbanos, uma vez que a evolução do gerenciamento do sistema de drenagem urbano não segue o mesmo ritmo do crescimento populacional. O correto dimensionamento dos dispositivos de drenagem reduz inundações, no entanto, quando há ausência de acompanhamento fomenta uma sucessão de transtornos e tragédias.

É importante ressaltar a relevância do estudo de drenagem urbana, principalmente no âmbito regional, uma vez que o presente trabalho aborda um estudo acerca do município de São Luís e municípios vizinhos, que possuem um sistema de drenagem ineficaz em grande parte de suas regiões, acarretando em diversos problemas como inundações e transmissão de doenças através de água contaminada.

A proposição de um dimensionamento eficiente para uma obra de arte especial localizada na capital maranhense que transpõe o Rio Paciência é de fundamental importância para reduzir gastos com medidas temporárias, como a limpeza das margens, evitar problemas graves e tragédias nas adjacências, além de mitigar a proliferação de doenças transmitidas por esse fenômeno.

As inundações afetam anualmente a vida da população e não se tem conhecimento de medidas públicas que as reduzissem na Ilha de Upaon Açu. Assim, este estudo pode sensibilizar as autoridades municipais sobre a necessidade de redimensionar os sistemas de drenagem urbana e realizar construções baseadas em análises como a proposta aqui apresentada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Propor o dimensionamento hidráulico para uma obra de arte especial que transpõe o Rio Paciência na rodovia MA-201 no município de São Luís – MA.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar as características físicas de uma sub-bacia do Rio Paciência;
- Mensurar parâmetros hidrológicos para o estudo de enchente máxima;
- Avaliar parâmetros hidráulicos ao longo do leito do rio Paciência no trecho delimitado para o estudo;
- Propor soluções de dimensionamento hidráulico para a obra de arte existente no local em questão;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Hidrologia

A hidrologia é uma disciplina científica que se dedica ao estudo das propriedades, funcionamento e distribuição das águas na superfície e na atmosfera terrestre. Além disso, busca compreender e solucionar problemas associados à engenharia hidráulica e sanitária, hidroeletricidade e drenagem (COIADO, 2017).

Enquanto ciência multidisciplinar, a hidrologia tem avançado significativamente em resposta aos desafios crescentes enfrentados pelas bacias hidrográficas, que incluem o uso e ocupação inadequados, a crescente demanda por recursos hídricos e, principalmente, a degradação ambiental (TUCCI, 2001). Originalmente, a hidrologia era uma ciência descritiva e qualitativa, mas a evolução para métodos quantitativos, através de abordagens matemáticas e estatísticas, foi necessária para aprimorar a precisão dos resultados (TUCCI, 2001).

Esta ciência desempenha um papel fundamental na prevenção e mitigação de desastres naturais, monitorando e controlando eventos como cheias, particularmente aqueles causados pela precipitação que afeta as redes hidrográficas. Os principais componentes da hidrologia são a precipitação e o escoamento superficial (VILLELA & MATOS, 1975).

Do ponto de vista social, a hidrologia tem um impacto significativo, pois está intimamente ligada a questões sociais e ambientais. Em termos ambientais, a hidrologia contribui para o desenvolvimento de projetos que promovem a gestão adequada do uso do solo, o controle da qualidade da água e a avaliação dos impactos das obras hidráulicas sobre os ambientes aquático e terrestre (ALMEIDA, 2022).

2.1.1 Ciclo hidrológico

Ciclo hidrológico se constitui em um fenômeno global da circulação fechada da água entre a atmosfera e a superfície terrestre, em virtude fundamentalmente de três fatores: atuação da luz solar, da gravidade e do movimento de rotação do planeta Terra (TUCCI, 2001).

A água no planeta está em constante movimento e mantém a mesma quantidade desde milhões de anos atrás. Ela não possui uma forma única, e seu estado físico varia continuamente entre sólido, líquido e gasoso. O estado sólido é observado em geleiras e tundras, enquanto o aumento da temperatura provoca a transição para o estado líquido, abastecendo mares e rios. A temperatura também

influencia a transformação da água em vapor, que eventualmente se condensa em nuvens (ALMEIDA, 2017).

Esse ciclo é um processo cíclico e contínuo de transporte de água na superfície terrestre, conectando a atmosfera, continentes e oceanos. A energia solar é a principal fonte de energia desse ciclo, que compreende diversos subciclos. O ciclo hidrológico pode ser entendido como a transferência da água dos oceanos para os continentes e seu subsequente retorno aos oceanos.

O ciclo hidrológico é subdividido em 5 processos, conforme a Figura 01 (FREIRE, 2005):

- a) Evapotranspiração;
- b) Evaporação;
- c) Precipitação;
- d) Escoamento superficial; e
- e) Escoamento subterrâneo.

Figura 01 – Representação do ciclo da água



Fonte: ANA (2024)

2.1.2 Bacia hidrográfica

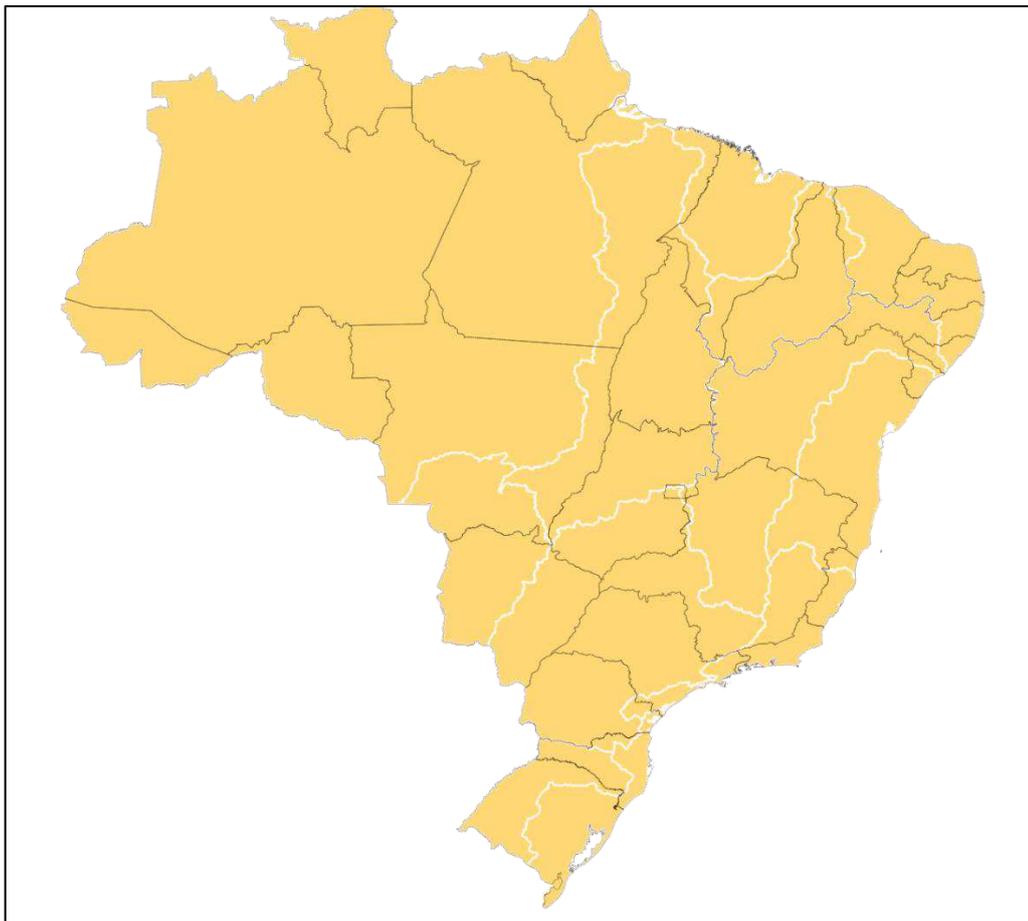
Bacia hidrográfica é uma área de captação natural dos movimentos da água, provenientes do fenômeno da precipitação, que influencia o escoamento para um único ponto de saída, denominado exutório. A delimitação e definição de uma bacia hidrográfica requerem a identificação de um curso d'água, um ponto ou seção de referência e as características do relevo da região (COLLISCHONN, 2013).

Embora seja um sistema aberto, pois nem toda a precipitação resulta em escoamento, a bacia pode reter parte da água, com perdas intermediárias associadas à evaporação, transpiração pela vegetação e infiltração (PAZ, 2004).

A função hidrológica da bacia é transformar a entrada de água proveniente da precipitação em um escoamento mais uniformemente distribuído ao longo do tempo. Esse escoamento pode ser classificado em superficial e subterrâneo, sendo o escoamento superficial caracterizado por uma velocidade maior em comparação ao subterrâneo (TUCCI, 2001).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2003), através da Resolução nº 32 de 15 de outubro de 2003, fragmenta o Brasil em 12 regiões hidrográficas. A Bacia do Rio Paciência está inserida na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental como mostra a Figura 02.

Figura 02 – Divisão das bacias hidrográficas brasileiras



Fonte: ANA (2024)

A bacia hidrográfica do Rio Paciência está inserida na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental. A bacia do rio Paciência quando comparada às demais existentes dentro da ilha se destaca como sendo uma das maiores com 143,4 km² (SILVA, 2013). A delimitação de uma bacia possibilita a definição de várias características, como: declividade, vazão de capacidade, vazão de contribuição, velocidade de escoamento, condições das suas margens etc.

2.1.3 Vazão de capacidade

Diversas equações empíricas foram elaboradas a fim de calcular a profundidade normal em um curso d'água. A grande maioria das equações carregam consigo o nome dos seus autores, como as equações de Chézy, Darcy, Kutter, Kirpich, de Manning, entre outros. A primeira equação para escoamento uniforme foi criada, em 1775, por Antoine Chézy. Por volta de 1889, Robert Manning desenvolveu outra equação, tornando-a a mais utilizada nos Estados Unidos e, posteriormente, em boa parte dos continentes (GRIBBIN, 2014).

Considera-se o modelo de Manning uma ferramenta muito eficaz para o cálculo e análise de um canal de fluxo livre, mostrando que as condições de funcionamento e capacidade de um canal necessita de suas dimensões, declividade e do coeficiente de Manning (CHOW, 1994 apud COELHO, 2021).

A fórmula de Manning (Equação 01), proporciona a velocidade do escoamento em galerias, canais e sarjetas, após encontrar o resultado da fórmula e identificando a área da seção do trecho, é possível obter sua vazão de capacidade, utilizando a equação da Continuidade (Equação 02).

$$V = \frac{Rh^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (01)$$

$$Q = S \cdot V \quad (02)$$

Onde:

V – Velocidade de escoamento do trecho (m/s);

Rh – Raio hidráulico (m);

I – Declividade do trecho (m/m);

n – Coeficiente de rugosidade de Manning;

Q – Vazão de capacidade do trecho (m³/s);

S ou A – Seção de escoamento do trecho (m²).

2.1.4 Método I-PAI-WU – Vazão de contribuição

O Método I-PAI-WU é um aprimoramento do Método Racional, podendo ser aplicado para bacias com áreas de drenagem de até 200 km². A fórmula racional não é a mais recomendável metodologia de cálculo para projetos de engenharia, entretanto possibilita um aperfeiçoamento por meio de análise e ajustes de vários parâmetros intervenientes. Leva-se em consideração nesse método a forma da bacia, distribuição da chuva e o seu armazenamento, como demonstra a Equação 03 (SÃO PAULO, 1999).

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A^{0,9} \cdot k \quad (03)$$

Onde:

Q - Vazão (m³/s);

C - Coeficiente de escoamento (adimensional);

I - Intensidade de precipitação (mm/h);

A ou S – Área da bacia (km²)

K - Coeficiente de distribuição espacial da chuva.

2.1.5 Precipitação

Precipitação é um fenômeno que ocorre por meio da incidência de água proveniente do meio atmosférico na superfície terrestre. É possível observar diversas formas de ocorrência desse fenômeno, como a neblina, chuva, granizo e neve. A chuva, dentre todas as formas, é a mais importante, uma vez que possui a função de produzir escoamento (TEIXEIRA, 2010).

As propriedades principais da precipitação são o seu total, distribuição temporal e espacial, e duração. Essas propriedades possuem uma interligação, já que o total precipitado depende da duração. Por exemplo, 150 mm de precipitação pode ser pouco em um mês, porém se for considerado dentro de um intervalo de um dia, é muito. Sua ocorrência é um processo aleatório que não propicia uma previsão determinística previamente (TUCCI, 2001).

O processo de formação das nuvens de chuva está intimamente associado à temperatura do ar. Quando a temperatura diminui, o vapor d'água no ar se condensa, formando pequenas gotas que permanecem suspensas devido a correntes de ar ascendentes e turbulência. Quando essas gotas superam a resistência das

correntes de ar, elas precipitam na forma de chuva (JARDIM; MOURA, 2021; ALMEIDA, 2022).

A medição da precipitação avalia a capacidade hídrica de uma bacia hidrográfica. Essa informação é fundamental para determinar as necessidades de irrigação, prever enchentes em rios e atender às demandas de abastecimento público (COELHO, 2021). As grandezas que caracterizam uma chuva são apresentadas no Quadro 01.

Quadro 01 – Grandezas características da precipitação

Altura pluviométrica (P ou r)	Média da lâmina de água precipitada que recobriria a área atingida pela precipitação, levando em consideração que não ocorresse a infiltração e evaporação. É medida em milímetro de chuva.
Duração (t)	Período que a chuva cai, medido em hora ou minuto.
Intensidade (i)	Precipitação por unidade de tempo ($i = P/t$). Unidade: mm/h ou mm/min.
Tempo de recorrência (Tr)	Número médio de anos em que uma precipitação seja igualada ou superada.

Fonte: adaptado de Coelho (2021)

2.1.5.1 Chuva intensas

As chuvas intensas são um fator determinante para a ocorrência de cheias, que podem resultar em danos significativos, incluindo o transbordamento de rios e a inundação de áreas residenciais, vias públicas, escolas e outras infraestruturas. Esses eventos podem provocar a destruição de plantações, edifícios e pontes, além de interromper o tráfego e trazer sérios riscos à saúde pública ao facilitar a disseminação de doenças transmitidas por água (COLLISHON; DORNELES, 2009).

Segundo Canholi (2005), os projetos de engenharia civil, em especial os que envolvem dimensionamento de obras hidráulicas, devem apresentar dados e análises das chuvas intensas, extremas, chuvas máximas ou chuvas de tormenta. Isso ressalta a necessidade crítica de analisar dados pluviométricos para a adequada elaboração e planejamento de projetos hidráulicos.

A caracterização das chuvas intensas é essencial para abordar questões relacionadas à engenharia, particularmente no controle do escoamento superficial em áreas urbanas e rurais. Técnicas e modelos hidrológicos são utilizados para caracterizar e quantificar o escoamento superficial resultante de chuvas intensas, empregando hidrógrafos que correlacionam a variação da descarga com o tempo, ou utilizando modelos matemáticos, empíricos ou paramétricos (SANTOS, 2009; NETO; BLANCO, 2020).

Farias (2013) define as chuvas intensas como aquelas que produzem volumes significativos de água em um intervalo de tempo pequeno. Esses eventos frequentemente causam danos socioeconômicos substanciais, especialmente em áreas com elevado grau de urbanização (PEREIRA, 2023).

A caracterização das chuvas intensas é realizada através de equações empíricas conhecidas como equações de intensidade-duração-frequência (IDF), que são derivadas de dados pluviométricos coletados em estações específicas (CECÍLIO *et al.*, 2009; DIAS; PENNER, 2019).

2.1.5.2 Monitoramento das precipitações

A medição da precipitação é realizada por meio de instrumentos denominados pluviômetros (Figura 03), que são recipientes projetados para coletar a água da chuva e possuem dimensões padronizadas. O pluviômetro mais comum no Brasil tem uma forma cilíndrica, com uma área de captação de 400 cm², onde um volume de 40 ml de água corresponde a 1 mm de precipitação. Este instrumento é instalado a uma altura de 1,5 m do solo e a uma distância adequada de casas e árvores para evitar obstruções (ANA, 2016; ALMEIDA, 2023).

Inicialmente os pluviômetros eram mecânicos, havia uma balança para pesar a água da chuva que era coletada e um papel para registrar o volume total precipitado de maneira analógica. A evolução da tecnologia proporcionou ao equipamento que a medição fosse registrada de maneira automática, sendo denominado de pluviômetro automático ou pluviógrafo (ANA, 2016).

O pluviógrafo, conforme ilustrado na Figura 04, é capaz de registrar a altura do volume precipitado, a intensidade da chuva, sua duração e frequência. Essas informações são visualizadas em um pluviograma, eliminando a necessidade de monitoramento constante por um operador (NASCIMENTO, 2017). Esses aparelhos repassam a medição da precipitação máxima, que é compreendida como a ocorrência

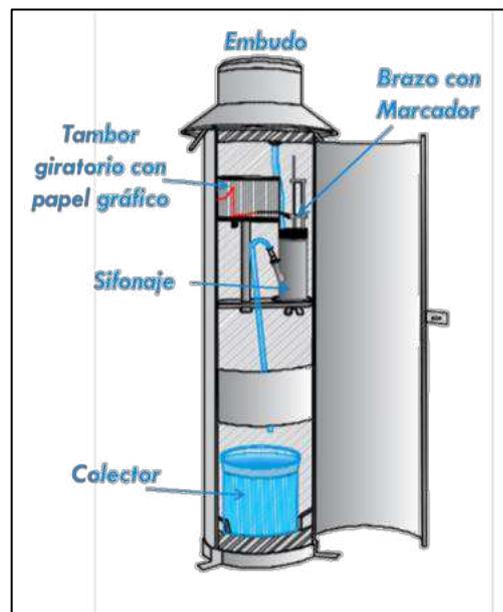
extrema, com duração temporal e espacial crítica para uma determinada área ou bacia hidrográfica. O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos que possibilita a determinação da vazão de enchente de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2001).

Figura 03 - Pluviômetro



Fonte: <https://commonike.com.br/por-que-instalar-um-pluviometro-na-sua-propriedade-rural/>. Acesso: 13 de novembro de 2023.

Figura 04 - Pluviógrafo



Fonte: <https://www.intesco.com.co>. Acesso em: 13 de novembro de 2023.

2.1.5.3 Determinação da precipitação máxima

O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para determinar a vazão de enchente de uma bacia (TUCCI, 2001). Há diferentes métodos para a determinação da Precipitação-Duração-Frequência, uma delas é o Método de Torga Torrico.

O método desenvolvido por Torga Torrico introduz o conceito de "Isozonas", que são zonas geográficas onde a relação entre a altura da precipitação de 1 hora e a de 24 horas é constante para um dado período de retorno (STUDART, 2006). Esta abordagem permite a definição de regiões com características similares em termos de intensidade e duração da precipitação, facilitando a análise de chuvas intensas.

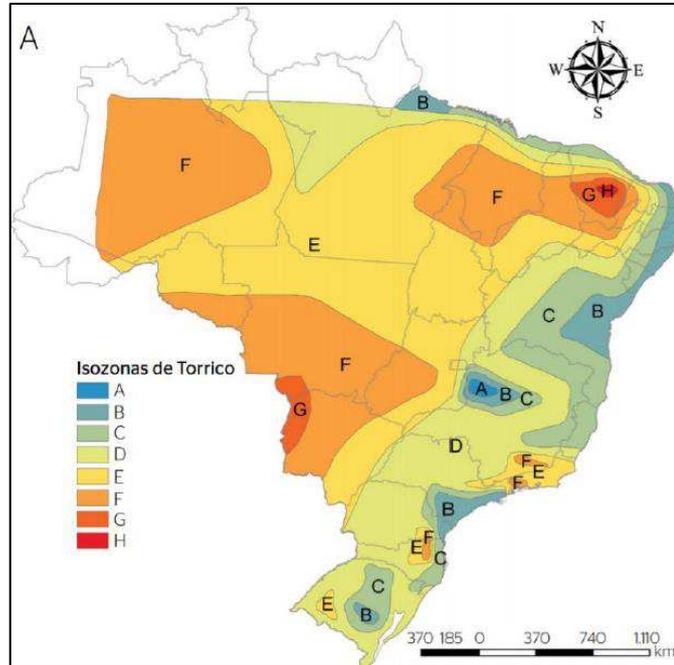
Conforme Jabôr (2022), o método das Isozonas é particularmente eficaz para a análise de chuvas intensas de curta duração, especialmente em regiões onde não há postos pluviográficos disponíveis nas proximidades. Torrico identificou que, ao plotar os dados de chuvas de 1 hora e de 24 horas no gráfico de probabilidades de Hershfield e Wilson para várias estações pluviográficas no Brasil, surgia uma tendência onde as semirretas que representavam a altura da chuva versus a duração se encontravam em um ponto comum no eixo das abcissas quando prolongadas. Esse ponto comum indicava uma característica distintiva das regiões analisadas, permitindo a definição de Isozonas.

Ao final de sua análise, Torrico identificou um total de 8 Isozonas no Brasil, conforme ilustrado na Figura 05. Cada Isozona representa uma região com uma relação específica e constante entre a precipitação de diferentes durações, facilitando a estimativa e o planejamento para eventos de chuvas intensas. Segundo Torrico (1974), essas isozonas contêm as seguintes características:

- Isozona A: zona de maior precipitação anual do Brasil, com coeficientes de intensidade baixos;
- Isozonas B e C: zonas de influência marítima, com coeficientes de intensidades suaves;
- Isozona D: zona de transição, entre continente e marítima, caracterizada como zona de influência do rio Amazonas;
- Isozonas E e F: zonas continentais e noroeste, com coeficientes de intensidade altos;

- Isozonas G e H: zonas de caatinga nordestina, com coeficientes de intensidade muito altos.

Figura 05 – Mapa das isozonas brasileiras



Fonte: Anjos (2020)

De acordo com Torrico (1974), é exequível correlacionar os coeficientes de desagregação das chuvas intensas associadas a Isozonas, em concordância com o tempo de retorno, conforme Quadro 02.

Quadro 02 – Isozonas

Isozonas	1h/24h Chuva										6 min/24h	
	Tr (anos)										Tr (anos)	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,6	35,4	35	35	34,7	33,6	32,5	7	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,5	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,5	39	39,1	38	38,4	37,2	36	9,8	8,8
D	42	41,6	41,4	41,4	41,1	41	40,7	40,3	39	37,8	11,2	10
E	44	43,6	43,3	43,3	43	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46	45,6	45,3	45,3	44,9	44,8	44	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,2	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	49,1	48,8	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

Fonte: Adaptado Torrico (1974, *apud* Coelho, 2019)

A precipitação de um dia é o valor acumulado entre os intervalos de observação, e a precipitação de 24 horas é o total máximo referente a um período contínuo de 24 horas (TUCCI, 1993, *apud* ANJOS, 2020).

A aplicação do método de Taborga é feita através, inicialmente, de uma análise dos dados de chuva para calcular a precipitação máxima diária. O estudo estatístico de Chow-Gumbel é muito utilizado nesse método. O método desenvolvido por Torrico é retratado da seguinte forma:

- a) Coleta dos dados pluviométricos do posto mais próximo da área em estudo;
- b) Análise dos dados de chuva máxima diárias, para cada ano de estudo dos postos pluviométricos;
- c) Estudo estatístico através do método de Gumbel;
- d) Definir a média e o desvio padrão das chuvas máximas anuais, de acordo com as Equações 04 e 05.

$$P_{med} = \frac{\sum P_i}{n} \quad (04)$$

Onde:

P_{med} – Precipitação média das precipitações máximas anuais (mm);

P_i – Precipitações máximas anuais (mm);

n – Número de dados observados.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(P_i - P_{med})^2}{n - 1}} \quad (05)$$

Onde:

σ – Desvio padrão das amostras

Assim, é possível definir a precipitação de 1 dia de duração, de acordo com os estudos de Vem Te Chow (Equação 06), com base nos fatores de frequência de Gumbel, conforme o Quadro 03.

$$P = P_{med} + \sigma \cdot K \quad (06)$$

Sendo:

P – Precipitação máxima diária (mm);

P_{med} – Precipitação média das precipitações máximas anuais (mm);

σ – Desvio padrão;

K – Fator de frequência do número de anos observados de acordo com o tempo de recorrência (Quadro 03).

Quadro 03 – Valores de K segundo Gumbel

N/TR	5	10	15	25	50	100
10	1,058	1,1848	2,289	2,847	3,588	4,323
11	1,034	1,809	2,242	2,789	3,516	4,238
12	1,013	1,777	2,202	2,741	3,456	4,166
13	0,996	1,748	2,168	2,669	3,405	4,105
14	0,981	1,721	2,138	2,663	3,36	4,052
15	0,967	1,703	1,112	2,632	3,321	4,005
16	0,955	1,682	1,087	2,601	3,283	3,959
17	0,943	1,664	2,066	2,575	3,25	3,921
18	0,934	1,679	2,047	2,552	3,2523	3,888
19	0,926	1,636	2,032	2,533	3,199	3,86
20	0,919	1,625	2,018	2,517	3,179	3,836
21	0,911	1,613	2,004	2,5	3,157	3,81
22	0,905	1,603	1,992	2,484	3,138	3,787
23	0,899	1,593	1,98	2,47	3,121	3,766
24	0,893	1,584	1,969	2,457	3,104	3,747
25	0,888	1,575	1,958	2,444	3,088	3,729
26	0,883	1,568	1,949	2,432	3,074	3,711
27	0,879	1,56	1,941	2,422	3,061	3,696
28	0,874	1,553	1,932	2,412	3,048	3,681
29	0,87	1,547	1,924	2,402	3,037	3,667
30	0,866	1,541	1,917	2,393	3,026	3,653
31	0,863	1,535	1,91	2,385	3,015	3,641
32	0,86	1,53	1,904	2,377	3,005	3,629
33	0,856	1,525	1,897	2,369	2,996	3,618
34	0,853	1,52	1,892	2,362	2,987	3,608
35	0,851	1,516	1,886	2,354	2,979	3,598
36	0,848	1,511	1,881	2,349	2,971	3,588
37	0,845	1,507	1,876	2,344	2,963	3,579
38	0,843	1,503	1,871	2,338	2,957	3,571
39	0,840	1,499	1,867	2,331	2,950	3,563
40	0,838	1,495	1,862	2,326	2,943	3,554

Fonte: Coelho (2019)

A partir do Método Chow-Gumbel é possível calcular a intensidade de precipitação por meio da equação da chuva, que expressa a relação de intensidade-duração-frequência (IDF), representada pela Equação 07 (SOUZA, 2012).

$$I = \frac{K \cdot T^a}{b \cdot t^c} \quad (07)$$

Onde:

I – intensidade de precipitação (mm/h);

T – tempo de retorno (anos);

t – tempo de duração de chuva (min);

K, a, b, c – constantes.

2.1.6 Período de retorno

O período de retorno é definido como o tempo médio, expresso em anos, durante o qual um evento específico, como uma enchente ou precipitação, é igualado ou superado apenas uma vez (COIADO, 2017). Esse parâmetro é fundamental na avaliação e no projeto de sistemas hídricos, como canais, vertedores, bueiros e galerias pluviais, conforme destacado por Righeto (1998). Tucci (2005) afirma que o tempo de retorno é o inverso da probabilidade de um determinado evento hidrológico ser igualado ou superado determinado período, conforme a Equação 08. A probabilidade (P) é calculada de acordo com a Equação 09.

$$T_r = \frac{1}{P} \quad (08)$$

Onde:

T_r – tempo de retorno (anos);

P – probabilidade de um evento ser superado ou igualado.

$$P = \frac{m}{n + 1} \quad (09)$$

Onde:

m – número de ordens;

n – número de observações.

Para obras de engenharia, a segurança e durabilidade frequentemente se associam a tempo ou período de recorrência, cujo significado se refere ao espaço de tempo em anos onde provavelmente ocorrerá um fenômeno de grande magnitude,

pelo menos uma vez. No caso dos dispositivos de drenagem, este tempo diz respeito a enchentes de projeto que orientarão o dimensionamento, de modo que a estrutura indicada resista a essas enchentes sem risco de superação, resultando desta forma a designação usual de descarga do projeto (DNIT, 2005).

No dimensionamento hidráulico dos dispositivos de drenagem leva-se em consideração a sua capacidade de escoar a vazão de contribuição correspondente a um determinado período de recorrência. A adoção do seu valor leva em conta diversos fatores, destacando-se aqueles de origem econômica, a importância e a segurança que a obra deve apresentar (ALMEIDA, 2023). O Quadro 04 representa o período de recorrência para cada classe de obra, segundo DNIT (2005).

Quadro 04 – Período de recorrência utilizado pelo DNIT

Classe de obra	T (anos)
Drenagem superficial	
Estrada de 1ª classe	10
Estrada vicinal	5
Drenagem urbana	
Microdrenagem	15
Macro drenagem	25
Bueiros tubulares	
Trabalhando como canal	15
Trabalhando como orifício	25
Bueiros celulares	
Trabalhando como canal	25
Trabalhando como orifício	50
Pontes	
Estrada de 1ª classe	100
Estrada vicinal	50
Barragens	1000/5000

Fonte – DNIT (2005, apud COELHO, 2019)

2.1.7 Tempo de concentração

“Tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é definido pelo tempo de percurso em que o deflúvio leva para atingir o curso principal desde os pontos mais longínquos até o local onde se deseja definir a descarga”. (DNIT, 2006, p. 79).

De acordo com Collischon (2013, p. 27):

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é um conceito relativamente abstrato, definido como o tempo de viagem da gota de água da chuva que atinge a região mais remota da bacia, desde o início de seu escoamento, até o momento em que atinge o exutório. Esse tempo depende tanto da distância total que a água deve percorrer, como da velocidade com que a água escoar. Assim, o tempo de concentração é maior em bacias grandes, em que a água deve percorrer dezenas ou centenas de km, e é menor em bacias pequenas.

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é definido pelo tempo de percurso em que o deflúvio leva para atingir o curso principal desde os pontos mais longínquos até o local onde se deseja definir a descarga. Esse tempo caracteriza a forma do hidrograma unitário, sendo ainda definido pelo intervalo de tempo definido entre o início da precipitação e o instante em que todos os pontos da bacia estão contribuindo para a vazão e conseqüentemente é um fator importante na conformação e na descarga máxima da enchente de projeto (DNIT, 2006).

Segundo Gribbrin (2014), o tempo de concentração é individual para cada bacia, ou seja, cada bacia de drenagem possui seu próprio tempo de concentração, e depende do tamanho, da forma, declividade, condições do solo, do uso do solo e da cobertura vegetal. A determinação do tempo de concentração se origina da localização do ponto mais remoto na bacia e do esboço do percurso do escoamento desse ponto, como se percorresse um caminho até o exutório.

A localização do ponto mais remoto na bacia de drenagem nem sempre é evidente, assim, o melhor método para determinar o local efetua-se por meio de tentativa e erro. Isso pode ser feito selecionando-se vários prováveis locais para o ponto mais remoto. Depois, estima-se o tempo de percurso da bacia de drenagem para cada localidade. O ponto resultante do percurso mais longo é o ponto mais remoto; esse tempo refere-se ao tempo de concentração (GRIBBIN, 2014).

Em casos excepcionais, com bacias muito alongadas junto das cabeceiras, ou no trecho mais a jusante, e mais largas nas outras partes, o aumento do tempo de

concentração ao longo das partes mais estreitas e sua conseqüente redução da intensidade de chuva de igual frequência não compensa o acréscimo de deflúvio proveniente dessas partes mais estreitas. Nesse caso convém comparar a enchente da parte mais larga da bacia isoladamente com a de toda a bacia, escolhendo a maior (DNIT, 2006).

Há diversas fórmulas utilizadas para a determinação do tempo de concentração, de acordo com Collischonn (2013):

a) Kirpich:

$$t_c = 0,115 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77} \quad (10)$$

Onde:

t_c - minutos;

L - Km;

S - %

b) Ven Te Chow:

$$t_c = 25,20 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64} \quad (11)$$

Onde:

t_c - minutos;

L - comprimento do talvegue principal - Km;

I - declividade média em (%).

c) California Hingways and Public Works:

I - Bacia com A < 80 ha

$$t_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (12)$$

II - Bacia com A > 80 ha:

$$t_c = 85,2 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (13)$$

Onde:

t_c - Minutos;

L - Comprimento do talvegue principal - Km;

ΔH - Diferença de nível entre o ponto mais alto da bacia e a seção onde está inserido o estudo (m).

Ainda pode ser determinada também por:

$$t_c = 0,95 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (14)$$

Onde:

t_c - Horas.

De acordo com FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (1999), mediante as Diretrizes Básicas de Projetos de Drenagem no Município de São Paulo, a forma mais válida de calcular o tempo de concentração é através do método cinemático, onde a bacia é dividida em vários trechos homogêneos e calcular a velocidade de escoamento da água, como representado na Equação 15.

$$t_c = \frac{1}{60} \cdot \frac{\sum L_i}{V_i} \quad (15)$$

Onde:

t_c – Tempo de concentração (min);

L_i – Comprimento de cada trecho homogêneo (m);

V_i – Velocidade de escoamento no trecho “i” (m/s).

2.1.8 Escoamento superficial

O escoamento superficial é um componente fundamental do ciclo hidrológico, caracterizado pelo deslocamento da água na superfície terrestre e nos cursos d'água naturais. Este fenômeno origina-se das precipitações e desempenha um papel relevante na engenharia, uma vez que a maioria dos estudos hidrológicos está voltada para o aproveitamento da água superficial e para a proteção contra erosão e inundações (COIADO, 2017).

O escoamento superficial em uma bacia pode ser analisado em duas etapas principais: a geração do escoamento e a sua propagação. A geração de

escoamento ocorre durante ou após eventos de precipitação, enquanto a propagação refere-se ao movimento da água através da bacia até atingir o curso d'água. Durante precipitações intensas, a vazão dos rios aumenta significativamente, pois a maior parte da água da chuva não infiltra no solo e escoar rapidamente. Em contraste, durante períodos de seca, a vazão dos rios é sustentada pelo escoamento subterrâneo, que resulta da descarga lenta de água armazenada nos aquíferos para os cursos d'água (COLLISCHONN, 2013).

Os principais fatores que exercem influência no escoamento superficial são de natureza climática (relacionados à precipitação), fisiográfica (determinados pelo relevo da bacia) e decorrentes da ação antrópica (uso do solo e obras hidráulicas realizadas no rio e o seu entorno) (JÚNIOR, 2022).

a) Fatores climáticos

Os agentes de âmbito climático que induzem ao escoamento superficial resultam da intensidade e duração da precipitação (ANDRADE; BASH, 2000). Assim, quanto maior a intensidade e a duração da precipitação, mais rápido o solo atingirá a sua capacidade de infiltração e dessa forma o excesso escoará superficialmente.

b) Fatores fisiográficos

A área, a forma da bacia hidrográfica, a capacidade de infiltração, a permeabilidade do solo e a topografia da bacia influenciam no escoamento superficial. Quanto maior a área da bacia, maior será a quantidade de água que a bacia pode captar (NETO, 2023). A forma da bacia também influencia, uma vez que bacias mais compactas facilitam a concentração do escoamento no canal principal, aumentando o risco de inundações.

Também, a topografia da bacia constitui um escoamento superficial mais rápido quanto mais íngreme for o terreno. Entretanto, na presença de depressões acumuladoras de água o escoamento superficial tem a sua velocidade retardada. O escoamento superficial tem suas características detalhadas no Quadro 05.

Por fim, quanto mais permeável for o solo, maior será a velocidade do escoamento da água subterrânea, correspondendo a uma absorção de água elevada pela superfície (GONÇALVES *et al.*, 2020).

Quadro 05 - Grandezas características do escoamento superficial

Bacia hidrográfica	Área coletora de água da chuva
Vazão	Volume de água escoada na unidade de tempo em dada seção. Vazão normal consiste na vazão que escoar no curso de água. Vazão de inundação é aquela que excede o valor limite, excede a capacidade normal das seções de escoamento.
Frequência	Número de ocorrências de vazão em um dado intervalo de tempo. No ramo da hidrologia pode ser conhecida como período de retorno ou recorrência.
Coeficiente de deflúvio	Relação entre a quantidade de água total escoada pela seção e quantidade total de água precipitada.
Tempo de concentração	Intervalo de tempo registrado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a colaborar na seção determinada.
Nível de água	Altura atingida pela água na seção em relação a uma determinada referência

Fonte: (NELSON, 2003)

2.2 Inundações urbanas

Inundações podem ser descritas como fenômenos naturais resultantes do transbordamento de corpos d'água, como rios ou córregos, que ultrapassam os limites de seus canais de drenagem. Segundo Tucci (2003), inundações são eventos recorrentes desde a formação das cidades, ocorrendo quando as águas de rios, riachos ou galerias pluviais excedem a capacidade de transporte dos sistemas de drenagem, afetando áreas destinadas à residência, transporte e comércio.

Diferentes trabalhos apontam que o uso e ocupação incorretos do solo e as precipitações estão associados, na grande maioria dos casos, às inundações. É possível apontar trabalhos de diversos autores, destacando Tucci (2004), Tucci (2007), Goerl e Kobiyama (2005), Silva *et al.* (2020), Costa *et al.* (2017), IMESC (2021), Costa (2018).

As inundações urbanas e seus impactos decorrem de dois processos distintos, que podem ocorrer de forma isolada ou combinada: inundações de áreas ribeirinhas e inundações associadas à urbanização. As inundações de áreas ribeirinhas resultam da variabilidade temporal e espacial das precipitações e do escoamento nas bacias hidrográficas, enquanto as inundações urbanas são atribuídas à drenagem inadequada devido à impermeabilização do solo e obstrução do escoamento (TUCCI, 2008; TIBURCIO; SARAIVA; TARGA, 2023).

No Brasil, inundações ocorrem em todos os estados, particularmente durante períodos chuvosos. Em janeiro de 2024, por exemplo, a cidade de Brasília registrou transbordamento de um riacho após fortes chuvas, conforme relatado por Kemilly (2024). Em novembro de 2023, 71 municípios em Santa Catarina estavam em situação de emergência, com cerca de seis mil pessoas desabrigadas (ASCOM, 2023).

O estado do Maranhão também enfrentou graves problemas relacionados a inundações, com aproximadamente 400 mil pessoas afetadas em 2009 (BBC, 2009) e mais de 35 mil famílias impactadas pelas chuvas em 2023 (G1, 2023). Dados do Atlas Digital de Desastres Naturais no Brasil mostram que, entre 1991 e 2022, o Maranhão registrou 390 ocorrências de inundações e alagamentos, afetando mais de 1,73 milhões de pessoas, resultando em 39 óbitos e danos totais de R\$ 2,45 bilhões. Entre 2020 e 2022, foram relatadas 35 ocorrências no estado, com danos totais de R\$ 158,58 milhões.

O DNIT (2006) propõe uma metodologia para determinação do nível d'água máximo provável em canais naturais, onde as seções costumam ser irregulares, através da Equação de Manning.

Essa metodologia depende dos seguintes elementos (DNIT, 2006):

- Descarga do projeto, obtida pelos estudos hidrológicos, levando em conta o tempo de recorrência adotado e os métodos de cálculo recomendados para o caso, de preferência os estatísticos, sempre que possível;
- Declividade do leito do rio, ou do seu gradiente, determinada entre dois pontos distantes no mínimo de 200m, sendo um a montante e outro a jusante do eixo da rodovia, do qual devem distar 100m cada um;
- Levantamento de seções normais ao curso do rio no local de sua travessia pelo eixo da rodovia a montante e jusante;
- Fixação do coeficiente de Manning a adotar para o curso d'água após inspeção local.

Assim, para a determinação da cota de máxima cheia e o vão da obra de arte especial é utilizado a fórmula de Manning (Equação 01) associada à equação da continuidade (Equação 02), onde para cada altura (h) do nível d'água corresponde uma área molhada (A), um perímetro molhado (P) e, conseqüentemente, um raio hidráulico (R) e velocidade de escoamento (V), que podem ser correlacionados resultando na Equação 16.

$$A \cdot R^{\frac{2}{3}} = \frac{Q \cdot n}{I^{\frac{1}{2}}} \quad (16)$$

Onde:

A – área da seção molhada (m²);

R – raio hidráulico (m);

Q – vazão de contribuição (m³/s);

I – declividade do fundo (m/m);

n – coeficiente de rugosidade de manning;

2.3 Drenagem urbana

A drenagem urbana é um sistema de medidas projetadas para minimizar os riscos à população, reduzir os danos causados por inundações e promover o desenvolvimento urbano sustentável (TUCCI, 2012). Inclui políticas de definição de objetivos, uso do solo, planejamento a curto, médio e longo prazo, e domínio tecnológico apropriado.

O sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas pode ser classificado de acordo com suas dimensões em: microdrenagem, macrodrenagem e transposição de talvegues. O foco do presente trabalho se enquadra na transposição de talvegue.

2.3.1 Drenagem de transposição de talvegues

A drenagem de rodovias tem como principal objetivo remover a água que atinge a pista de rolamento, seja em forma de precipitação ou por saturação do solo, e conduzi-la para áreas onde a sua presença interfira minimamente na segurança e durabilidade da via (DNIT, 2006; Jabôr, 2023).

A transposição de talvegues visa o manejo da água proveniente de precipitações ou da saturação de bacias hidrográficas, bem como a adaptação ao perfil do terreno. Este processo reduz os danos à estrutura da estrada ao permitir o

deslocamento ou a transposição da água através da construção de linhas de bueiros sob aterros ou pela implementação de pontilhões e pontes para superar rios ou córregos (DNIT, 2006; Camapum, 2019).

Os bueiros são elementos que possibilitam a livre passagem das águas que ocorrem as estradas (DNIT, 2006). Podem ser classificados em quatro classes, as quais se distinguem quanto:

- a) forma da seção: são tubulares quando a seção for circular; celulares, quando a seção transversal for retangular ou quadrada; especial, elipses ou ovóides, quando a seção for diferente das anteriores.
- b) número de linhas: simples quando houver apenas uma linha de tubos ou células; duplos e triplos quando houver duas ou três linhas de tubos ou células, respectivamente.
- c) material: concreto simples, concreto armado, chapa metálica, polietileno de alta densidade

Outro elemento de destaque na transposição de talwegues são os pontilhões, que nos casos em que, por imposição da descarga de projeto ou do greide projetado, não possam ser construídos bueiros. E as pontes são obras de arte especial designada a vencer os talwegues compostos pelos cursos d'água, cuja transposição não pode ser efetuada por bueiros e pontilhões (DNIT, 2006).

2.4 Pontes

Pontes são estruturas construídas de diferentes tipos de materiais, possui o objetivo de transpor obstáculos, sejam naturais (rios, lagos, córregos) ou artificiais (vias, linhas ferroviárias). As pontes são destinadas a superar obstáculos que possuem curso d'água, quando se têm obstáculos secos, denomina-se viaduto (MENDES, 2003).

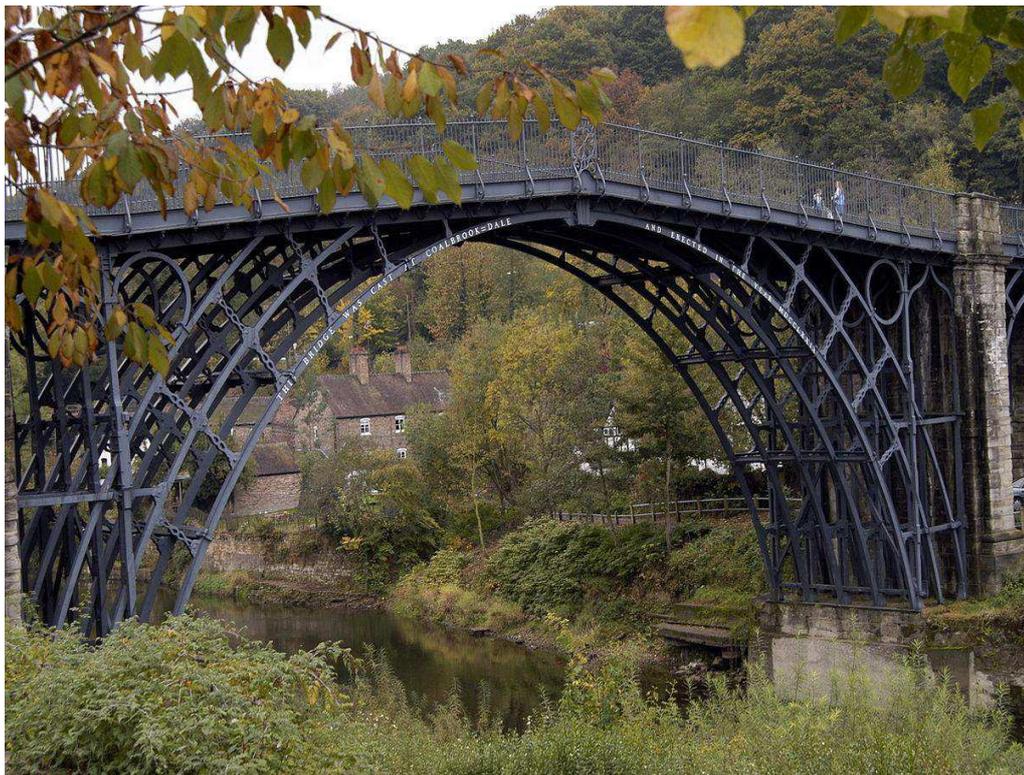
Timerman (2017) estimou a existência de 120 mil pontes e viadutos no Brasil. Assim, é possível verificar a relevância desses elementos na engenharia e no desenvolvimento do país, já que o transporte de cargas possui sua maior porcentagem no modal rodoviário.

As primeiras pontes construídas não foram de materiais como concreto ou aço, mas troncos de madeiras ou pedras, sem apresentar um método construtivo concreto, de modo que organizam manualmente para atravessar o obstáculo presente

(LUCKO, 1999). É possível observar a evolução das pontes a exemplo das “Cappler bridges”, pontes pré-históricas as quais utilizavam pedras empilhadas e estabelecidas em um rio; as pontes romanas que contaram com utilização do concreto ciclópico, material constituído de pedaços de tijolos e cacos de mármore assentados com argamassa e cal, juntamente com areia, conhecida como pozzolana (CARRIERI, 2007).

Devido ao avanço tecnológico, a madeira e a pedra cederam lugar ao ferro, material mais presentes nas estruturas então, dando início a novas técnicas construtivas em virtude dos prazos de execução menores e requisito de maior resistência das estruturas. A primeira ponte de ferro construída foi a Ironbridge, indicada na Figura 06, localizada sobre o rio Severn (CARRIERI, 2007).

Figura 06 – Ponte Ironbridge



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Desfiladeiro_de_Ironbridge

O ferro foi utilizado em grande escala na construção civil da época e perdura até os dias atuais, porém houve uma inovação na construção civil da época, a inserção do concreto armado. Esse material teve início em 1756 com John Smeaton, entretanto a primeira ponte de concreto armado foi construída pelo engenheiro Joseph Monier, na França, em 1875, conforme a Figura 07 (NUNES, 2017).

Figura 07 – Primeira ponte em concreto armado

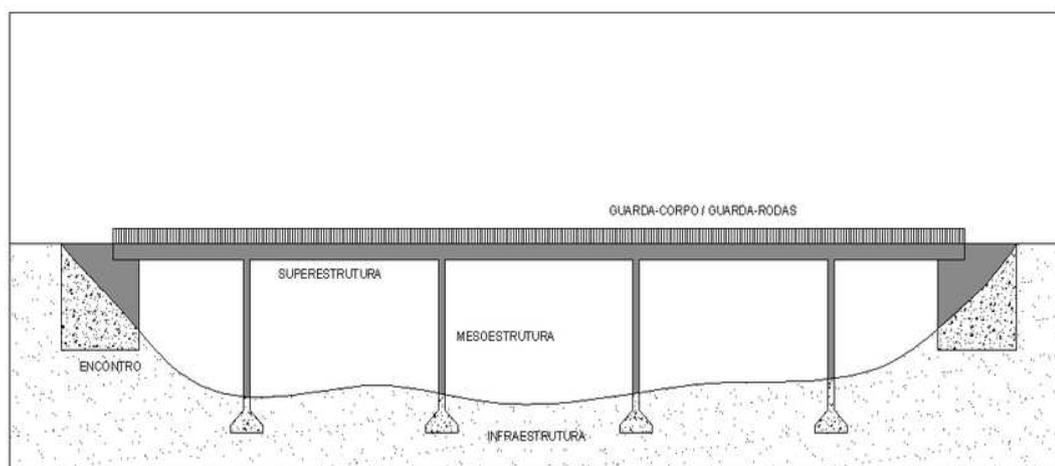


Fonte: THOMAZ (s.d.)

2.4.1 Elementos estruturais

As pontes são compostas por três segmentos principais: superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, conforme a Figura 08 (Amorim *et al.*, 2012).

Figura 08 – Elementos principais de uma ponte



Fonte: Amorim *et al.*, 2012.

A superestrutura é composta por estruturas principais e secundárias. As principais são constituídas pelos elementos estruturais que possui o papel de vencer o vão livre, já que as secundárias são constituídas por tabuleiros que possuem a função de receber as ações diretas das cargas e transmitir para a estrutura principal.

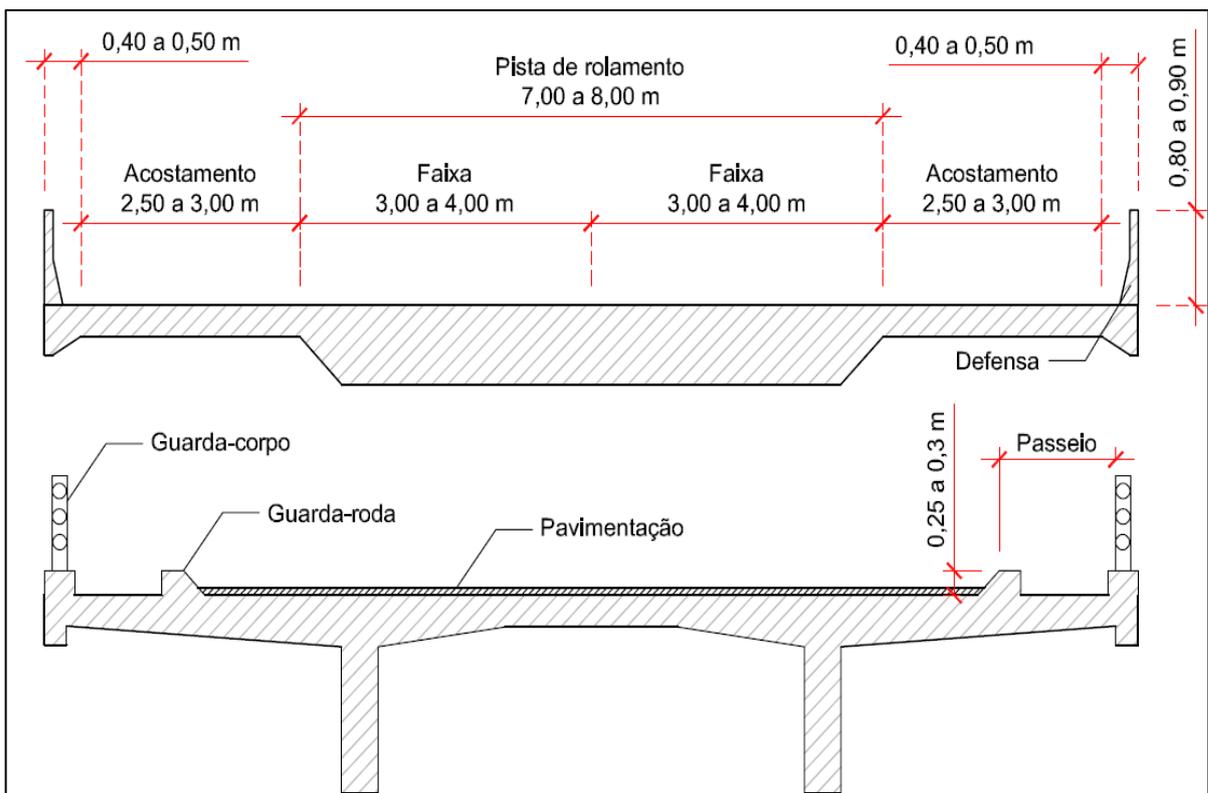
Esse elemento é composto por barreiras de proteção, lajes, vigas e pista de rolamento. Sua função é transferir as cargas móveis e seu peso próprio para a Mesoestrutura (CAVALCANTE, 2018).

A mesoestrutura é composta por aparelhos de apoio e pilares. Sua função é captar as cargas resultantes da superestrutura através dos aparelhos de apoio e transferir para a infraestrutura (CAVALCANTE, 2018).

Por fim, a infraestrutura é constituída pelas alas, estacas, sapatas, tubulões e blocos de coroamento. Sua função é conduzir as cargas da mesoestrutura e transmiti-la ao solo, material com carga resistente para suportar as cargas provenientes da superestrutura (CAVALCANTE, 2018).

A seção transversal de um tabuleiro de pontes rodoviárias é dividida conforme a Figura 09.

Figura 09 – Seção transversal de uma ponte



Fonte: Debs (2007).

De acordo com a Figura 09, a pista de rolamento é definida para o tráfego de veículos, o acostamento é uma faixa adicional onde é utilizada em emergências, já o passeio é utilizado por pedestres e devem ser protegidos por guarda-rodas que

impedem o avanço dos veículos no espaço. A escolha do material e do modelo estrutural são em função do vão a ser vencido, do design e do custo da construção (CARDOSO, 2018).

2.4.2 Classificação das pontes

As pontes podem ser classificadas de acordo com diversos critérios, como: material da superestrutura, comprimento, natureza do tráfego, desenvolvimento planimétrico, desenvolvimento altimétrico, sistema estrutural da superestrutura, seção transversal, posição do tabuleiro e processo de execução

De acordo com o material da superestrutura, as pontes podem ser de madeira, alvenaria, concreto simples, concreto armado, concreto protendido, aço e mistas (união de aço e concreto).

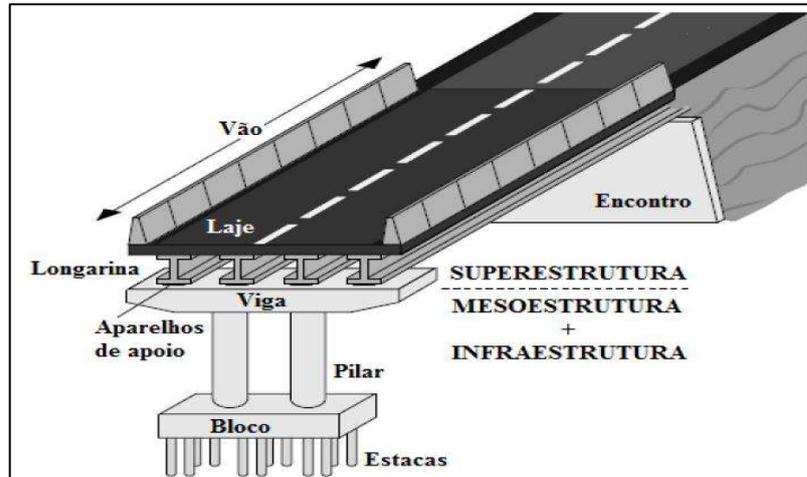
Através do seu comprimento, as pontes podem ser denominadas de galerias (bueiros), quando possuem comprimento de 2 a 3 metros; de pontilhões, quando possuem 3 a 10 metros de comprimento; e pontes, apresentando uma extensão acima de 10 metros (DEBS & TAKEYA, 2007).

A natureza de tráfego classifica as pontes em: rodoviária, ferroviárias, passarelas (pontes para pedestres), aeroviárias, aquedutos e mistas. A última é uma combinação da rodoviária com a ferroviária, fazendo uma integração de modais. Segundo o sistema estrutural da superestrutura, podem ser pontes em vigas, em pórtico, em arco, pênsil ou estaiada e treliçada (MAZER, 2023). Serão detalhadas a seguir os tipos de pontes de acordo com seu sistema estrutural.

2.4.3 Pontes em vigas

A viga é considerada um dos tipos mais simples de estrutura, sendo recomendada para diversos vãos, que variam sua extensão entre 10 e 100 metros. Pontes com vigas em abertos possuem um grupamento de vigas longitudinais, denominadas longarinas, e possuem a função de sustentar o tabuleiro. A ligação entre as longarinas é realizada por meio de lajes e transversinas, conforme pode ser observado na Figura 10, sendo que os usos das transversinas possuem o objetivo de proporcionar uma rigidez adequada a estrutura e uma distribuição uniforme das cargas móveis dos veículos (CARDOSO, 2018; MAZER, 2023).

Figura 10 – Representação detalhada de uma ponte em vigas

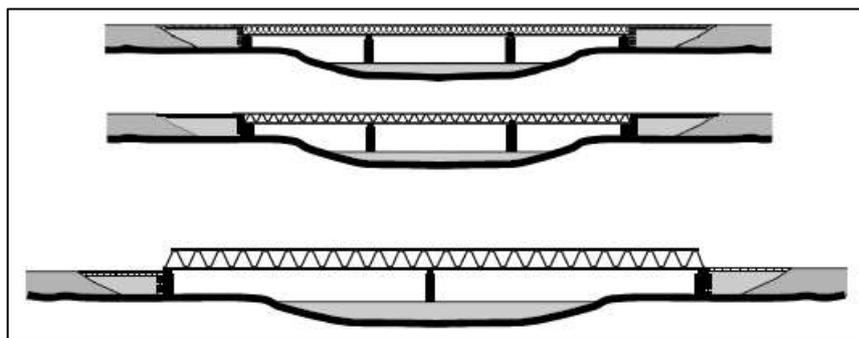


Fonte: Cavalcante (2018)

2.4.4 Pontes treliçadas

São feitas de aço e utilizam um sistema de treliça para suportar cargas através de forças axiais, representada pela Figura 11. Essas pontes são recomendadas para estruturas metálicas e permitem maior rigidez com menos carga permanente (DNER, 1996; PIMENTA; SCUDELLER; MARTINS, 2015).

Figura 11 – Ponte treliçada



Fonte: DNER (1996)

2.4.5 Pontes pênséis

As estruturas pênséis possuem a forma suave e com grande capacidade de suportar cargas através dos cabos (principal elemento desse tipo de estrutura). Esses cabos são interligados a outros dois cabos, que por sua vez se ligam às torres de sustentação, conforme a Figura 12 e 13 (DNER, 1996). A tração é o principal esforço para suportar as cargas. Esse tipo de estrutura apresenta uma peculiaridade,

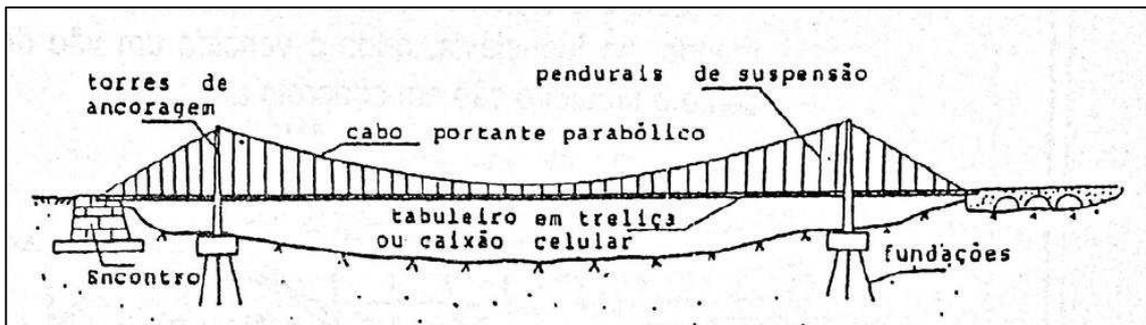
na sua projeção é necessário levar em conta a ação do vento, onde deve ser projetada com grande rigidez à torção para reduzir o efeito do vento, uma vez que possibilita grandes deslocamentos no tabuleiro (CARDOSO, 2018).

Figura 12 – Ponte Pênsil em Santa Catarina



Fonte: <http://www.manuaisdeescopo.com.br/notice/recuperacao-da-ponte-pensil-de-sao-vicente/>

Figura 13 – Representação de ponte pênsil



Fonte: Mendes, 2003.

2.4.6 Pontes estaiadas

Esse tipo de ponte apresenta vigamento metálico de grande rigidez à torção, apoiados nos encontros e nas torres de ancoragem através de um sistema de cabos tracionados, denominados estais originando o nome “estaiada” (MENDES, 2003). São indicadas para superar grandes vãos, como pode ser observado na Figura 14, apresentando vantagens técnicas, econômicas e estéticas (DNER, 1996).

Figura 14 – Ponte estaiada



Fonte: <https://www.blogsoestado.com/danielmatos/files/2021/05/PONTE.jpg>

3 METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso oriundo do projeto de iniciação científica do programa PIBIC/CNPq 2021/2022 foi desenvolvido seguindo o procedimento metodológico detalhado a seguir:

- levantamento bibliográfico: foi realizado um levantamento abrangente de literatura, incluindo trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos científicos, livros e periódicos relevantes ao tema de estudo;
- estudo das características físicas: analisou-se as características físicas da sub-bacia delimitada para estudo, com foco em aspectos relevantes para a análise hidrológica e hidráulica;
- determinação da capacidade de vazão do Rio Paciência no trecho delimitado no estudo: calculou-se pela equação de Manning;
- cálculo da vazão de contribuição do Rio Paciência: utilizou-se o Método I-PAI-WU;
- cálculo da enchente máxima do ponto delimitado no trabalho;
- dimensionamento hidráulico: foi realizado o dimensionamento hidráulico da obra de arte, levando em consideração as normas pertinentes para garantir a adequação e eficiência do projeto.

Inicialmente, foram apresentados conceitos básicos essenciais para a compreensão do trabalho, incluindo o ciclo hidrológico e as definições de micro e macrodrenagem, com base em literatura especializada sobre o tema.

Posteriormente, obtiveram-se os dados necessários para elaboração da pesquisa, como: mapas, artigos, documentos e dados adquiridos dos órgãos competentes. Para a criação dos mapas que delineiam a sub-bacia, utilizou-se o QGIS em conjunto com o Google Earth. Assim, foi calculada a vazão de capacidade do Rio Paciência.

O cálculo da vazão de contribuição utilizou o Método I-PAI-WU, necessitando definir os parâmetros, como o da intensidade de precipitação. Essa definição ocorreu com o estudo da pluviometria local ocorre através de duas estações pluviométricas, visto que o site da ANA não contém dados atuais, sendo necessário recorrer à NUGEO. Delimitado os dados, utiliza-se o Método de Jaime Taborga para encontrar a equação da chuva, sendo possível através do Solver, ferramenta utilizada dentro do software Excel.

Finalmente, para o dimensionamento hidráulico do pontilhão objeto de estudo, foram calculados os dados de vazão de contribuição e capacidade. A seção transversal do pontilhão foi fundamental para o dimensionamento hidráulico, o qual foi realizado utilizando o AutoCAD para definir a área molhada e o perímetro molhado e assim definir o vão necessário para atender a demanda.

3.1 Caracterização da área delimitada para estudo

A região da travessia do Rio Paciência com a rodovia MA-201 foi escolhida para o estudo devido a fatores específicos, como a ocorrência frequente de inundações no período chuvoso que afetam o tráfego na rodovia, que é a rota mais significativa e amplamente utilizada pelos moradores dos municípios de São José de Ribamar e Paço do Lumiar. Essa travessia apresenta um dispositivo de drenagem composta por uma galeria que comumente é chamada de pontilhão devido a sua extensão.

A bacia do Rio Paciência é classificada como uma das maiores bacias da grande ilha. Situa-se na porção centro-nordeste da ilha do Maranhão abrangendo os quatros municípios da Região Metropolitana da Grande São Luís: Raposa, São Luís, São José de Ribamar e Paço do Lumiar. Suas nascentes se localizam no município de São Luís, enquanto sua foz se situa no município da Raposa (CASTRO; PEREIRA,

2016). O trecho delimitado para estudo é compreendido entre o bairro da Forquilha e a travessia do rio Paciência com a rodovia MA-201, onde é comum inundações no período chuvoso da região, como visto nas Figuras 15 e 16.

A delimitação de uma sub-bacia do Rio Paciência foi elaborada por meio do software QGIS utilizando o modelo digital de elevação e a partir daí utilizou-se ferramentas do GRASS que possibilitou delimitar uma sub-bacia. O Rio Paciência possui várias sub-bacias, mas não há registros do total, pois é relativo a cada estudo.

Figura 15 - Inundação na região do estudo em decorrência de fortes chuvas



Fonte: Imirante.com (Acesso em 02 fevereiro de 2024)

Figura 16 - Inundação na travessia do rio Paciência com a MA-201



Fonte: Fotos de Liliane Cutrim/ Imirante.com (Acesso em 02 fevereiro de 2024)

A área da sub-bacia compreende bairros como São Cristóvão, Forquilha, Cidade Operária, Maiobinha e São Bernardo. Esses bairros possuem uma alta densidade populacional, sendo notável o avanço da urbanização para as áreas localizadas nas regiões mais baixas da região e no entorno de regiões que são nativas. De modo semelhante, ocorre na região da bacia do Santo Antônio, vizinha à bacia do rio Paciência, que recebe a sobrecarga da expansão das moradias e desenvolvimento urbano, segundo estudo de França (2019).

3.2 Cálculo da capacidade de vazão do Rio Paciência na travessia com a MA 201

Para dimensionar a ponte ou pontilhão que irá vencer o vão e obstáculo dessa travessia do rio com a rodovia MA-201, é fundamental determinar a capacidade de vazão do mecanismo de drenagem existente no local de estudo, o pontilhão.

Dessa forma, para o cálculo da vazão de capacidade considerou-se algumas características físicas da sub-bacia selecionada, visto que a bacia hidrográfica do rio Paciência é muito extensa e possui uma área abrangente no território da Ilha. Assim, esse cálculo foi determinado através de uma sequência de etapas:

- Identificação da configuração da calha do rio Paciência no trecho delimitado no trabalho
- Identificação da declividade do leito do rio no trecho em estudo
- Identificação da rugosidade da margem do rio
- Aplicação do modelo de Manning

3.2.1 Identificação da calha

A identificação da configuração da calha do rio Paciência no trecho delimitado no presente estudo, foi adquirida através de produtos cartográficos disponíveis e visita em campo. Através do software QGIS, Google Earth e do AutoCad foi possível delimitar uma seção transversal da calha do rio, próximo à travessia na MA-201, em terreno natural.

3.2.2 Identificação da declividade

O cálculo da declividade média do curso d'água influencia diretamente no cálculo do tempo de concentração da bacia. Geralmente esse cálculo envolve a distância entre a nascente do rio até o ponto delimitado em estudo e a diferença entre

a altitude do ponto inicial e final, conforme Equação 01. Ainda, há um conceito de declividade equivalente, onde é delimitado no gráfico um perfil longitudinal do rio mediante uma reta, onde a área compreendida entre ela e a abscissa, seja igual a área compreendida entre a linha do perfil e o eixo das abscissas (CARVALHO *et al.*, 2009). A declividade média simples e a declividade equivalente são representadas pelas Equação 17 e 18, respectivamente.

$$Dc = \frac{\Delta Cota}{dist. horizontal} \quad (17)$$

Onde:

$\Delta Cota$ – Diferença de cotas entre ponto mais alto e o ponto mais baixo do rio

$$I_{eq} = \left(\frac{\sum L_i}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right)^2 \quad (18)$$

Sendo:

I_{eq} – Declividade média equivalente (m/m);

L_i – Comprimento do talvegue no trecho (km);

I_i – Declividade do talvegue no trecho i (m/m).

No presente trabalho, utilizou-se os dois métodos e comparou-se os seus resultados, optando pela declividade equivalente, uma vez que é apresenta uma precisão maior quando comparada à outra e é a mais utilizada por muitos técnicos. A declividade foi calculada por dados extraídos das curvas de níveis delimitadas no QGIS por meio do modelo digital de elevação oferecido no site do Topodata.

3.2.3 Identificação da rugosidade da margem do rio Paciência

A identificação da rugosidade das margens de qualquer curso d'água é determinada através de um coeficiente: o coeficiente de Manning, representado pela

letra n. Esse coeficiente é responsável por definir a resistência de escoamento em determinado canal, isto é, um número empírico que representa a aspereza do revestimento do canal (CHOW, 1959; DNIT, 2005).

É possível determinar este coeficiente diretamente no local, através de visita em campo observando as margens do leito do rio. Esta análise foi fundamentada utilizando as Quadro 06, definindo a natureza das paredes do canal em “canais com revestimento de concreto” e em seguida identificando o coeficiente referente à condição.

Quadro 06 – Valores dos coeficientes de rugosidade de Manning

Natureza das paredes	Condições			
	Muito Boa	Boa	Regular	Má
Canais de terra, retilíneos e uniformes	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais aberto em rocha, lisos e uniformes	0,025	0,030	0,033	0,035
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes	0,025	0,030	0,030	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedrados	0,028	0,030	0,020	-
Canais com fundo em concreto e paredes em pedra aparelhada em argamassa	-	0,015	0,017	-
Canais com fundo em concreto acabado em pedra irregular em argamassa	-	0,017	0,020	-
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014	0,016	0,018
Arroios e rios				
Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Limpos, retilíneos e uniformes, porém com vegetação e pedras	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, banco e poços profundos, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Com meandros, bancos e poços profundo, limpos, água baixa, declividade fraca, com pedras	0,045	0,050	0,055	0,060
Com margens espaiadas, pouca vegetação	0,05	0,060	0,070	0,080
Com margens espaiadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: DNIT (2005)

3.2.4 Vazão de capacidade do trecho na MA 201- Modelo de Manning

Para calcular a vazão de capacidade do Rio Paciência na travessia com a MA-201, utilizou-se a fórmula de Manning (Equação 01), proporcionando a velocidade de escoamento. Posteriormente definiu-se a área da seção de escoamento da galeria por meio do AutoCad e calculou-se a vazão de capacidade por meio da Equação 02.

3.3 Método I-PAI-WU – Vazão de contribuição

O dimensionamento de uma obra de arte especial depende também do valor da vazão de contribuição. Para encontrar essa vazão, utilizou-se o método de I-PAI-WU. Esse método considera parâmetros intervenientes da bacia hidrográfica, como coeficiente de escoamento, a intensidade de precipitação, área da bacia e o coeficiente espacial da chuva. Calculou-se a Vazão de contribuição por meio da Equação 03. Caso o valor da vazão de contribuição seja maior que o da vazão de capacidade tem-se inundação na região.

Essa vazão também é conhecida como vazão de pico e considerada uma condição fundamental para que se determine o vão necessário abaixo da ponte para a passagem de água prevista para uma precipitação com período de retorno determinado no estudo. Inicialmente determinou-se o coeficiente C ou coeficiente de escoamento.

3.3.1 Coeficiente “C”

No método I-PAI-WU, o coeficiente “C”, de escoamento superficial, é determinado pela Equação 19:

$$C = \frac{2}{1 + F} \cdot \frac{C_2}{C_1} \quad (19)$$

Onde:

C - Coeficiente de escoamento superficial;

C_2 - Coeficiente volumétrico de escoamento;

C_1 - Coeficiente de forma;

F - Fator de forma da bacia.

O resultado do coeficiente C_2 é obtido através da identificação do grau de impermeabilização das áreas conhecidas, que por sua vez é classificado a partir do

conhecimento do uso do solo, do grau de urbanização, da cobertura vegetal e do tipo de solo, segundo especificado na Quadro 07 (ALMEIDA, 2023). O grau de impermeabilização da área foi definido como alto, assim obteve-se o valor de C_2 , conforme apresentado na Quadro 08, podendo ser obtido de maneira direta ou através da ponderação dos coeficientes das áreas parciais.

Quadro 07 - Grau de impermeabilização do solo em função de seu uso

Grau de impermeabilização do solo	Cobertura ou tipo de solo	Uso do solo ou grau de urbanização
Baixo	Com vegetação rala ou esparsa; Solo arenoso seco; Terrenos cultivados	Zonas verdes não urbanizadas
Médio	Terrenos com manto fino de material poroso; Solos com pouca vegetação Gramados amplos Declividades médias	Zona residencial com lotes amplos (maior que 1000 m ²); Zona residencial rarefeita
Alto	Terrenos pavimentados; Solos argilosos; Terrenos rochosos estéreis ondulados; Vegetação quase inexistente	Zona residencial com lotes pequenos (100 a 1000 m ²).

Fonte: (SÃO PAULO, 1999)

Quadro 08 - Coeficientes volumétricos de escoamento C_2

Grau de impermeabilização da superfície	Coeficiente volumétrico de escoamento
Baixo	0,30
Médio	0,50
Alto	0,80

Fonte: (SÃO PAULO, 1999)

O coeficiente C_1 é calculado levando em consideração o fator de forma da bacia hidrográfica determinada no estudo, representado pela Equação 20.

$$C_1 = \frac{4}{2 + F} \quad (20)$$

Onde:

C_1 - Coeficiente de forma;

F - Fator de forma da bacia (Equação 21).

$$F = \frac{L}{2 \cdot \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}} \quad (21)$$

Onde:

L – Comprimento do talvegue (km);

A – Área da bacia (km²)

F – Fator de forma da bacia

Morano (2006) afirma que, se o resultado for igual a 1, a bacia apresenta um formato circular perfeito. Caso seja menor do que 01, a bacia apresenta uma forma circular para elíptica e o seu dreno principal está na transversal da área. Por fim, se for maior do que 01, a bacia foge da forma circular para elíptica e o seu dreno principal está na longitudinal da área.

3.3.2 Tempo de recorrência

Definiu-se o valor do período de recorrência por meio do Quadro 06, em que se definiu a classe da obra em pontes com estrada de 1ª classe, assim foi delimitado o tempo de retorno respectivo para essa classe de obra e empregado nos cálculos adiante.

3.3.3 Tempo de concentração

Para determinar o tempo de concentração foi definido o comprimento do curso d'água principal e da sua declividade, entretanto há autores que determinam em função da área da bacia hidrográfica, como aponta o DNIT (2006). As bacias

hidrográficas que apresentam áreas menores que 1 km², o deflúvio superficial escoar em boa parte da sua trajetória sobre o terreno sem atingir os cursos d'água e a sua velocidade de escoamento depende da rugosidade do terreno, da sua cobertura vegetal e os detritos sobre o solo.

Neste trabalho utilizou-se a Equação 13, utilizando parâmetros físicos da bacia, obtidos através da ferramenta SIG. O comprimento do talvegue principal e as cotas foram obtidas mediante o QGIS utilizando o modelo digital de elevação fornecido pelo Topodata e delimitou-se as curvas de níveis para extrair as cotas necessárias para calcular a diferença de altitude. Posteriormente obtiveram-se as intensidades de chuva e as previsões de vazões, sabendo que, para que toda a bacia contribua para o escoamento, o tempo de duração da chuva excedente deve ser no mínimo igual ao tempo de concentração da bacia.

3.3.4 Precipitação e intensidade de chuva

De acordo com os dados pluviométricos obtidos dos postos pluviométricos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET para o posto de São Luís – MA (Quadro 09), disponível no site do INMET, no serviço conhecido como Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP e os dados disponibilizados pelo Núcleo Geoambiental da UEMA (Quadro 10) foi viável desenvolver os estudos hidrológicos referente à área de estudo, uma vez que os dados fornecidos pelo INMET estavam incompletos, tendo dados até o mês de junho de 2019. Assim, através dos dados da NUGEO, foi possível complementar os dados do INMET até dezembro de 2023 e prosseguir com o trabalho.

Quadro 09 – Dados do posto pluviométrico – INMET

Estação	São Luís – MA (OMM: 82280)
Latitude (graus)	-2,53
Longitude (graus)	-44,21
Período dos dados	01/01/1985 a 30/06/2019
Responsável	INMET
Operador	INMET

Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/>

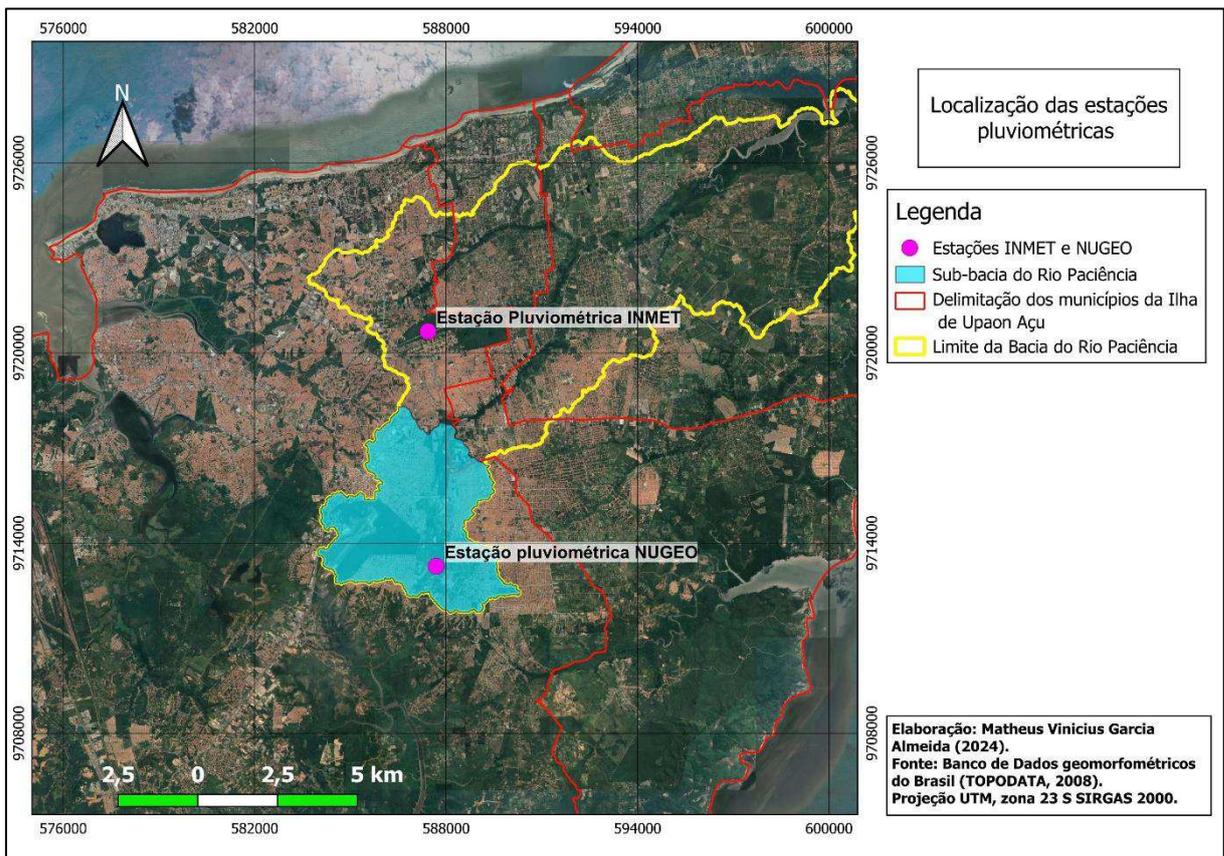
Quadro 10 – Dados do posto pluviométrico – NUGEO

Estação	São Luís – MA (OMM: 32003)
Latitude (graus)	2° 35' 37.85" S
Longitude (graus)	44° 12' 40.43" W
Período dos dados	01/07/2019 a 31/12/2023
Responsável	UEMA
Operador	NUGEO

Fonte: Autor, 2024

A Figura 17 representam a localização das estações pluviométricas utilizadas nesse trabalho, sendo a estação 82280 localizada no bairro do Itapiracó e a estação 32003 localizada na Universidade Estadual do Maranhão.

Figura 17 – Localização das estações pluviométricas



Fonte: Autor (2024)

O cálculo da intensidade de precipitação foi baseado no Método das Isozonas. Inicialmente, extraiu-se os dados referente à precipitação das estações

pluviométricas e os organizou em uma tabela de acordo com precipitação total, precipitação máxima e dias de chuva. Posteriormente, aplicou-se o tratamento estatístico de Chow-Gumbel, em que são calculados os subseqüentes parâmetros: precipitação máxima média ($P_{méd}$) (Equação 04), desvio padrão (σ) (Equação 05) e o tempo de retorno (Equações 08 e 09). Para determinar a precipitação de chuva de 1 (um) dia, empregou-se a Equação 06, onde o valor de K é expresso no Quadro 03, para 39 anos de dados, em função do tempo de retorno.

Para o período determinado foram extraídos os dados de precipitações médias mensais para 39 anos de dados coletados referentes a 1985 a 2023, de acordo com a Quadro 11.

Quadro 11 – Precipitações médias mensais de 1985 - 2023

Médias mensais no período de 1985 - 2023												
Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Precipitação	247,0	324,6	468,7	437,3	308,0	185,3	121,0	26,9	5,3	5,2	20,9	68,5

Fonte: Autor, 2024

De acordo com os dados coletados da Tabela dos Dados pluviométricos do Apêndice A e da análise dos dados, é plausível estabelecer os valores das precipitações diárias, para os respectivos tempos de recorrência.

3.3.5 – Transformação de chuva máxima em vazão

Tucci (1993) afirma que a precipitação de 1 dia corresponde ao valor acumulado nos intervalos de observação, e a precipitação de 24 horas é o máximo referente a um período contínuo de 24 horas.

Assim, os valores de precipitação para 1 dia foram convertidos em precipitações de 24 horas, conforme a metodologia apresentada por Taborga. A conversão se deu por meio da multiplicação da precipitação de 1 dia pelo fator de 1,095.

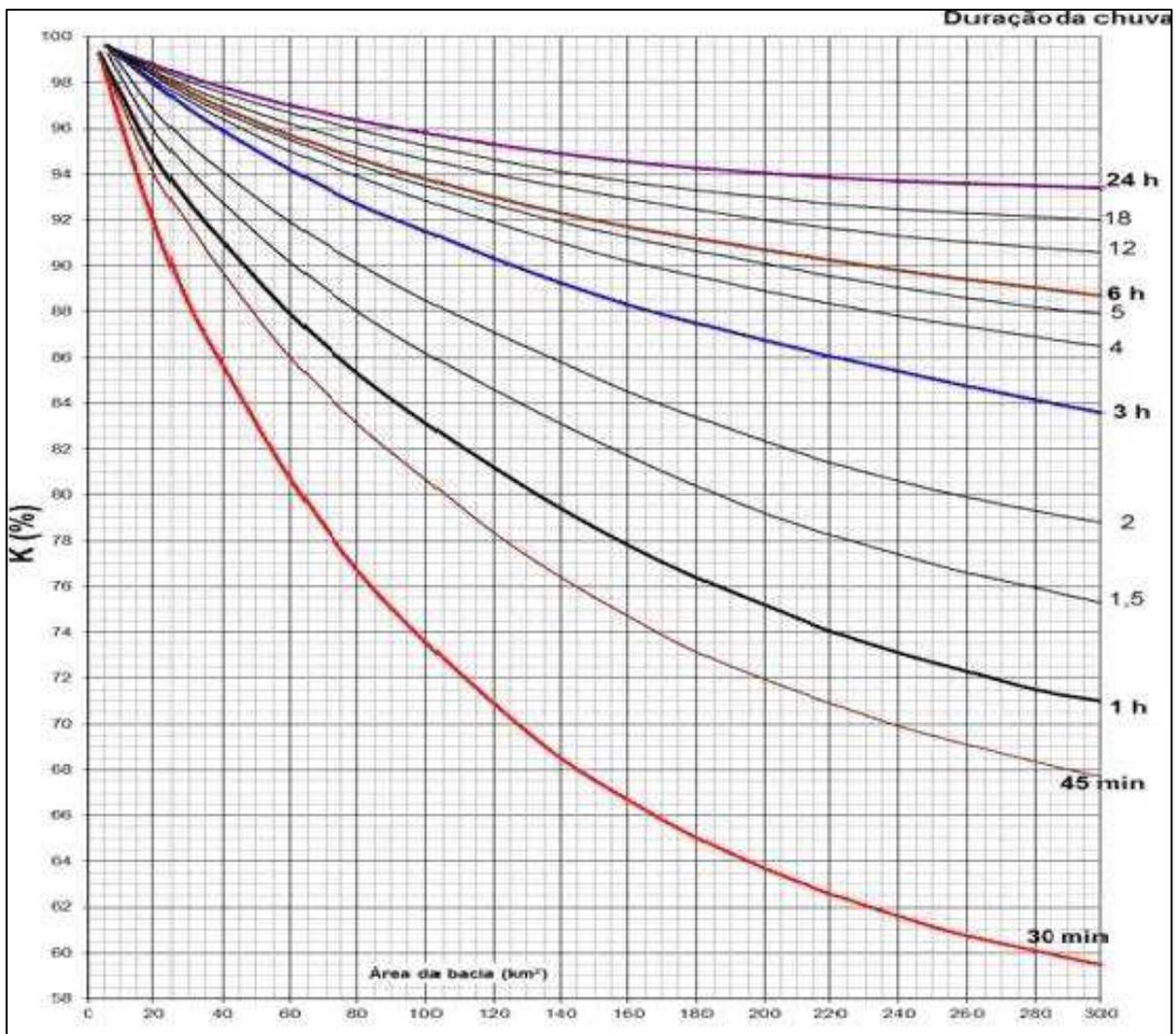
A determinação da Isozona correspondente ao posto de São Luís – MA foi por meio do mapa das Isozonas proposto por Taborga na Figura 05 e constatou-se que a cidade se limita na Isozona C, expressando seus percentuais de desagregação da precipitação em 1 hora e 06 minutos na Quadro 02. Utilizando a ferramenta Solver do Excel, foi possível definir os parâmetros da equação da chuva K, a, b e c e calcular

a intensidade de precipitação para qualquer tempo de retorno, mediante a Equação 07.

3.3.6 Coeficiente espacial da chuva

Outro parâmetro para calcular a vazão de contribuição é a determinação do coeficiente K que leva em consideração a desigualdade de distribuição das chuvas em uma determinada área de contribuição (km^2) e o tempo de concentração (horas), sendo determinado através do ábaco apresentado na Figura 18 (TOMAZ, 2010).

Figura 18 - Ábaco da distribuição espacial da chuva (k)



Fonte: DNIT (2005)

3.3.7 Cálculo da enchente máxima

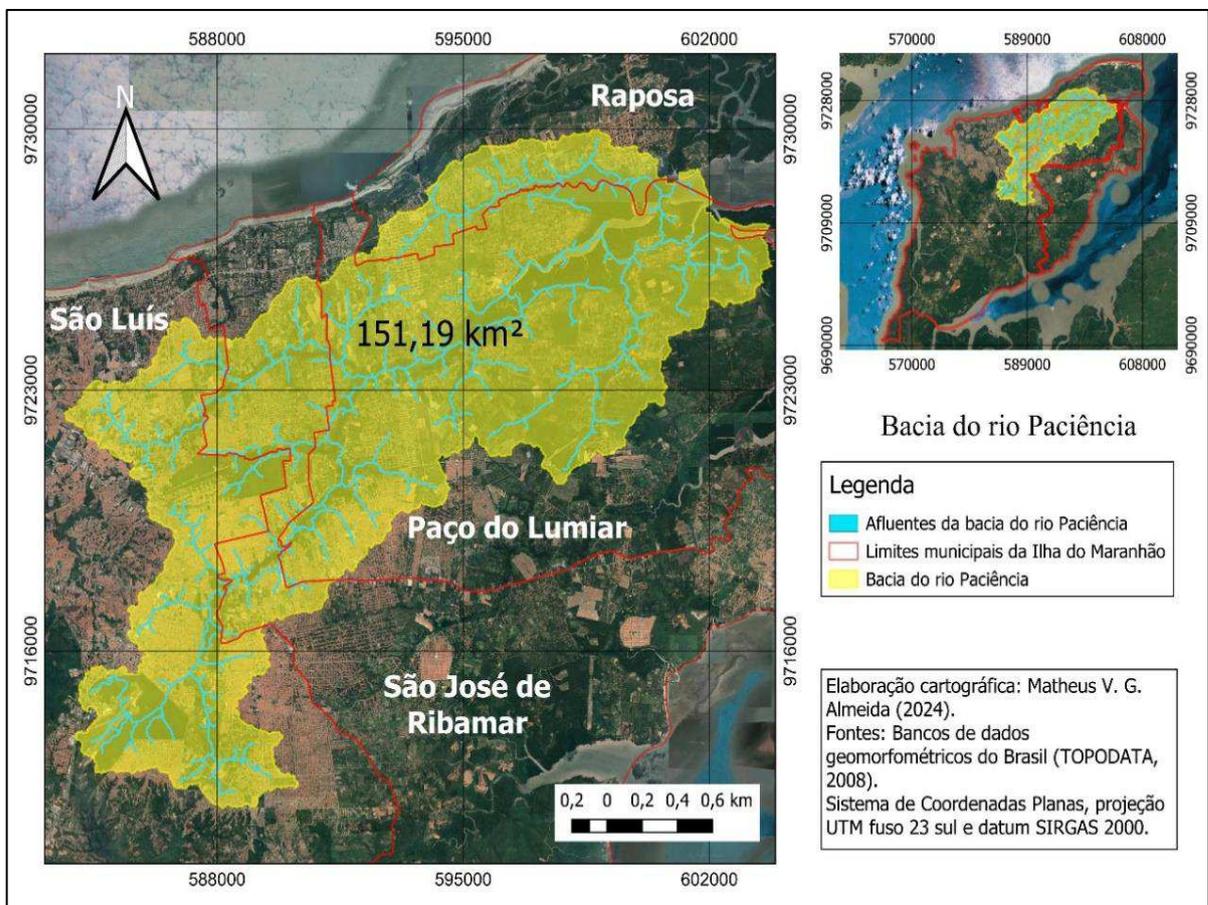
O cálculo da enchente máxima é realizado fazendo o uso da Equação 16, onde substituiu-se o valor da declividade (I) encontrado pela Equação 18, já o coeficiente de Manning foi substituído pelo resultado obtido pela análise do Quadro 06 e a vazão presente na equação substituiu-se pelo valor da vazão de contribuição da Equação 03. Definido o resultado de $A \cdot R^{\frac{2}{3}}$, calcula-se o valor da área molhada e do perímetro molhado criando-se uma tabela no Excel e gerando o seu gráfico, assim encontra-se o valor da cota de enchente máxima.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Área da sub-bacia

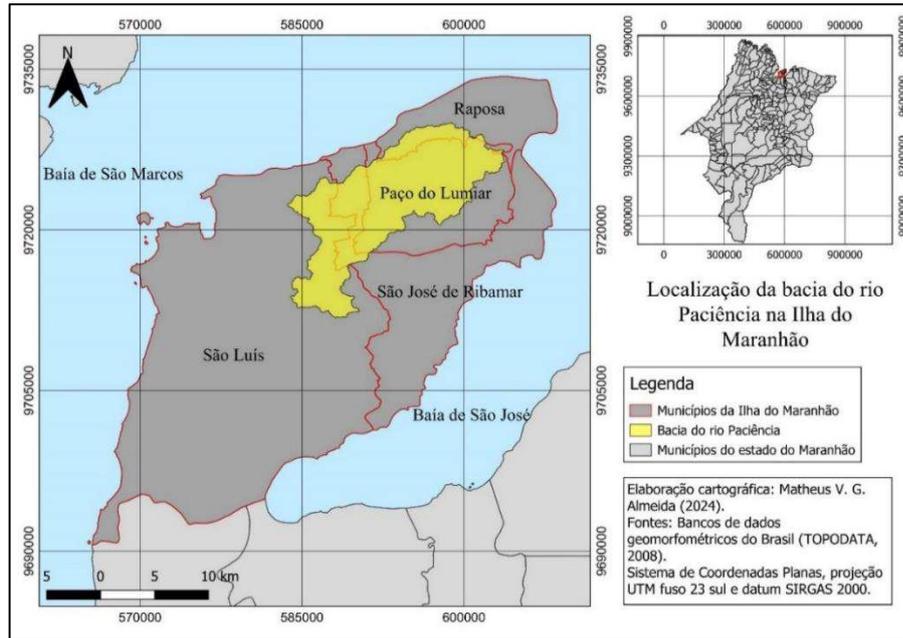
A Bacia do Rio Paciência é uma das mais importantes dentro da Ilha de Upaon Açu, sendo considerada uma das maiores, com uma área de 151,19 km², como demonstra a Figura 19. Essa bacia possui áreas dentro dos quatro municípios que compõem a ilha (São Luís, Raposa, Paço do Lumiar e São José de Ribamar). De acordo com a Figura 20 é possível observar a extensão dessa bacia dentro dos limites da ilha, estabelecendo um enorme espaço.

Figura 19 - Bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão



Fonte: Autor, 2024

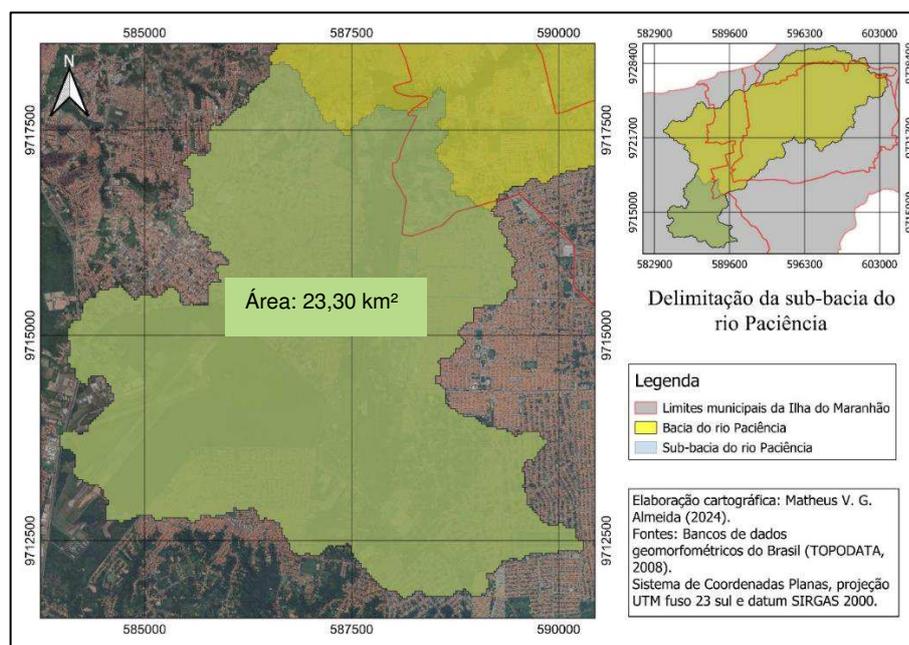
Figura 20 - Localização da bacia do Rio Paciência na Ilha do Maranhão



Fonte: Autor, 2024

A sub-bacia do Rio Paciência, local definido para esse estudo, possui uma área de 23,30 km², como demonstrado na Figura 21. Esta obtém contribuição da região delimitada entre o bairro da Forquilha até a travessia na rodovia MA-201 e o seu principal talvegue tem sua nascente localizada próxima à UEMA.

Figura 21 – Delimitação da sub-bacia do Rio Paciência na travessia com a MA-201



Fonte: Autor, 2024

Na sub-bacia delimitada, é possível afirmar que se encontram alguns bairros, como: São Cristóvão, São Bernardo, Cidade Operária, Forquilha e Maiobinha, bairro onde se encontra o pontilhão existente, como observado na Figura 22, imagem capturada por drone.

Figura 22 - Vista aérea da travessia da MA-201 com o rio Paciência



Fonte: Autor, 2024

Através do forte processo de urbanização da região é possível observar, em alguns pontos localizados dentro da bacia, ocupação e assoreamento na calha do rio, resultando em inundações no período chuvoso. A Figura 23, obtida por meio de drone, é uma vista longitudinal da ponte de concreto composta por galeria celular que vence o leito do Rio Paciência. É possível observar que há três estruturas de concreto de sustentação da ponte que atuam como obstáculo, por exemplo, na passagem de galhos, resultando em fechamentos parciais do escoamento da água do rio (Figura 24), acarretando no período chuvoso em inundações.

Figura 23 – Vista transversal da ponte de concreto da travessia



Fonte: Autor, 2024

Figura 24 – Material obstruindo parcialmente fluxo da água nas estruturas da galeria celular



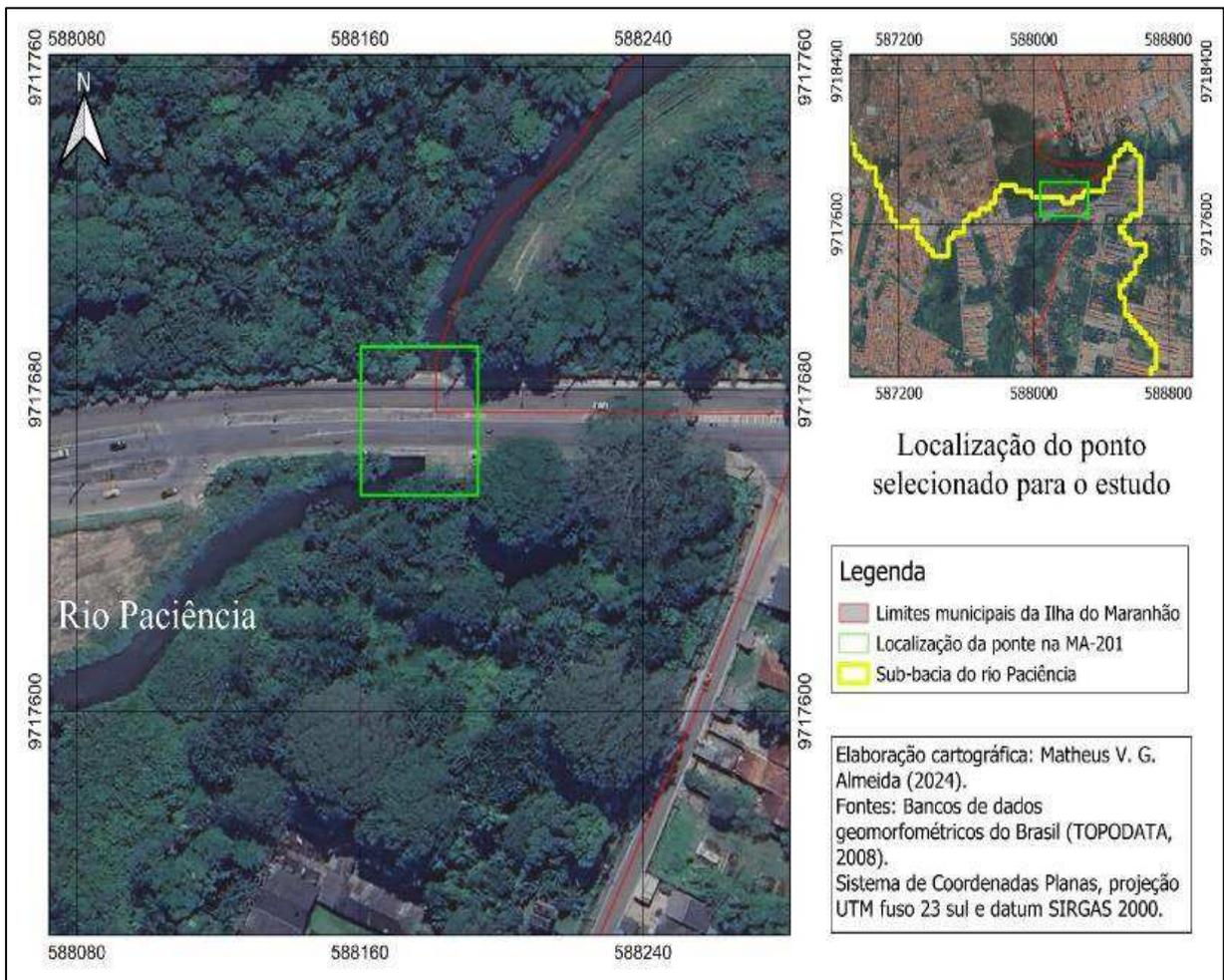
Fonte: Autor, 2024

4.2 Identificação da configuração da calha do rio

No trecho delimitado no estudo, o rio Paciência possui uma calha em terreno natural, identificado com visitas ao local. Segundo informações locais, o leito já foi dragado algumas vezes devido ao processo de assoreamento sofrido pelo mesmo, principalmente, no trecho onde se encontra o pontilhão na travessia com a MA-201. É comum no período chuvoso da Ilha do Maranhão, compreendido entre janeiro e junho, o curso d'água extravasar e passar por cima da via local.

As Figuras 25 e 26 apresentam a localização da travessia do curso d'água do rio Paciência com a rodovia MA-201. A Figura 27, apresenta a configuração da calha próximo ao pontilhão na travessia mencionada anteriormente.

Figura 25 - Localização da seção delimitada no estudo



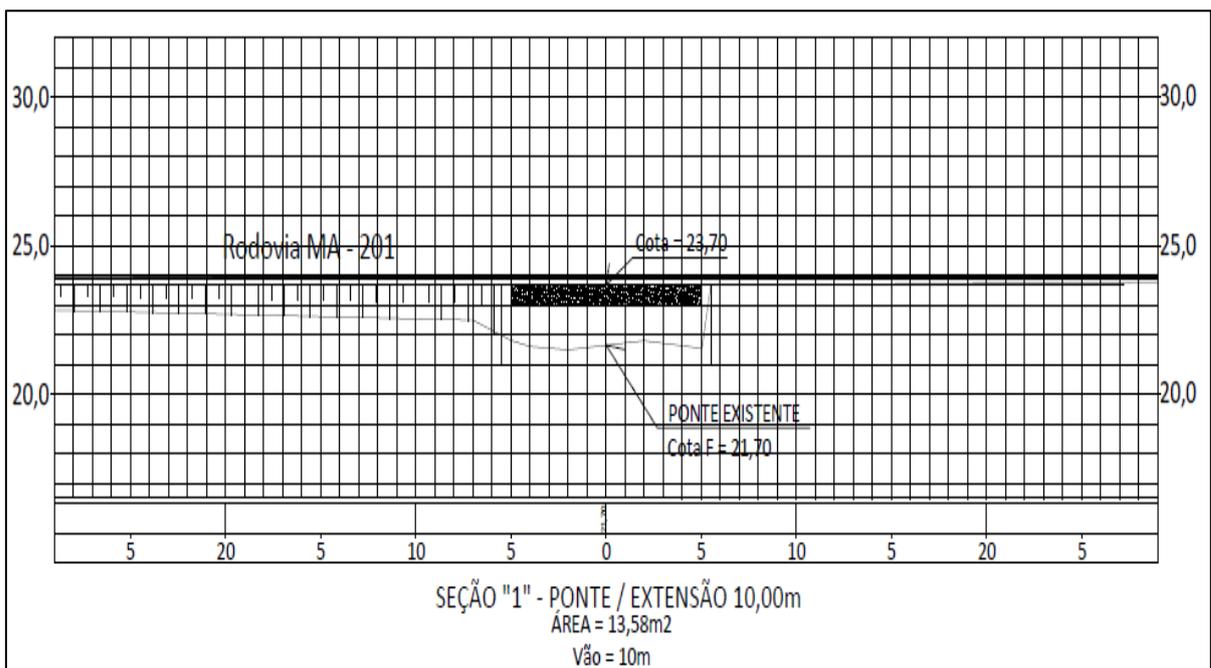
Fonte: Autor, 2024

Figura 26 - Detalhes da localização da seção delimitada para estudo



Fonte: Google Earth, 2024

Figura 27 - Representação da seção transversal do pontilhão existente na travessia da MA-201

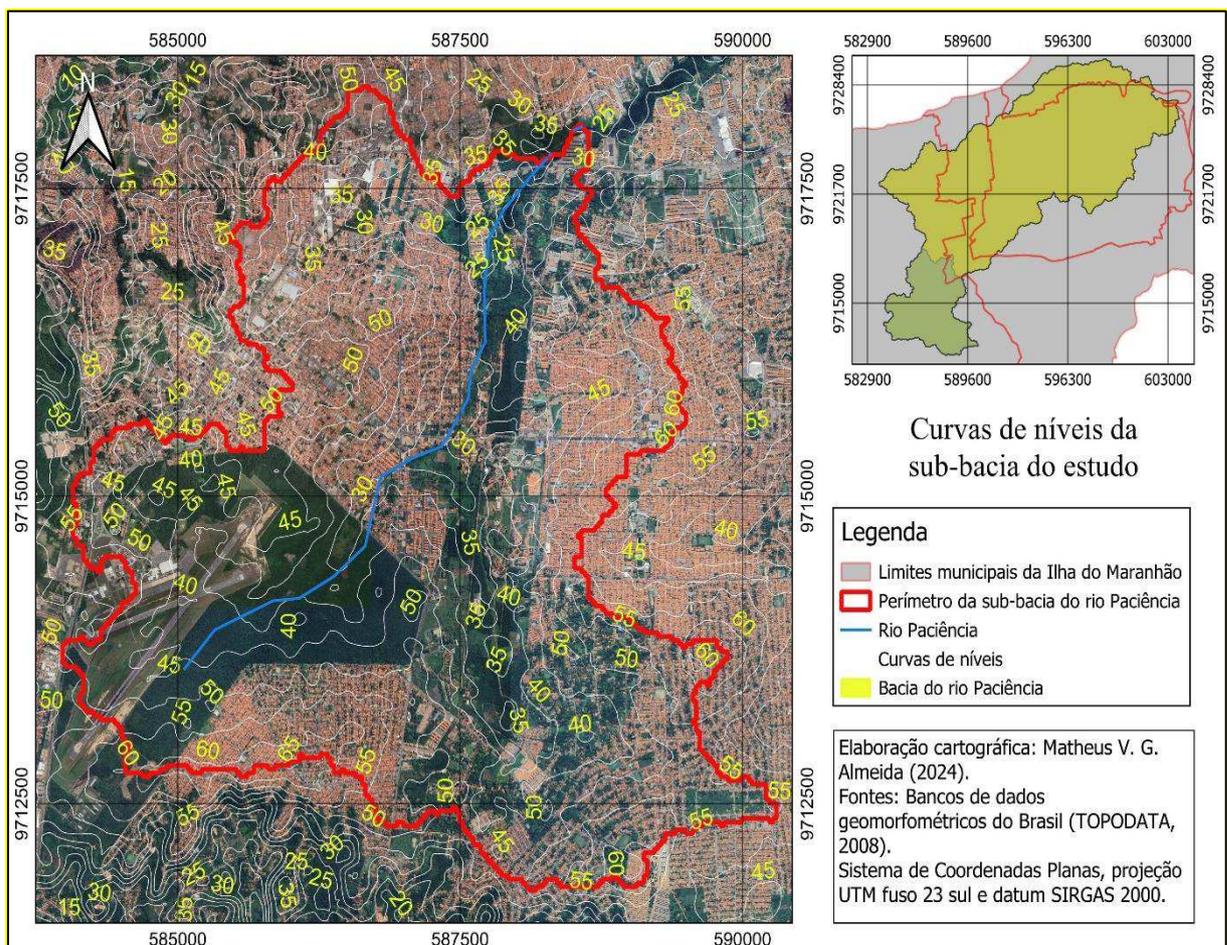


Fonte: Autor, 2024

4.3 Declividade do rio

Segundo a metodologia apresentada, a declividade foi calculada através da média simples (Equação 17) e da média equivalente (Equação 18). A obtenção dos valores das cotas foi possível mediante o software QGIS, onde foi delimitado a sub-bacia em questão, inserido as suas altitudes através de ferramentas do software e delimitado o talvegue principal para alcançar o comprimento total. Os valores obtidos das curvas de níveis (Figura 28) através do QGIS, foram delimitadas no software de acordo com o ponto inicial e final do talvegue, e extraídas para o Excel. Além das altitudes, foi traçado o percurso do rio e pela “tabela de atributos” do programa utilizado, extraído também o valor do seu comprimento. Esses dados são demonstrados no Quadro 12.

Figura 28 – Curvas de níveis da sub-bacia delimitada



Fonte: Autor, 2024

Quadro 12 – Definição das altitudes da sub-bacia do Rio Paciência

Cotas	
Δ_1	25
Δ_2	60

Fonte: Autor, 2024

Através da Equação 17 é possível obter o valor da declividade média simples do rio, resultando em:

$$Dc = \frac{60 - 25}{6,58}$$

$$Dc = 0,053\%$$

Em seguida, por meio da Quadro 13, foi possível determinar o valor da declividade equivalente (Equação 18) e comparar o resultado com o da média simples.

Quadro 13 – Cálculo da declividade média equivalente da sub-bacia

TRECHO	Distâncias (km)	Cotas	H	i (H/L)	$i^{1/2}$	Declividade $L/(i)^{1/2}$
	(Li)		(m)	(m/km)		
		21,70				
0 - 1	0,1000		0,20	2,00	1,41	0,07
		21,90				
1 - 2	0,1000		0,20	2,00	1,41	0,07
		22,10				
2 - 3	0,1000		0,20	2,00	1,41	0,07
		22,30				
3 - 4	0,1000		0,20	2,00	1,41	0,07
		22,50				
4 - 5	0,1000		0,20	2,00	1,41	0,07
		22,70				
TOTAIS	0,5000	-	-	-	7,07	0,35

Fonte: Autor, 2024

Assim, a declividade através do método anterior foi de 0,20%, sendo esse valor mais preciso que o resultado da média simples, uma vez que na equivalente definem-se vários pontos para analisar as altitudes e encontrar a declividade, diferente da média simples considera apenas dois pontos (início e fim).

4.4 Rugosidade da margem do rio Paciência

O coeficiente de Manning referente à rugosidade das margens do curso d'água do rio Paciência são dois. O primeiro refere-se à margem do rio onde é identificado o curso d'água natural apresentando muita vegetação e assoreamento em diversos locais. A segunda condição é representada pelo local da travessia do rio com a rodovia MA-201, tendo um pontilhão fazendo essa superação do obstáculo (curso d'água). O Quadro 14 apresenta os valores e características para cada situação da rugosidade, cujos dados foram obtidos baseando-se no Quadro 06.

Quadro 14 - Coeficiente de rugosidade “n” para a sub-bacia do estudo

Trecho	Coeficiente n		Características
	Obra existente	Leito do rio	
Canal natural	-	0,15	Canal em más condições com margens espraçadas, muita vegetação
Travessia com a MA-201	Pontilhão (comprimento: 10 m)	0,018	Canais em más condições revestido em concreto

Fonte: Autor, 2024

A sub-bacia em questão apresenta uma enorme área de extensão e entendendo que em sua grande parte encontra-se margens naturais, o coeficiente n mais significativo é 0,018. Porém, para calcular a vazão de capacidade na travessia, considerou-se as características da ponte na travessia.

4.5 Cálculo da vazão de capacidade – Aplicação do modelo de Manning

Através dos dados obtidos nos itens anteriores calculou-se a capacidade máxima de vazão da seção considerada na sub-bacia do rio Paciência aplicando o modelo de Manning.

O Quadro 15 apresenta os parâmetros necessários para calcular a vazão da capacidade máxima da seção considerada, aplicando as Equações 01 e 02. Devido às limitações impostas no local para levantamentos mais assertivos com relação às

características das margens do rio próximas da travessia, foi adotado o valor de 0,018, correspondendo ao revestimento da ponte em concreto em más condições.

Quadro 15 – Parâmetros para cálculo do Modelo de Manning

Área S (m ²)	Perímetro P (m)	Raio hidráulico (Área/perímetro)	Declividade do trecho (%)	Coefficiente de Manning
13,58	12,7	1,069291	0,20	0,018

Fonte: Autor, 2024

Com os parâmetros do Quadro 15, em que a seção da galeria celular e seu perímetro foram obtidos por meio do AutoCad, é possível calcular a velocidade de escoamento no trecho, através da Equação 01:

$$V = \frac{(1,069291)^{2/3} \cdot 0,20\%^{1/2}}{0,018}$$

$$V = 2,60 \text{ m/s}$$

Após encontrar o valor da velocidade de escoamento do trecho (V) e através do levantamento da seção do corte do dispositivo de drenagem, obteve-se o valor da seção de escoamento do trecho (S), como demonstrado no Quadro 15. Assim, é possível determinar o valor da vazão de capacidade através da Equação 02.

$$Q = 13,58 \cdot 2,6$$

$$Q = 35,30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4.6 Cálculo da vazão contribuição – Método I-PAI-WU

Considerando os Quadros 07 e 08, e as Equações 19, 20 e 21, calcula-se a vazão de contribuição através do método I-PAI-WU, com base nos dados do Quadro 16 e de acordo com a Equação 03.

Quadro 16 – Dados para cálculos da vazão de contribuição

Área (km ²)	Comprimento L (km)	Varição de altitude ΔH (m)
23,30	6,58	7,30

Fonte: Autor, 2024

Inicialmente, calcula-se o Fator de forma da bacia através da Equação 21:

$$F = \frac{L}{2 \cdot \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}}$$

$$F = \frac{6,58}{2 \cdot \left(\frac{23,30}{\pi}\right)^{0,5}}$$

$$F = 1,21$$

Após encontrar o valor do Fator de forma, calculou-se o Coeficiente volumétrico de escoamento (C_2) e o coeficiente de forma (C_1). Para determinar o valor de C_2 é necessário a utilização do Quadro 07 e, em sequência, o Quadro 08. De acordo com o Quadro 07, o grau de impermeabilização do solo da área definida para estudo é alto, devido a condomínios próximos e terrenos pavimentados. Sabendo que o grau de impermeabilização do solo é alto, utiliza-se o Quadro 08 para determinar o valor numérico do coeficiente C_2 .

$$C_2 = 0,80$$

Determinado o valor do coeficiente volumétrico, deve-se encontrar o valor do segundo coeficiente da equação, C_1 , conforme a Equação 20:

$$C_1 = \frac{4}{2 + F}$$

Substituindo o valor de F encontrado anteriormente na equação acima, tem-se:

$$C_1 = \frac{4}{2 + 1,21}$$

$$C_1 = 1,25$$

Encontrado os parâmetros, substitui-se na Equação 19:

$$C = \frac{2}{1 + F} \cdot \frac{C_2}{C_1}$$

$$C = \frac{2}{1 + 1,21} \cdot \frac{0,80}{1,25}$$

$$C = 0,58$$

4.6.1 Tempo de concentração

O tempo de concentração foi obtido seguindo a Equação 13, assim:

$$t_c = 85,2 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

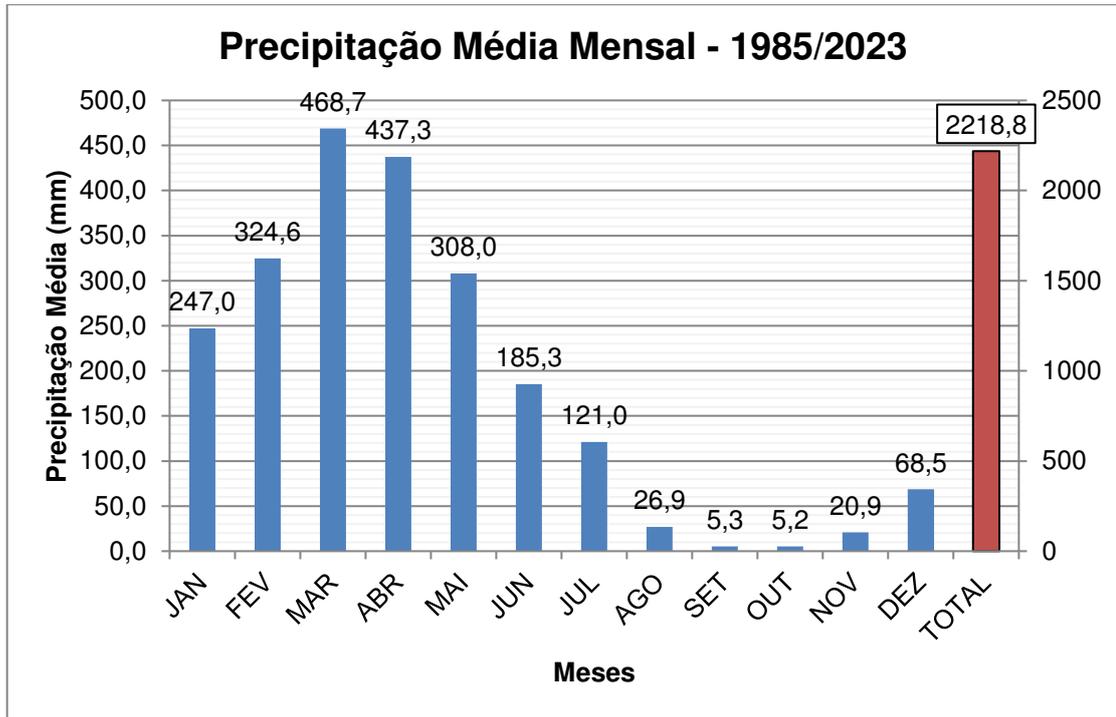
$$t_c = 3,10h$$

4.6.2 Precipitação

Por meio dos dados coletados nos postos pluviométricos na cidade de São Luís, é possível afirmar que a distribuição de chuvas no decorrer do ano é mais intensa no primeiro semestre, mais precisamente entre os meses de fevereiro a maio, e o segundo semestre remete à estiagem, com baixa pluviometria entre os meses de agosto a novembro, sendo possível verificar na Figura 29, 30 e 31, e na Tabela 6 a compilação de dados obtidos no INMET e NUGEO.

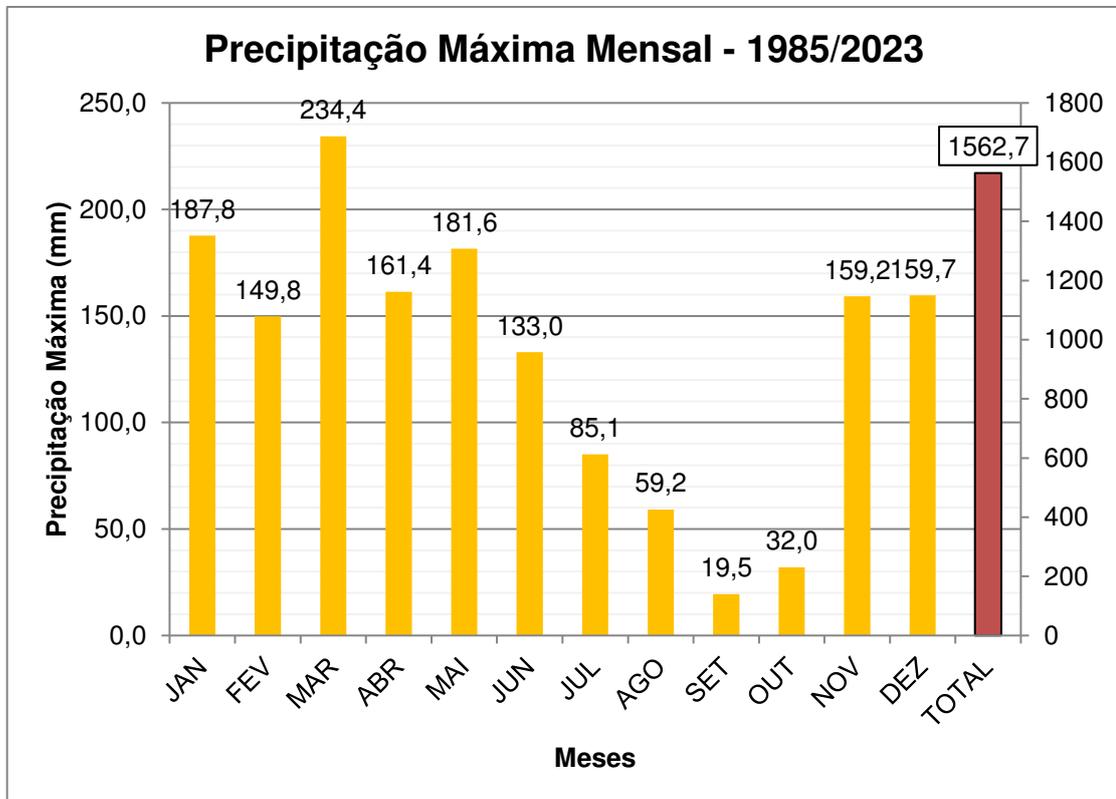
Os dados ponderados dos dois postos, foram elaborados de acordo com a Metodologia, levando em consideração os dados de chuva diários, além disso obteve-se a precipitação máxima anual a partir dos dados das estações, representado pela Figura 32. Já o tratamento estatístico utilizando o Método estatístico de Chow-Gumbel, conforme representado no Quadro 17. O período de retorno apresentado no quadro supracitado foi calculado por meio das Equações 08 e 09.

Figura 29 – Dados da precipitação média mensal entre 1985 - 2023



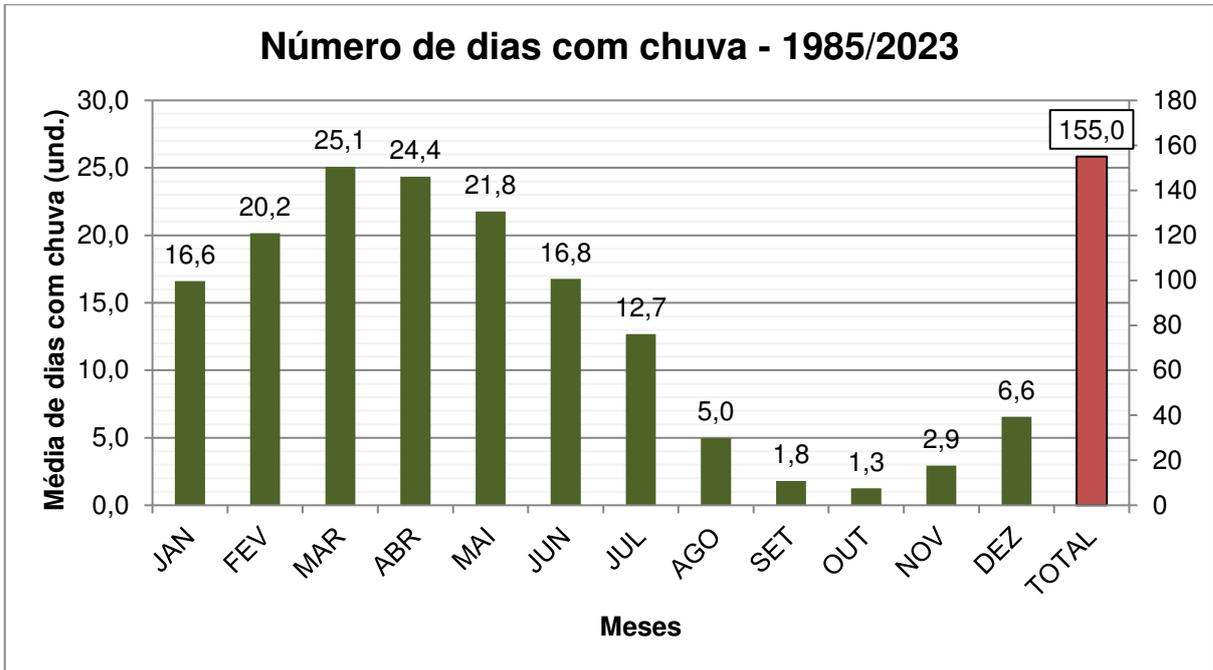
Fonte: Autor, 2024

Figura 30 – Dados da precipitação máxima mensal entre 1985 - 2023



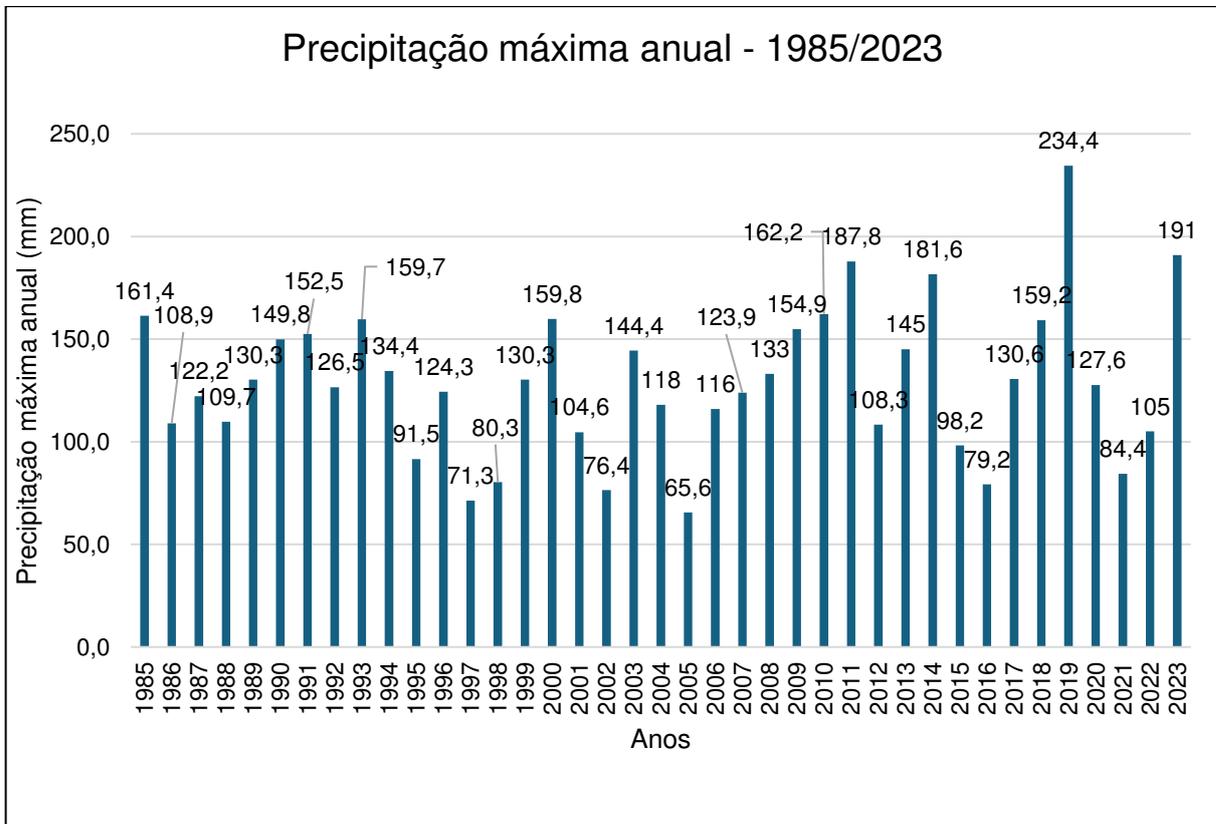
Fonte: Autor, 2024

Figura 31 – Dados do número de dias com chuva entre 1985 - 2023



Fonte: Autor, 2024

Figura 32 – Precipitações máximas anuais



Fonte: Autor, 2024

Quadro 17 – Método estatístico de Chow-Gumbel – Posto 82280 – MA

ANO	MÁXIMA PRECIPITAÇÃO MENSAL (mm)	ARRANJO EM ORDEM		P – Pmed	(P – Pmed) ²	PERÍODO DE RETORNO
		ORDEM CRESCENTE	MÁXIMA (mm) DECRESCEN TE			
1985	161,4	1	234,4	105,1	11.037,9	40,0
1986	108,9	2	191,0	61,7	3.802,1	20,0
1987	122,2	3	187,8	58,5	3.417,8	13,3
1988	109,7	4	181,6	52,3	2.731,3	10,0
1989	130,3	5	162,2	32,9	1.079,9	8,0
1990	149,8	6	161,4	32,1	1.027,9	6,7
1991	152,5	7	159,8	30,5	927,9	5,7
1992	126,5	8	159,7	30,4	921,8	5,0
1993	159,7	9	159,2	29,9	891,7	4,4
1994	134,4	10	154,9	25,6	653,4	4,0
1995	91,5	11	152,5	23,2	536,5	3,6
1996	124,3	12	149,8	20,5	418,7	3,3
1997	71,3	13	145,0	15,7	245,3	3,1
1998	80,3	14	144,4	15,1	226,8	2,9
1999	130,3	15	134,4	5,1	25,6	2,7
2000	159,8	16	133,0	3,7	13,4	2,5
2001	104,6	17	130,6	1,3	1,6	2,4
2002	76,4	18	130,3	1,0	0,9	2,2
2003	144,4	19	130,3	1,0	0,9	2,1
2004	118,0	20	127,6	-1,7	3,0	2,0
2005	65,6	21	126,5	-2,8	8,1	1,9
2006	116,0	22	124,3	-5,0	25,4	1,8
2007	123,9	23	123,9	-5,4	29,6	1,7
2008	133,0	24	122,2	-7,1	51,0	1,7
2009	154,9	25	118,0	-11,3	128,6	1,6
2010	162,2	26	116,0	-13,3	177,9	1,5
2011	187,8	27	109,7	-19,6	385,7	1,5
2012	108,3	28	108,9	-20,4	417,7	1,4
2013	145,0	29	108,3	-21,0	442,6	1,4
2014	181,6	30	105,0	-24,3	592,4	1,3
2015	98,2	31	104,6	-24,7	612,0	1,3
2016	79,2	32	98,2	-31,1	969,6	1,3
2017	130,6	33	91,5	-37,8	1.431,7	1,2
2018	159,2	34	84,4	-44,9	2.019,5	1,2
2019	234,4	35	80,3	-49,0	2.404,8	1,1
2020	127,6	36	79,2	-50,1	2.513,9	1,1
2021	84,4	37	76,4	-52,9	2.802,5	1,1
2022	105,0	38	71,3	-58,0	3.368,5	1,1
2023	191,0	39	65,6	-63,7	4.062,6	1,0
Pmed=	129,34	Posto INMET - SÃO LUÍS - MA (82280)				
σ =	36,42	Dados: 1985 a 2023				

Fonte: Autor, 2024

A transformação das chuvas diárias se deu através do Método de Taborga, utilizando o Quadro 03 de Gumbel e por fim foram geradas as precipitações para os períodos de retorno apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 – Precipitações diárias em função do tempo de retorno

Precipitação Diária (1dia)				
	Pmed	K	σ	Precipitação
P5	129,34	0,840	36,42	159,9326
P10	129,34	1,499	36,42	183,9345
P15	129,34	1,867	36,42	197,3376
P25	129,34	2,331	36,42	214,2373
P50	129,34	2,950	36,42	236,7822
P100	129,34	3,563	36,42	259,1087

Fonte: Autor, 2024

Dessa forma, foi possível calcular as precipitações para 24h, 1h e 6 minutos segundo a metodologia apresentada, mediante a multiplicação da precipitação para 1 dias com o coeficiente de 1,095, resultando no valor da precipitação para 24 horas, conforme demonstrado no Quadro 19. E obtiveram-se as curvas de intensidade-duração-frequência e precipitação-duração-frequência, representada pelas Figuras 33 e 34.

Quadro 19 – Precipitações de 24 horas, 1 hora e 06 minutos

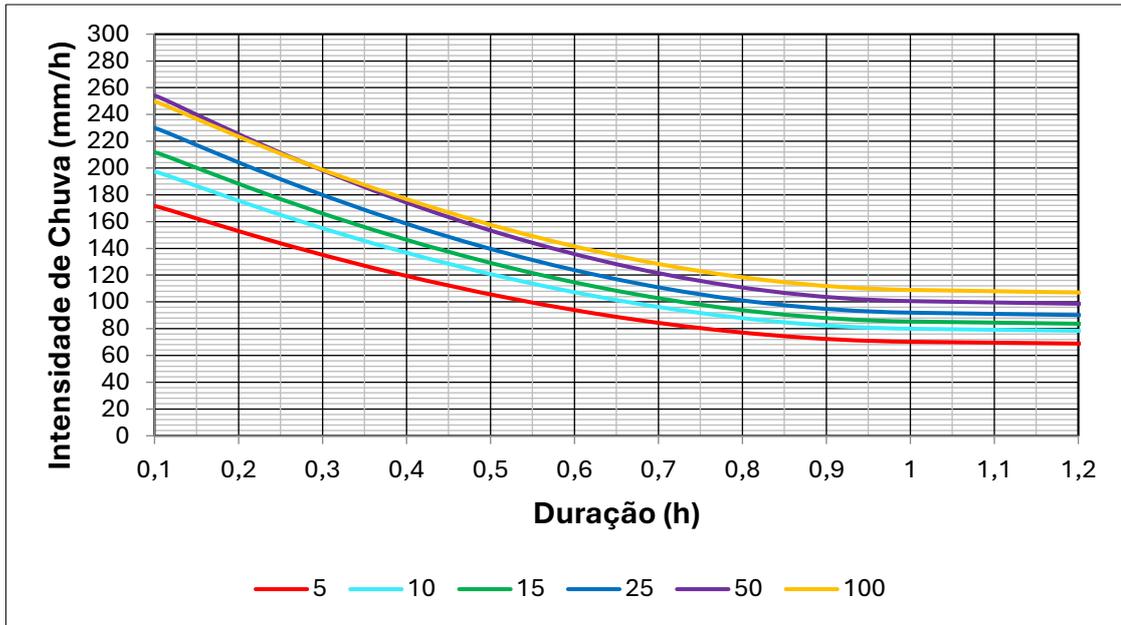
Tempo de Recorrência Tr (anos)	k	Precipitação				Zona:
		Diária	24 horas	1 hora	6 Minutos	C
5	0,840	159,9326	175,1262	70,22562	17,16237	40,10
10	1,499	183,9345	201,4082	79,95907	19,73801	39,70
15	1,867	197,3376	216,0847	85,35346	21,1763	39,50
25	2,331	214,2373	234,5898	91,9592	22,9898	39,20
50	2,950	236,7822	259,2766	100,5993	25,4091	38,80
100	3,563	259,1087	283,724	108,95	24,96771	38,40

Fonte: Autor, 2024

Para determinar as curvas de precipitação e de intensidade – duração – frequência (IDF), fez-se um estudo das informações pluviométricas obtidas do posto

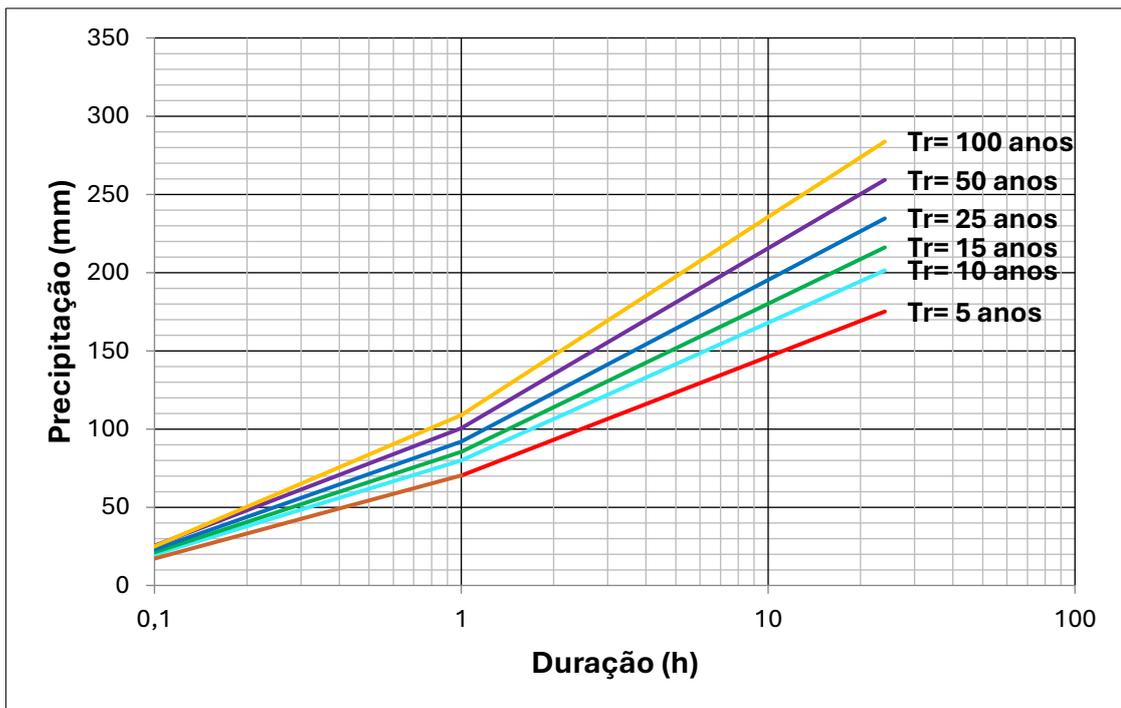
de estudo. Essas curvas foram determinadas por meio de analogias com as Retas de Precipitação – Duração – Frequência, tangendo os tempos de recorrência utilizados.

Figura 33 – Curva de Intensidade-Duração-Frequência de São Luís - MA



Fonte: Autor, 2024

Figura 34 – Curva de Precipitação-Duração-Frequência de São Luís - MA



Fonte: Autor, 2024

4.6.3 Equação da chuva

Para determinar a equação da chuva foi necessário a utilização de todo o tratamento estatístico através do Método Chow-Gumbel, onde foi possível através do Solver, ferramenta do software Excel, obter os parâmetros para a equação da chuva (Quadro 20). Assim, a equação da chuva encontrada está representada pela Equação 07.

Quadro 20 – Parâmetros da equação da chuva

Parâmetros da equação da chuva			
K	a	b	c
1908,5507	0,1261	19,5228	0,7891

Fonte: Autor, 2024

A Equação 07 permite a determinação da intensidade de chuva, que depende do tempo de concentração calculado e do tempo de retorno para o projeto. Sabendo que o tempo de concentração é de 3,10h e o tempo de retorno de 100 anos, então a intensidade de chuva é de:

$$I = \frac{1908,5507 \cdot 100^{0,1261}}{19,5228 \cdot 3,10^{0,7891}}$$

$$I = 71,55 \text{ mm/h}$$

Através dos resultados de cada parâmetro representado no Quadro 21 é possível calcular a vazão de contribuição do dispositivo de drenagem instalado na região, em que a área o coeficiente espacial da chuva foi obtido por meio do ábaco da Figura 18, assim para uma área de verificando se atende à demanda de fluxo de água durante as precipitações.

Quadro 21 – Parâmetros para cálculo através do método I-PAI-WU

Área (km ²)	Escoamento superficial (C)	Intensidade de chuva (I)	Coeficiente de distribuição (k)
23,30	0,58	71,55	99

Fonte: Autor, 2024

Mediante o Quadro 21, calcula-se a vazão de contribuição do dispositivo de drenagem fazendo uso da Equação 03.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A^{0,9} \cdot k$$

$$Q = 0,278 \cdot 0,58 \cdot 71,55 \cdot 23,30^{0,9} \cdot 0,99$$

$$Q = 194,63 \frac{m^3}{s}$$

Caso o valor da vazão de contribuição seja maior que o resultado da vazão de capacidade, a área é suscetível a inundações. No presente estudo é possível corroborar que as inundações da Figuras 15 e 16 são verídicas, já que o resultado encontrado para vazão de capacidade foi de 35,30 m³/s e a vazão de contribuição resultou em 194,63 m³/s.

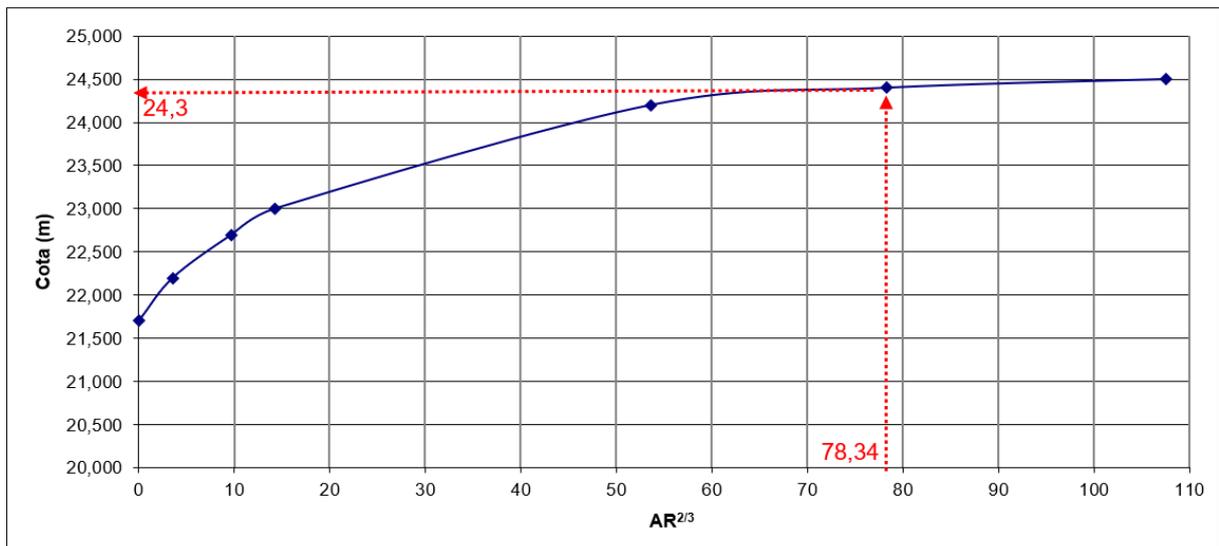
4.7 Cálculo da enchente máxima

Na sequência foram calculados os níveis de enchentes máximas para o período de recorrência de 100 anos, atendendo os dados e características da travessia em estudo, encontrando o valor da cota de enchente máxima através da Equação 16, cujo resultados são apresentados no Quadro 22 e o gráfico da Figura 35.

Quadro 22 – Cálculos hidráulicos de enchente máxima na travessia da MA-201

Estudo de enchente máxima - sub-bacia do rio paciência/ma-201						
Cálculo da vazão de projeto: (t = 100 anos)						
Q _{máx} = 194,63 m ³ /s						
Cálculos hidráulicos (vão = 10m)						
n = 0,018	i = 0,20%	AR ^{2/3} = Qn/i ^{1/2}			AR ^{2/3} = 78,34	
COTA (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	R ^{2/3}	AR ^{2/3}	V (m/S)
21,700	F	U	N	D	O	
22,200	5,613	11,100	0,506	0,635	3,563	0,655
22,700	10,613	12,100	0,877	0,916	9,725	0,945
23,000	13,613	12,700	1,072	1,047	14,258	1,080
24,000	50,510	240,090	0,210	0,354	17,867	0,365
24,200	97,710	240,490	0,406	0,549	53,600	0,566
24,500	148,510	241,090	0,616	0,724	107,516	0,747

Fonte: Autor, 2024

Figura 35 – Gráfico: Cota x $AR^{2/3}$ – Travessia MA-201

Fonte: Autor, 2024

De acordo com o gráfico acima é possível afirmar que a cota de enchente máxima, que é de 24,30m, se encontra acima da cota do dispositivo de drenagem existente no local de estudo, correspondente a 23,70m. Dessa forma, é possível concluir que a cota de inundação máxima determinada acarreta em grandes impactos na região, pois atinge uma área urbanizada e uma importante rodovia estadual que interliga o município de São José de Ribamar e Paço do Lumiar à capital maranhense, além disso, o pontilhão é insuficiente para atender a demanda em período chuvoso.

4.8 Dimensionamento hidráulico do dispositivo de drenagem

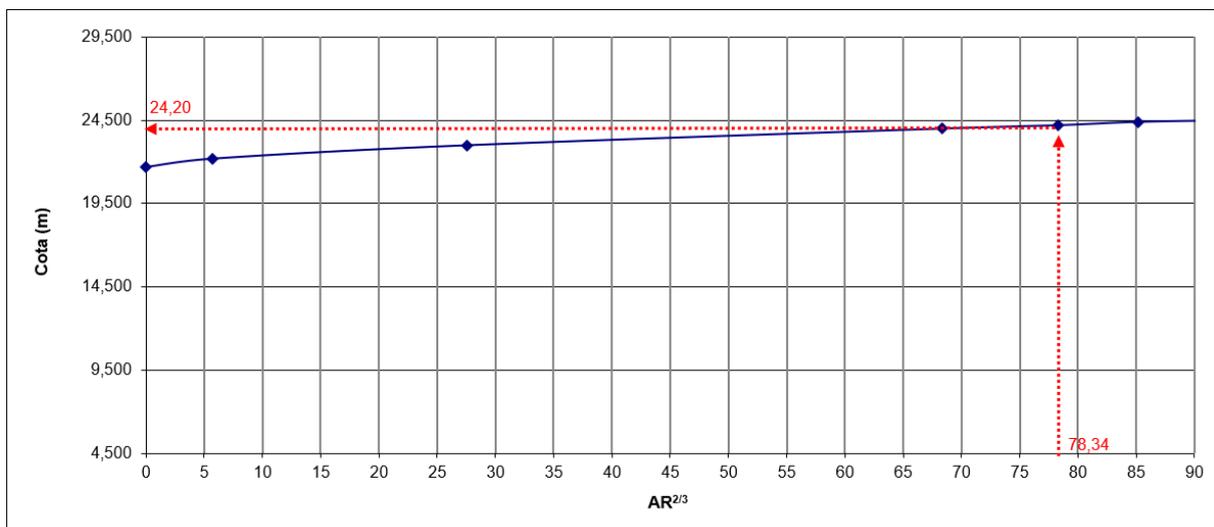
De acordo com os dados do Quadro 22 e da Figura 35, foi possível fazer um dimensionamento hidráulico do dispositivo de drenagem existente no ponto de estudo. Inicialmente, aumentou-se o vão da ponte e calculou-se o vão necessário para atender a demanda de água pluvial no período chuvoso da região.

O primeiro teste se deu com um vão de 20,0m, mantendo-se a cota de fundo delimitada no estudo e obteve-se os resultados apresentados no Quadro 23 e na Figura 38. Para atender a um vão de 20m, se faz necessário uma escavação para aumentar a seção transversal do rio Paciência. Todavia, nessas dimensões a interferência seria de grande magnitude, uma vez que a cota do greide subiria em relação a cota existente (23,70m), sendo necessário grande quantidade de aterro para a área.

Quadro 23 – Cálculos hidráulicos para vão de 20m

Estudo de enchente máxima - sub-bacia do rio paciência/ma-201						
Cálculo da vazão de projeto: (t = 100 anos)						
Q_{máx} = 194,63 m³/s						
Cálculos hidráulicos (vão: 20m)						
n = 0,018	i = 0,20%	AR ^{2/3} = Qn/i ^{1/2}			AR ^{2/3} = 78,34	
COTA (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	R ^{2/3}	AR ^{2/3}	V (m/S)
21,700	F	U	N	D	O	
22,200	14,150	41,415	0,342	0,489	6,915	0,504
22,700	24,155	42,415	0,569	0,687	16,596	0,709
23,000	30,155	43,015	0,701	0,789	23,797	0,814
24,000	50,155	45,015	1,114	1,075	53,904	1,109
24,200	54,600	45,460	1,201	1,130	61,693	1,165
24,500	60,155	46,015	1,307	1,196	71,921	1,233

Fonte: Autor, 2024

Figura 36 – Gráfico: Cota x AR^{2/3} – Travessia MA-201 (vão = 20m)

Fonte: Autor, 2024

Na segunda tentativa, foi definido um vão com 30 metros de comprimento. A análise dos resultados, conforme apresentados no Quadro 24 e na Figura 37, indica que a interferência no greide atual seria mínima quando comparada com os resultados mostrados nas Figuras 35 e 36, que demandariam uma quantidade substancial de aterro. No entanto, é importante ressaltar que o custo para a execução da obra de arte especial seria elevado. A ampliação do vão da ponte implica a necessidade de

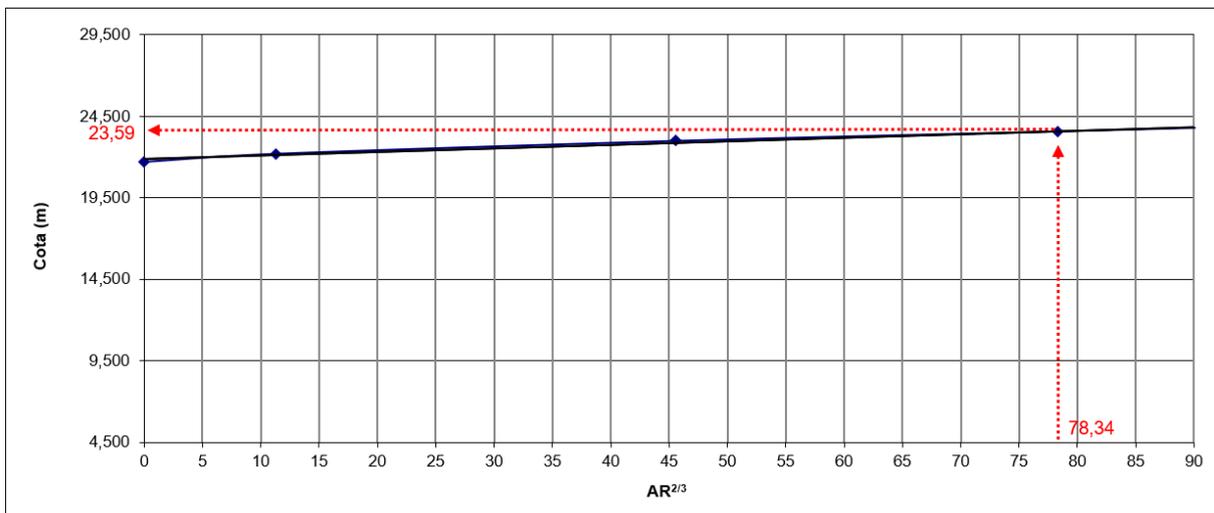
escavação das laterais para alargar o talvegue. Conforme especificado pelo DNIT (2006), é fundamental que o vão livre entre a cota de enchente máxima e a cota do elemento da ponte mais próximo do nível d'água seja de, no mínimo, 1 metro.

Quadro 24 – Cálculos hidráulicos para vão de 30m

Estudo de enchente máxima - sub-bacia do rio paciência/ma-201						
Cálculo da vazão de projeto: (t = 100 anos)						
Q_{máx} = 194,63 m³/s						
Cálculos hidráulicos (vão: 30m)						
n = 0,018	i = 0,20%	AR ^{2/3} = Qn/i ^{1/2}			AR ^{2/3} =78,34	
COTA (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	R ^{2/3}	AR ^{2/3}	V (m/S)
21,700	F	U	N	D	O	
22,200	59,999	63,999	0,937	0,958	57,472	0,988
22,700	74,999	64,999	1,154	1,100	82,506	1,135
23,000	83,999	65,600	1,280	1,179	99,050	1,216
24,000	113,999	67,600	1,686	1,417	161,512	1,461
24,200	120,750	68,050	1,774	1,466	176,980	1,512
24,500	99,232	66,615	1,490	1,304	129,430	1,345

Fonte: Autor, 2024

Figura 37 – Gráfico: Cota x AR^{2/3} – Travessia MA-201 (vão = 30m)



Fonte: Autor, 2024

É relevante destacar que o percurso do rio Paciência, a partir do ponto de estudo definido, é sujeito a diversas interferências em locais de confluência com ruas e avenidas. Análises cartográficas revelam a presença de dispositivos de drenagem adicionais à frente, os quais possuem seções transversais reduzidas (ver Figuras 38

e 39). Além disso, a Ponte Verde, situada nas proximidades do Shopping Pátio Norte (ver Figura 40), apresenta uma seção transversal maior em comparação com o ponto em questão. Conseqüentemente, o fluxo da água é afetado por essas variações no padrão das seções transversais das estruturas de drenagem e das pontes ao longo do percurso, resultando em efeitos adversos no escoamento, como o retorno da água para o ponto do trabalho redimensionado. Portanto, é imperativo realizar um dimensionamento hidráulico eficaz para mitigar os impactos negativos associados a essas inconsistências.

Figura 38 – Seção transversal de pontilhão após o delimitado para estudo



Fonte: Autor, 2024

Figura 39 – Vista aérea do pontilhão



Fonte: Autor, 2024

Figura 40 – Ponte Verde próximo ao Shopping Pátio Norte



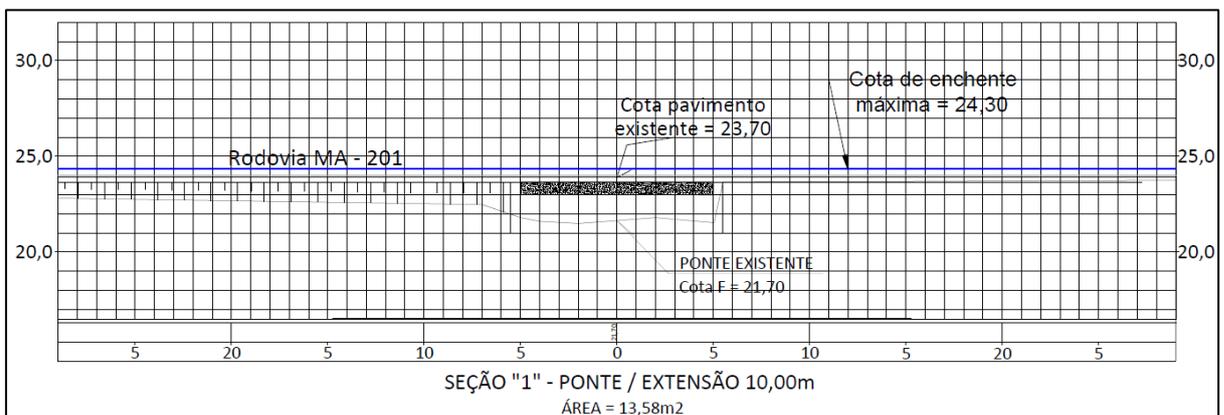
Fonte: Autor, 2024

4.9 Resumo da proposta de dimensionamento hidráulico

4.9.1 Vão = 10 metros

Ao manter o vão atual do pontilhão em 10 metros, observa-se que a cota de enchente máxima de 24,30 metros provoca consideráveis prejuízos na área, dado que a cota existente é de 23,70 metros. Assim, resulta em uma lâmina d'água de 75 centímetros. A análise da seção transversal indica que a extensão da enchente máxima se propaga por 120 metros para ambos os lados da estrutura existente, conforme ilustrado nas Figuras 19 e 20. A Figura 41 apresenta a seção transversal da estrutura atual.

Figura 41 – Seção transversal para vão de 10 metros

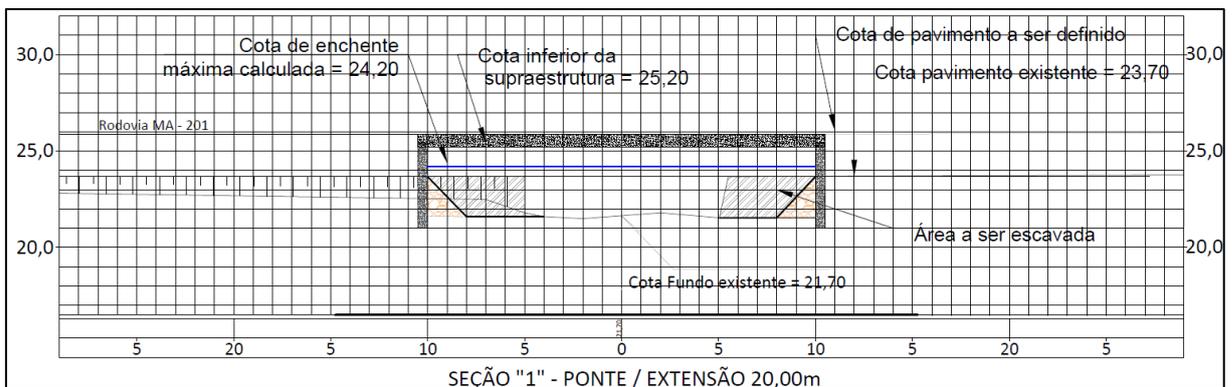


Fonte: Autor, 2024

4.9.2 Vão = 20 metros

O aumento do vão da ponte para um comprimento de 20 metros resultou em uma cota de enchente máxima de 24,20 metros, o que implica na elevação da cota do ponto inferior da supraestrutura da ponte para 25,20 metros, conforme as normas do DNIT (2005). Esta elevação é evidenciada pela planta de seção transversal apresentadas na Figura 42. Na Prancha 03 do Apêndice B estão apresentadas em escala maior para melhor visualização o perfil de elevação. O perfil de elevação mostra que o início da ponte está localizado na estaca 12+10,00 e o término na estaca 13+10,00. De acordo com a planta da seção, seria necessária uma elevação do greide, exigindo uma intervenção que se estende da estaca 2+15,00 até à estaca 26+15,00, totalizando 480 metros. A planta baixa da prancha 04 indica que tal intervenção também impactaria várias soleiras de edificações.

Figura 42 – Seção transversal para vão de 20 metros



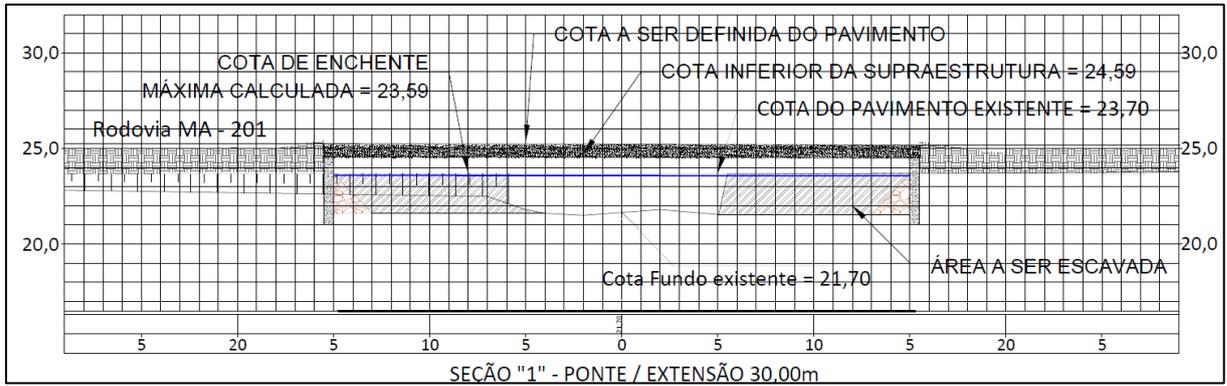
Fonte: Autor, 2024

4.9.3 Vão = 30 metros

Na última simulação, o comprimento da ponte foi ampliado de 10 metros para 30 metros. De acordo com o perfil de elevação apresentado na Figura 43, e demonstrado em escala maior na Prancha 05 do Apêndice B, para esse vão, a cota de enchente máxima foi de 23,59 metros. A diferença entre essa cota e a cota da pista de rolamento (23,70) é de 0,11 metros. A planta baixa da Prancha 6 do Apêndice B também indica uma sugestão de intervenção da estaca 08+04,00 até à estaca 18+10,00, totalizando 206 metros, sem afetar soleiras de edificações e alteração no greide reduzida. De acordo com a planta baixa da prancha 06, essa intervenção não afetará as soleiras das edificações. Portanto, o custo mais significativo seria

relacionado à execução da ponte, enquanto a intervenção no greide seria mínima em comparação com as cotas anteriores de 10 e 20 metros.

Figura 43 – Seção transversal para vão de 30 metros



Fonte: Autor, 2024

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho foi pautado na proposição do dimensionamento hidráulico de uma obra de arte especial que transpõe o rio Paciência, na rodovia MA-201. O local delimitado no estudo sofre com inundações, afetando a vida de quem trafega pela rodovia e da população que reside no entorno da sub-bacia delimitada, através de congestionamentos quilométricos, acidentes automobilísticos, perdas materiais e transmissão de doenças.

O processo de urbanização desordenada e o uso inadequado do solo são características predominantes na sub-bacia em questão. A pesquisa de campo revelou a presença de empreendimentos imobiliários na região adjacente ao pontilhão, que resultaram no aumento da área de impermeabilização do solo. Essa impermeabilização intensifica o escoamento superficial, elevando o volume de água direcionado ao sistema de drenagem. Atualmente, o pontilhão não é capaz de acomodar o volume de água escoado, resultando em sobrecarga e conseqüente transbordamento. Este problema se torna particularmente crítico durante o período chuvoso, que ocorre entre fevereiro e maio. A resolução desta questão pode ser alcançada por meio de um dimensionamento hidráulico adequado do pontilhão ou galeria celular.

A cota de enchente máxima registrada foi de 24,30 metros, situando-se 60 centímetros acima da cota do pavimento da rodovia MA-21. Para mitigar este problema, propõe-se uma modificação estrutural no pontilhão existente. A simulação indica que seria necessário aumentar o vão da ponte de 10 metros para 30 metros, com a realização de escavações laterais a montante e a jusante. Com a ampliação do vão para 30 metros, não seria necessário realizar aterros de grande escala para atingir o nível da ponte, uma vez que a cota da pista de rolamento sofreria uma alteração de apenas 0,90 metros, atendendo à norma do DNIT que requer uma altura mínima de 1,0 metro entre a lâmina d'água de enchente máxima e a parte inferior da estrutura da ponte. Essa alteração é claramente evidenciada na planta da seção longitudinal apresentada na Prancha 03. Em contraste, simulações de vãos menores indicaram que a cota do nível da ponte resultaria em interferências de grande magnitude.

Como o presente trabalho tem como base o estudo realizado no PIBIC/CNPQ 2021/2022 com a proposição de um dimensionamento hidráulico do sistema de drenagem existente, a pesquisa de campo realizada no trabalho confirmou

a necessidade da intervenção na região, em que os moradores são atingidos nos períodos de chuva pelas inundações. Sendo

Vale ressaltar que além dessa resolução no ponto delimitado no estudo, se faz necessário aumentar os vãos de pontilhões que estão adiante seguindo o curso d'água do rio Paciência, como o local demonstrado na Figura 39. Esse ponto possui uma seção transversal pequena, sendo possível após o aumento do comprimento do pontilhão da MA-201, a água retornar pelo fenômeno de retorno para a região definida no presente trabalho. Esse trabalho é um ponto de partida para órgãos estaduais e municipais debaterem sobre os sistemas de drenagem urbanos e medidas de prevenção e intervenções dos dispositivos de transposição de talvegues. Portanto, esse estudo propôs o aumento do vão do pontilhão com o objetivo de proporcionar melhoria ao sistema de drenagem na região da sub-bacia do rio Paciência, oferecendo uma maior capacidade de escoamento, segurança e conforto à população que reside próximo à área e que trafega pela região diariamente.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual** / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico- Brasília: ANA, 2024

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de Procedimentos Para Instalação, Operação e Manutenção De Pluviômetros Convencionais** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016.

ALMEIDA, Gustavo Henrique; MASINI, Letícia Santos; MALTA, Luiz Ricardo Santos. **Hidrologia e drenagem**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.

ALMEIDA, Matheus Vinicius. **Acompanhamento dos estudos da mancha de inundação na sub-bacia do rio Paciência em São Luís – MA**. São Luís. 2022.

ALMEIDA, Matheus Vinicius. **Acompanhamento dos estudos da mancha de inundação na sub-bacia do rio Anil em São Luís – MA**. São Luís. 2023.

ALVES, LGF et al. **Impacto da urbanização no escoamento superficial em bacia ocupada por assentamento precário em Campina Grande**. ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, v. 13, 2020.

ANDRADE, José; BASCH, Gottlieb. **Clima e estado do tempo**. Factores e elementos do clima. Classificação do clima. 2012.

ANJOS, Leonardo Damasceno. **Estudo da macrodrenagem urbana com aplicação de bacia de retenção em São Luís – MA: Estudo de caso: bacia do Rio Calhau**. 2020. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2020.

Assessoria de Comunicação da Secretaria de Estado da Proteção e Defesa Civil. **Chuvas em SC: 71 municípios estão em situação de emergência e quase 6000 mil pessoas desabrigadas**. [Defesacivilsc.gov.br](https://www.defesacivil.sc.gov.br/noticia-destaque/chuvas-em-sc-71-municipios-estao-em-situacao-de-emergencia-e-quase-6000-mil-pessoas-desabrigadas/). <https://www.defesacivil.sc.gov.br/noticia-destaque/chuvas-em-sc-71-municipios-estao-em-situacao-de-emergencia-e-quase-6000-mil-pessoas-desabrigadas/>. Acesso em: 15 de abril de 2024.

ATLAS DIGITAL DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL. <https://atlasdigital.mdr.gov.br/>. Acesso em: 18 de abril de 2024.

BEZERRA, José Fernando Rodrigues; GONÇALVES, Márcia Fernanda Pereira; FEITOSA, Antônio Cordeiro. **ESTUDO DA COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA DA BACIA DO RIO PACIÊNCIA, ILHA DO MARANHÃO**.

CAMAPUM, Luiz Fernando Carvalho. **Estudo das obras de transposição de talvegues da MA-275 a partir de três metodologias de obtenção das curvas de Intensidade–Duração-Frequência**. 2019.

CANHOLI, A. **Drenagem urbana: controle de enchentes**. Oficina de Textos. São Paulo, 2005.

CARDOSO, Eduardo Bruno de Oliveira. **Projeto e dimensionamento de ponte em concreto protendido**. 2018.

CARRIERI, Renato. **Estruturas: a resistência pela forma, à Luz da produção contemporânea**. 2007. Tese (Doutorado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo. Tecnologia da Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CARVALHO, Wellington Marçal *et al.* **Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Córrego do Malheiro, no município de Sabará–MG**. Irriga, v. 14, n. 3, p. 398-412, 2009.

CAVALCANTE, Gustavo Henrique F. **Pontes em concreto armado: análise e dimensionamento**. Editora Blucher, 2019.

CECÍLIO, Roberto Avelino *et al.* **Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo**. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 4, n. 3, p. 82-92, 2009.

CENTENO, A. **Falhas na manutenção do sistema de proteção teriam agravado a maior inundação da história de Porto Alegre**. Brasildefato.com.br. Porto Alegre, 06 maio de 2024, 11:13. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2024/05/06/falhas-na-manutencao-do-sistema-de-protecao-teriam-agravado-a-maior-inundacao-da-historia-de-porto-alegre>. Acesso: 15 de julho de 2024, às 15:20.

CHOW, V.T. (1959) **Open Channel Hydraulics**. McGraw –Hill Book Co., New York.

COELHO, M. M. **Espacialização de parâmetros de curvas IDF e intensidade de chuva no estado do Maranhão. Dissertação de Processos Construtivos e Saneamento Urbano da UFPA, na área de concentração em Saneamento Ambiental**. São Luís, 2021.

COELHO, M. T. M. **Anotações de Aula. Universidade Estadual do Maranhão**. São Luis, p. 117. 2019.

COIADO, Evaldo Miranda. **Hidrologia**. 2017.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), v. 336, 2013.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS/ MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 32, de 15 de outubro de 2003**. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/divisao-hidrografica-nacional/74-resolucao-n-32-de-15-de-outubro-de-2003/file>>. Acesso em 08 de junho de 2024.

CORRÊA, Alessandra. **Cheias no Maranhão afetam quase 400 mil, segundo Defesa Civil**. BBC.com. https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2009/05/090529_maranhao_galeria_ac_cq. Acesso em: 15 de abril de 2024.

COSTA, Cristiane Mouzinho et al. **Suscetibilidade a inundações a partir das variáveis morfométricas na região hidrográfica Eliezer Silva--alto curso do rio Paciência**. Entorno Geográfico, n. 13, p. 68-81, 2017.

COSTA, Deckson Lacerda de Sousa. **Soluções estruturais não convencionais e convencionais em drenagem urbana: estudo de caso na curva do noventa em São Luís/Ma**. 2018.

CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, n. 3, p. 59-71, 2008.

DA SILVA, Quésia Duarte et al. **Concentração da precipitação e a ocorrência de inundações no ano de 2014 no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência--Ilha do Maranhão**. Ciência Geográfica, v. 24, n. 3, p. 1151-1180, 2020.

DNIT. **Manual de Drenagem de rodovias**. DNIT. 2006.

SÃO PAULO. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de projeto de obras-de-arte especiais**. 1996.

DIAS, E. C.; PENNER, G. C. **Contabilização de equações de Intensidade-Duração-Frequência disponíveis no Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 1, p. 209-216, 2019.

DNIT. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. DNIT. 2006.

EL DEBS, Mounir Khalil; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às pontes de concreto**. São Carlos, 2007.

FARIAS, JAM; SILVA, JFR; COELHO, L. da S. **Determinação de equação IDF, utilizando regressão linear em base logarítmica**. XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, v. 20, p. 2, 2013.

FRANÇA, Danyella Vale Barros. **Vulnerabilidade ambiental a alagamentos no alto curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

FREIRE, M. P.; DIAS, LJB da S. **Caracterização geológico-geomorfológica e pedológica do bairro Cohatrac e área de entorno imediato (São Luís-Ma): subsídios para estudos em geomorfologia ambiental**. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. Goiânia. 2006.

FUNASA. **Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas**. Plano municipal de saneamento básica. 2016.

GOERL, Roberto Fabris; KOBIYAMA, Masato. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 3, 2005.

GONÇALVES, Eduarda Leite *et al.* **Estudo da capacidade de infiltração em pavimentos intertravados de concreto**. 2020.

GRIBBIN, John E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais** (revisor técnico Marcelo Libânio). São Paulo: Cengage Learning, 2014.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIECONOMICOS E CARTOGRAFICOS – IMESC. **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Maranhão (ZEE-MA): meio físico-biótico – etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro**. 2. ed. v.1. São Luís: IMESC, 2021.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de rodovias: Estudos hidrológicos e projeto de drenagem**. Apostila do curso de drenagem em rodovias, 2022.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de rodovias: Estudos hidrológicos e projeto de drenagem**. Apostila do curso de drenagem em rodovias, 2023.

JARDIM, Carlos Henrique; MOURA, Felipe Pereira. **Vdos totais de chuvas e temperatura do ar na bacia do rio pandeiros, norte do estado de minas gerais-brasil: articulação com fatores de diferentes níveis escalares em área de transição climática de cerrado para semiárido**. Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.], v. 1, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v1i0.61013. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14066>. Acesso em: 30 jul. 2024.

Jornal Nacional. **No Maranhão, mais de 35 mil famílias já foram afetadas pelas enchentes. A situação é de emergência em São Luís e mais 64 municípios**. G1.com.br. <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2023/04/10/no-maranhao-mais-de-35-mil-familias-ja-foram-afetadas-pelas-enchentes.ghtml>. Acesso em: 15 de abril de 2024.

JÚNIOR, Antenor Rodrigues Barbosa. **Elementos de Hidrologia aplicada**. Editora Blucher, 2022.

KEMILLY, Rebeca. **Acesso ao aeroporto do DF é tomado por córrego após temporal. Metropoles.com Distrito Federal, 3 de janeiro de 2024**. <https://www.metropoles.com/distrito-federal/video-estrada-parque-aeroporto-fica-alagada-apos-corrego-transbordar>. Acesso em: 15 de abril de 2024.

LUCKO, Gunnar. **Means and methods analysis of a Cast-In-Place balanced cantilever segmental bridge: the Wilson Creek Bridge Case Study**. 1999. Dissertação (mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 1999.

MAZER, João Victor Possebon. **Comparação dos esforços solicitantes em vigas longarinas de uma ponte obtidos pela aplicação das normas ABNT NBR 7188 (2013) e AASHTO LRFD (2020)**. 2023.

MENDES, Luiz Carlos. **Pontes**. Niterói: EduFF, 2003.

MENDES, Paulo de Tarso. **Contribuições para um Modelo de Gestão de Pontes de Concreto Aplicado à Rede de Rodovias Brasileiras**. 2009. Tese – Programa de Tese em Engenharia de Estruturas e Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

NASCIMENTO, DA do *et al.* **Análise Comparativa de Dados Pluviométricos com Pluviômetro e Pluviógrafo de Bâscula**. XXI Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 2017.

NETO, Amaury Gouveia Pessoa. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapacurá, Pernambuco, Brasil**. Revista do Departamento de Geografia, v. 43, p. e200802-e200802, 2023.

NETO, BPR; BLANCO, CJC **Determinação da curva IDF para o município de Governador Newton Bello no estado do Maranhão**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 9, n. 3, p. e39932374, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i3.2374. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2374>. Acesso em: 30 jul. 2024.

NUNES, Jonathan. **Pontes de concreto armado: seção transversal com múltiplas vigas longarinas**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, 2017.

PAZ, Adriano. **Hidrologia aplicada**. 2004.

PEREIRA, Dielyson Sampaio. **Dimensionamento de canal de macrodrenagem urbana utilizando os modelos de chuva-vazão: SCS e o Santa Bárbara (HUSB)**. 146 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2023.

PFRAFSTETTER, Otto. **Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas, registradas com pluviógrafos, em 98 postos meteorológicos**. Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982.

PIMENTA, Moisés; SCUDELLER, Paulo; MARTINS, Tharles. **Análise estrutural de uma ponte de treliça**. Anais do EVINCI-UniBrasil, v. 1, n. 3, p. 344-344, 2015.

PINHEIRO, Ana Kariny Fernandes *et al.* **Projeto de sistema de drenagem: uma abordagem técnica e ambiental**. Revista Engenharia & Ação, v. 2, n. 1, p. 1-23 (e0597), 2024.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: Gerenciamento do Sistema de Drenagem Urbana**, 1. São Paulo: Smdu. ISBN 978-85-66381-01-6.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

SANTOS, Glenio G. *et al.* **Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, p. 899-905, 2009.

SILVA, D. B. **Feições geomórficas da bacia hidrográfica do Paciência – Ilha do Maranhão.** Monografia (Graduação em Geografia). São Luís. 2013.

SOUZA, Rodrigo OR de M. *et al.* **Equações de chuvas intensas para o estado do Pará.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, p. 999-1005, 2012.

STUDART, T. M. **Apostila de Hidrologia.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006.

SÃO PAULO. **Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos – Método “I-PAI-WU”.** São Paulo. 1999.

TEIXEIRA, Celimar Azambuja. **Apostila de hidrologia aplicada.** Curitiba: UTFPR, 2010.

TEIXEIRA, Heloisa Bezerra Varela. **Análise da componente drenagem urbana e manejo de águas pluviais nos planos municipais de saneamento básico aprovados em municípios do Rio Grande do Norte-diagnóstico e ações. 2021.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

TIBURCIO, Jackes; SARAIVA, Cinara Wirtzbiki; TARGA, Marcelo. **Ações antrópicas relacionadas a taxa de impermeabilização.** Revista Técnica Ciências Ambientais, v. 1, n. 7, p. 1-11, 2023.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais.** Navegar editora. São Paulo 2011.

TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas.** Rio de Janeiro. Transcon, 1974.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas.** Estudos avançados, v. 22 (63), jun. 2008.

TUCCI, C. E. M. **Precipitação. Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão da drenagem urbana.** Brasília, 2012.

TUCCI, Carlos EM *et al.* **Inundações urbanas.** Porto Alegre: ABRH/Rhama, v. 11, 2007.

TUCCI, Carlos EM. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil.** Rega/Global Water Partnership South América, v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004.

TUCCI, Carlos EM. **Hidrologia: ciência e aplicação.**; 2. reimpr. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

TUCCI, Carlos EM. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975.

APÊNDICE A – DADOS PLUVIOMÉTRICOS

DADOS PLUVIOMÉTRICOS

POSTO: INMET - São Luís (82280) - MA

Período da coleta: 1985 - 2023

Fonte: INMET

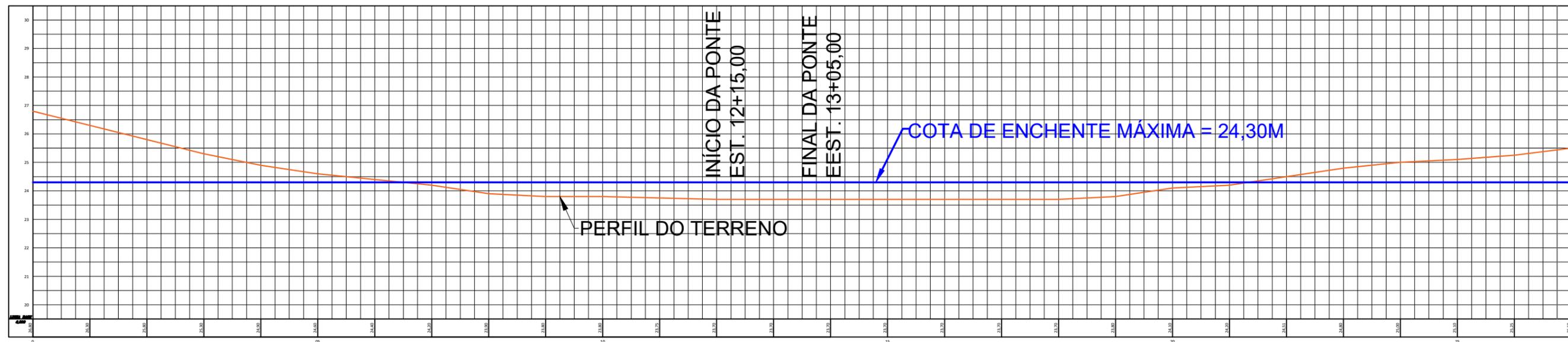
ANO	INFORMAÇÕES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1985	Precipitação Total	503,5	689,1	797,1	849,2	407	266,3	227,9	22,6	11,7	0,3	2,6	204	3981,3
	Prec. Máxima	139	133	150,9	161,4	76	58,2	64,6	10,4	11	0,3	2,2	52	161,4
	Dias de chuva	24	26	28	26	29	18	19	5	4	1	3	14	197,0
1986	Precipitação Total	343,4	328	732,4	749,2	172,4	225,3	155,6	21,4	23,2	37,8	1,2	33,3	2823,2
	Prec. Máxima	108,9	34,6	99	100,6	36,3	28,4	56,4	9,4	11,8	32	1	10,1	108,9
	Dias de chuva	16	26	29	28	22	20	8	5	4	3	2	9	172,0
1987	Precipitação Total	104,5	277,8	689,2	183,5	333,4	130,8	32,5	53,2	0	28	0	0,3	1833,2
	Prec. Máxima	41,2	122,2	102,9	51,6	75,8	42,5	12	45,2	0	28	0	0,3	122,2
	Dias de chuva	13	12	25	22	14	17	10	5	0	1	0	1	120,0
1988	Precipitação Total	364,5	529,9	382,2	423,4	406,4	190,1	313,5	81,5	0	3	3,2	145,7	2843,4
	Prec. Máxima	67,6	86,8	82	45,6	109,7	52,1	75,1	28,4	0	3	1,8	42,3	109,7
	Dias de chuva	22	18	25	27	27	17	20	8	0	1	5	13	183,0
1989	Precipitação Total	205,9	228,5	280,8	562,7	389,1	322,4	235,9	60,7	33,3	29,3	71,8	335,2	2755,6
	Prec. Máxima	114,4	97,9	65,4	87,9	58,7	96,2	72	21	19,5	22,2	56,2	130,3	130,3
	Dias de chuva	11	18	24	29	27	21	15	10	4	5	4	13	181,0
1990	Precipitação Total	109,2	501,5	198,3	285,9	146,6	154,3	228,4	35,1	33,4	1	3,1	56,8	1753,6
	Prec. Máxima	23,1	149,8	32,4	59,6	30,3	41,8	85,1	13,8	17,8	1	2	47	149,8
	Dias de chuva	12	21	22	21	19	17	19	7	4	1	4	6	153,0
1991	Precipitação Total	280,1	168,9	587,9	428	341,4	244,1	94,2	19,3	0,3	3,4	0	0	2167,6
	Prec. Máxima	62,4	56,4	152,5	62,4	31,5	108,5	37,5	11	0,3	2,2	0	0	152,5
	Dias de chuva	21	19	27	26	29	21	13	2	1	5	0	0	164,0
1992	Precipitação Total	307,1	165,7	438,9	94,4	94,2	49,3	46,6	0,2	0,1	0,6	1,1	0,2	1198,4
	Prec. Máxima	78,7	40,1	126,5	24,4	59,6	37,1	33,1	0,2	0,1	0,6	1,1	0,1	126,5
	Dias de chuva	7	15	27	15	8	6	7	1	1	1	1	2	91,0
1993	Precipitação Total	102,7	264,1	406,7	189,8	199,6	96,4	102,6	12,2	0	0	0,6	262,8	1637,5
	Prec. Máxima	40	85,3	120,8	30,9	67,4	32,8	39,6	5,3	0	0	0,6	159,7	159,7
	Dias de chuva	14	17	24	20	13	10	10	7	0	0	1	9	125,0
1994	Precipitação Total	409,9	293,3	712,4	405,3	404,1	235,9	161,5	33,4	16,2	0,2	0	48	2720,2
	Prec. Máxima	62,8	66	134,4	76,2	125,3	49,1	39	9,6	9,3	0,2	0	14,8	134,4
	Dias de chuva	24	22	27	23	22	19	13	7	5	1	0	8	171,0
1995	Precipitação Total	51,3	415,4	367,2	605	457	312,3	142,9	6,5	0	2,9	81,4	28,2	2470,1
	Prec. Máxima	16,3	74,4	60,4	91,5	80,1	65,4	49,7	3	0	1,8	67,3	14,4	91,5
	Dias de chuva	16	24	22	26	28	22	13	6	0	2	3	4	166,0
1996	Precipitação Total	252,1	174,5	548,5	592,3	521,7	90,4	127,7	88,1	14,4	0,8	2,6	6,1	2419,2
	Prec. Máxima	67,6	34	79,4	117,8	124,3	19,4	40,1	34,4	10	0,4	2,6	6,1	124,3
	Dias de chuva	16	19	28	24	25	15	12	11	4	3	1	1	159,0
1997	Precipitação Total	107,1	113,4	403,2	422	267,4	16,1	20,7	0	0	0,3	41,4	29,6	1421,2
	Prec. Máxima	33,5	43,7	64,2	71,3	55,8	9,6	7,5	0	0	0,2	28,5	26	71,3
	Dias de chuva	15	11	22	23	17	6	4	0	0	2	5	6	111,0
1998	Precipitação Total	306,7	58,8	366,1	246,6	144,4	128,2	152,4	2,7	0	0	0,3	53,6	1459,8
	Prec. Máxima	80,3	19,4	66,7	41	26,4	28,2	69,5	1,8	0	0	0,3	20,3	80,3
	Dias de chuva	22	7	22	23	18	16	11	3	0	0	1	8	131,0
1999	Precipitação Total	135,7	375	660,8	474,4	241,9	171	131	44,1	0,1	1,1	0	131,1	2366,2
	Prec. Máxima	72,2	57,3	130,3	95,2	27,5	34	22,1	25	0,1	1	0	57	130,3
	Dias de chuva	11	22	30	22	27	19	13	5	1	2	0	8	160,0
2000	Precipitação Total	267,1	392,1	606	609,6	422,2	146,1	202,1	63,9	12,6	0	0,2	43,3	2765,2
	Prec. Máxima	94	109,7	159,8	76	46,8	36,9	55,6	18,7	5	0	0,2	33,4	159,8
	Dias de chuva	19	24	27	27	29	16	21	10	5	0	1	6	185,0

DADOS PLUVIOMÉTRICOS														
POSTO: INMET - São Luís (82280) - MA														
Período da coleta: 1985 - 2023														
Fonte: INMET														
ANO	INFORMAÇÕES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2001	Precipitação Total	336,2	445,4	370,7	590,1	201,8	327,2	150,2	0,5	7,4	0	6,1	44	2479,6
	Prec. Máxima	65,4	80,3	104,6	84,8	46,6	72,9	53,2	0,3	5,8	0	5,8	18,8	104,6
	Dias de chuva	22	25	23	27	16	24	16	2	3	0	3	4	165,0
2002	Precipitação Total	345,6	83,4	314,1	489,3	295,4	237	42,3	4,6	0	0	29,3	47,4	1888,4
	Prec. Máxima	66,9	19,3	61,7	75	76,4	41,8	22,1	2,5	0	0	29,2	24,2	76,4
	Dias de chuva	20	17	23	26	18	17	10	5	0	0	2	7	145,0
2003	Precipitação Total	359,1	491,1	570,2	428,8	207,7	148	64,6	34,4	5,9	0,2	4,7	55,8	2370,5
	Prec. Máxima	65,2	144,4	121,7	64,4	55,8	30	17	13,6	3,7	0,2	3	38	144,4
	Dias de chuva	15	24	28	26	18	18	13	4	3	1	3	7	160,0
2004	Precipitação Total	445,7	485,4	388	452,9	183,5	213,1	233	83,9	1,5	0	3,2	6,6	2496,8
	Prec. Máxima	118	82,8	94,6	80,8	29,5	36,6	43,4	43,6	1,4	0	2,4	4	118,0
	Dias de chuva	21	24	23	22	18	18	19	8	2	0	3	3	161,0
2005	Precipitação Total	33,1	230,8	350,4	371,4	219,6	256,5	166,4	12,8	0	0,2	4	158,1	1803,3
	Prec. Máxima	15,2	58	65,6	42,4	39,6	58,3	48,6	5,5	0	0,2	2	56,2	65,6
	Dias de chuva	6	18	26	23	23	23	12	5	0	1	3	8	148,0
2006	Precipitação Total	189,9	277,5	369,2	537,3	536,1	261,9	63,2	67	2,3	0	9,3	40,5	2354,2
	Prec. Máxima	66,8	70,2	107,9	83,2	116	108,2	22,6	45,8	1,5	0	6,8	24	116,0
	Dias de chuva	12	14	23	26	24	18	10	5	4	0	5	7	148,0
2007	Precipitação Total	16,3	545,1	457,4	348,6	286,1	61,4	136,3	0,2	2,2	1	2,4	42	1899,0
	Prec. Máxima	4,6	123,9	54	55,6	71,1	17,6	56,4	0,2	2	1	1,2	18,8	123,9
	Dias de chuva	9	25	30	22	18	8	11	1	2	1	3	4	134,0
2008	Precipitação Total	124,4	413,5	584,5	607	314,2	380	104,9	51,4	0,4	0,4	0,6	18,5	2599,8
	Prec. Máxima	27	65,3	83,4	102,2	92	133	54	21,6	0,3	0,3	0,6	10	133,0
	Dias de chuva	17	17	28	25	25	23	12	9	2	2	1	8	169,0
2009	Precipitação Total	375,8	367,2	565,4	767,1	467,7	207,6	71,8	12,3	0	0	2,6	10,3	2847,8
	Prec. Máxima	98,6	77,4	82,7	93,6	154,9	39,6	18	6,4	0	0	2,6	5,1	154,9
	Dias de chuva	18	23	25	27	27	20	15	6	0	0	1	4	166,0
2010	Precipitação Total	108,2	121,5	316,9	393,7	377,5	218,3	105,2	7	0,4	0	16,2	90,7	1755,6
	Prec. Máxima	18,6	71,3	162,2	50,4	62,7	58,8	27,2	5	0,4	0	7,5	73,3	162,2
	Dias de chuva	16	12	14	25	24	13	15	2	1	0	3	6	131,0
2011	Precipitação Total	490,3	457,4	430,9	621,7	310,8	166,8	128	38,7	0	61,6	6,5	0,6	2713,3
	Prec. Máxima	187,8	131,6	89,2	133,9	42,4	37,2	51	14,8	0	30,6	6	0,5	187,8
	Dias de chuva	17	21	25	28	26	15	12	8	0	4	2	2	160,0
2012	Precipitação Total	100,2	238,1	331,7	249,5	86,4	50,8	60,5	11,2	0,2	0	1,6	0,8	1131,0
	Prec. Máxima	48	108,3	76,1	40,8	28,2	14,6	18,8	5,8	0,2	0	1,4	0,4	108,3
	Dias de chuva	9	17	20	23	14	13	13	3	1	0	2	4	119,0
2013	Precipitação Total	60	279,2	319,1	267,8	186,3	203,4	53	15	4,4	0	13,8	40,5	1442,5
	Prec. Máxima	29	145	113,6	60,6	30,2	55,2	21,2	7,6	4,2	0	11	39,6	145,0
	Dias de chuva	14	14	22	25	17	12	4	4	2	0	5	3	122,0
2014	Precipitação Total	149,2	251	161,7	245,9	784,3	185,5	44,3	3,8	0,5	2,2	0	29,6	1858,0
	Prec. Máxima	33,2	40,4	32	47,2	181,6	51,1	14,2	2	0,5	2,2	0	25,2	181,6
	Dias de chuva	17	20	21	25	26	16	8	6	1	1	0	2	143,0
2015	Precipitação Total	30,2	90,3	425,9	367,5	399,7	106,7	76,1	0,1	1,2	19,4	64,5	59,3	1640,9
	Prec. Máxima	19	23,6	76	49,6	98,2	19,8	26,4	0,1	1	17	31	28,4	98,2
	Dias de chuva	4	14	22	26	22	17	14	1	2	4	6	11	143,0

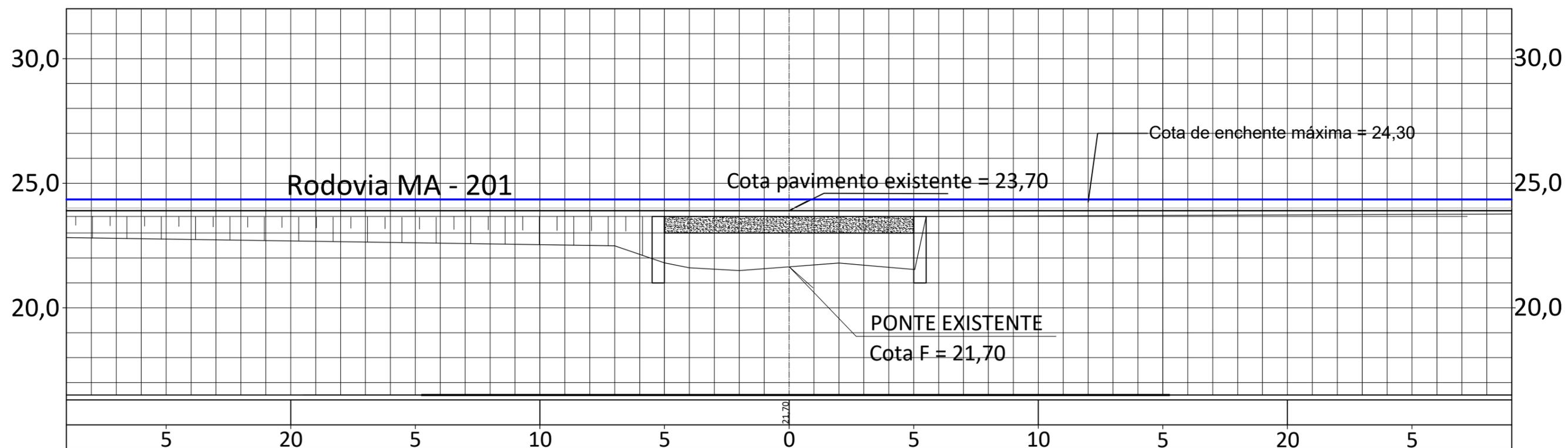
DADOS PLUVIOMÉTRICOS														
POSTO: INMET - São Luís (82280) - MA														
Período da coleta: 1985 - 2023														
Fonte: INMET														
ANO	INFORMAÇÕES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2016	Precipitação Total	251,1	142,8	362,1	327,4	264,9	133,4	52,1	13,4	1,8	0	0	42,9	1591,9
	Prec. Máxima	43,7	36,8	44	79,2	62,6	53,7	13,8	9,8	1,8	0	0	34,2	79,2
	Dias de chuva	23	17	26	18	20	15	11	2	1	0	0	7	140,0
2017	Precipitação Total	380	355,4	442,8	362,1	329,9	120,6	201,4	4,8	0	1,2	0,6	63,2	2262,0
	Prec. Máxima	130,6	50,6	56,2	106	45,7	54,2	64	2,4	0	1,2	0,6	36	130,6
	Dias de chuva	22	22	29	25	20	10	9	4	0	1	1	6	149,0
2018	Precipitação Total	253	531	251,4	478,2	374,2	108	74,2	27,2	11,6	4,2	167,7	209,8	2490,5
	Prec. Máxima	59	125,2	47,1	86	57,8	29	16,2	14,2	11,6	3,8	159,2	56	159,2
	Dias de chuva	16	23	21	25	23	13	15	6	1	2	4	17	166,0
2019	Precipitação Total	327,9	521,6	818,2	433,7	226,7	223,5	77,8	7,6	7,8	1,6	58,3	88,2	2792,9
	Prec. Máxima	64	87,4	234,4	58,4	32,8	33,8	21	6,6	7	1,4	31,5	63	234,4
	Dias de chuva	20	27	29	25	22	18	12	3	3	2	2	4	167,0
2020	Precipitação Total	481,2	408,5	741,6	628,6	258,2	223,7	64	10,6	0	0	91,4	45,2	2953,0
	Prec. Máxima	88	52,2	127,6	96	80,4	78,4	24	7	0	0	40	18,6	127,6
	Dias de chuva	26	31	27	30	24	21	10	2	0	0	12	8	191,0
2021	Precipitação Total	206,4	302,6	439,8	202,3	301,6	233,1	132,6	9,1	3,9	0,8	74,85	66,7	1973,8
	Prec. Máxima	61,4	67	84,4	38	63,6	64,8	42	3,5	3,5	0,7	20	31,5	84,4
	Dias de chuva	11	22	29	20	20	22	18	5	3	2	14	11	177,0
2022	Precipitação Total	343,8	355,6	511,7	286,7	239,4	160	153,2	73	10,5	0	49	116	2298,9
	Prec. Máxima	44	48,8	70,7	105	73	39,2	35,6	59,2	9,6	0	28,8	86,4	105,0
	Dias de chuva	28	31	30	21	25	16	22	6	5	0	9	9	202,0
2023	Precipitação Total	376,1	289,5	577,8	474,6	210,8	222,8	89,6	17,4	0,2	0	0	16,8	2275,6
	Prec. Máxima	152,4	39	191	85,8	27,8	57	75,8	16	0,2	0	0	6,4	191,0
	Dias de chuva	22	27	25	28	25	24	6	5	1	0	0	6	169,0

Fonte: Autor, 2024

**APÊNDICE B – PLANTAS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS, PERFIS
LONGITUDINAIS E PLANTAS BAIXA**



PERFIL DE ELEVÇÃO - PONTE 10 METROS

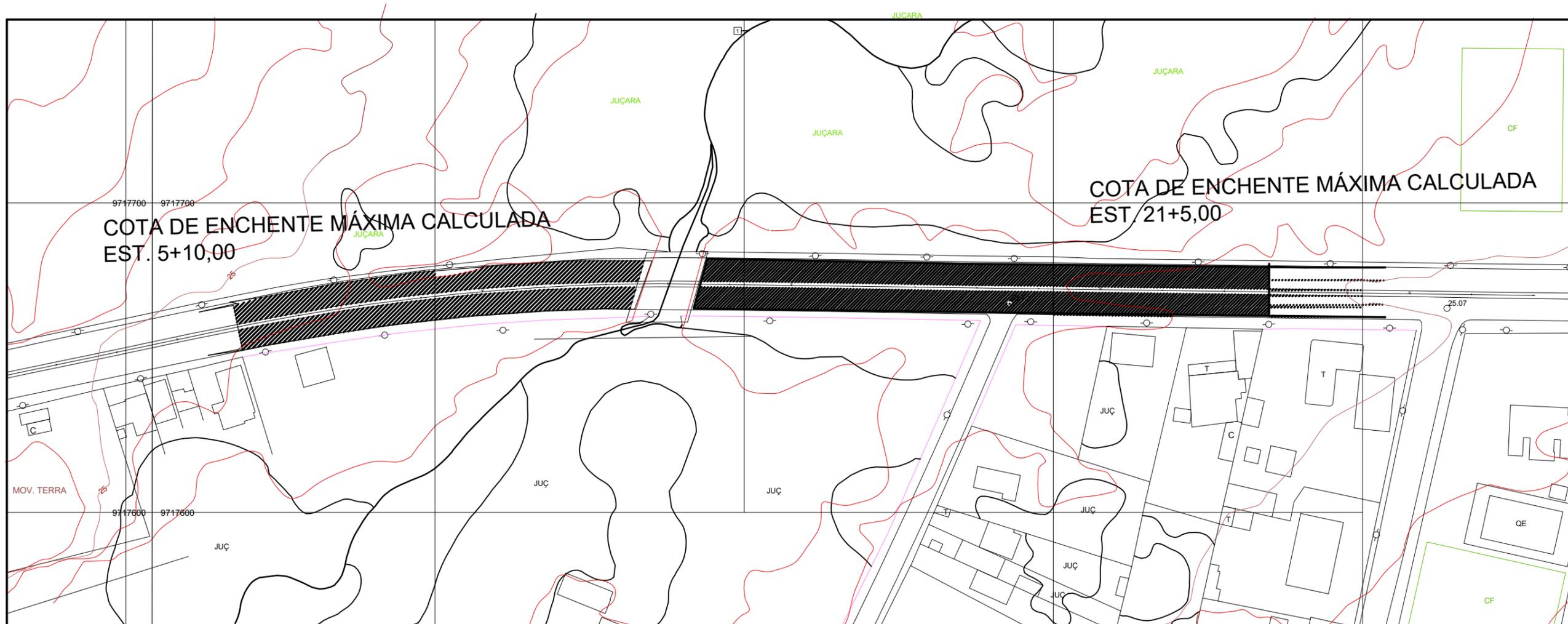


SEÇÃO "1" - PONTE / EXTENSÃO 10,00m

ÁREA = 13,58m²



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL - UEMA	
ALUNO:	MATHEUS VINICIUS GARCIA ALMEIDA
SEÇÃO TRANSVERSAL E PERFIL LONGITUDINAL	
ESCALA:	PRANCHA:
1:200	1/6



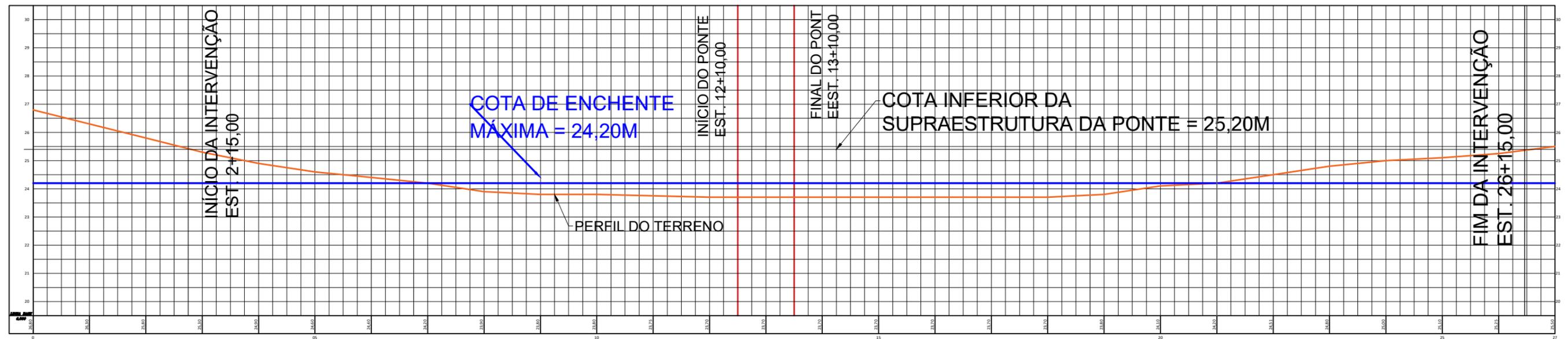
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL - UEMA

ALUNO:
MATHEUS VINICIUS GARCIA ALMEIDA

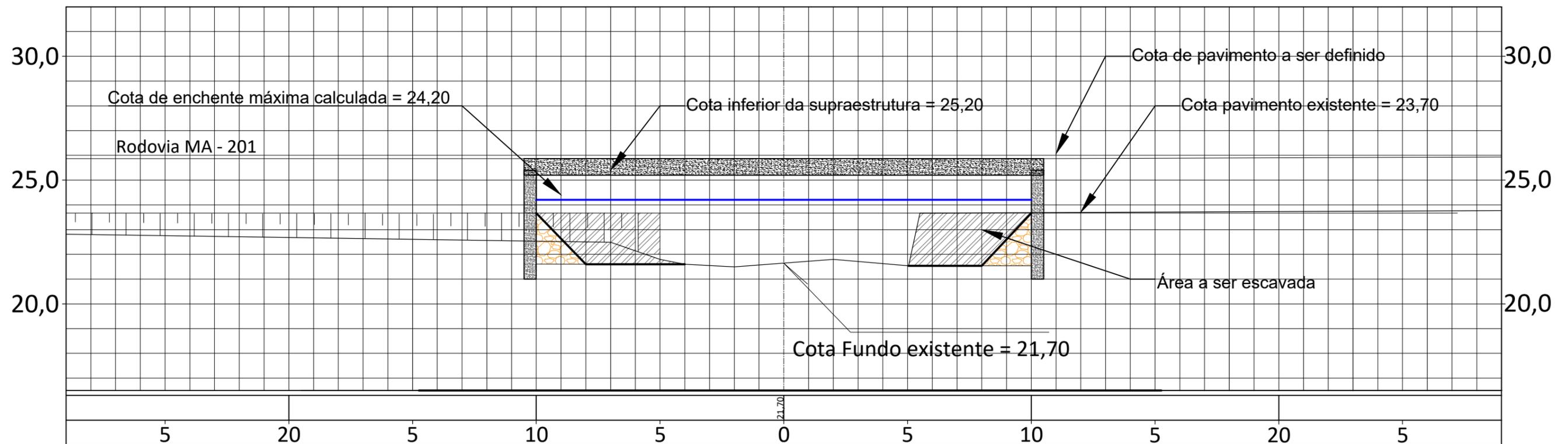
PLANTA BAIXA - VÃO DE 10 M

ESCALA:
1:500

PRANCHA:
2/6



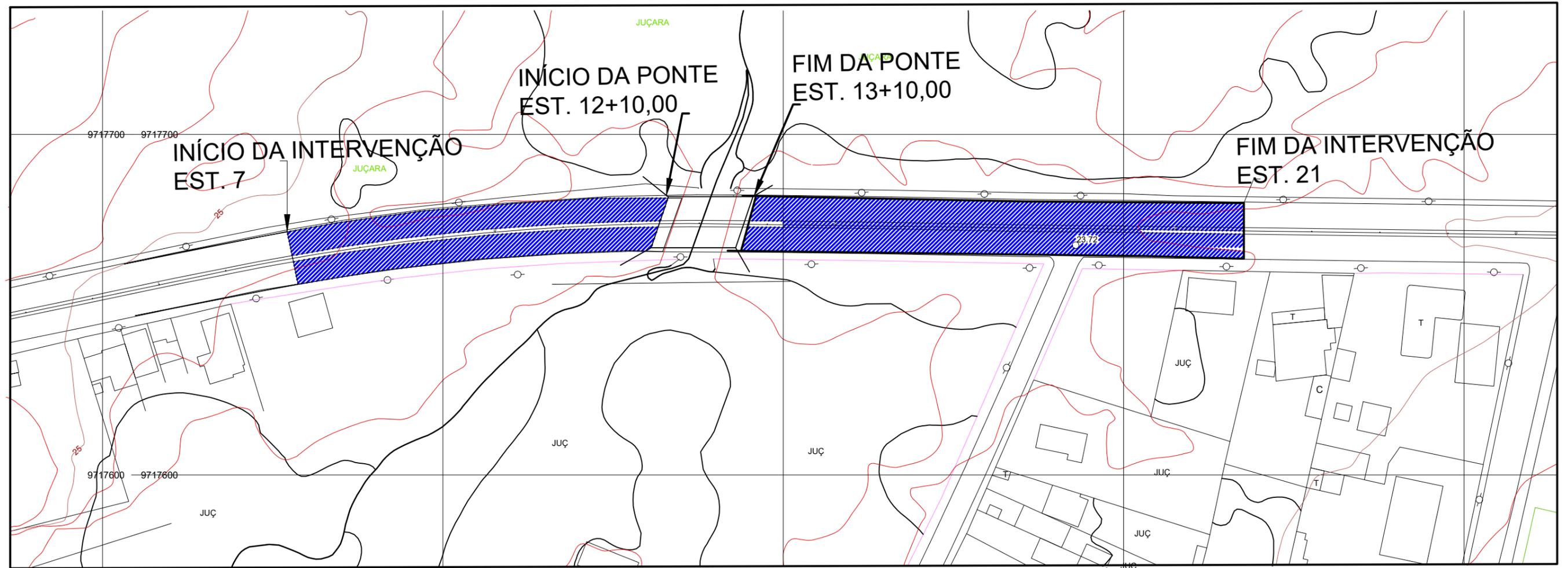
PERFIL / ESTRADA DE RIBAMAR (MA 201)



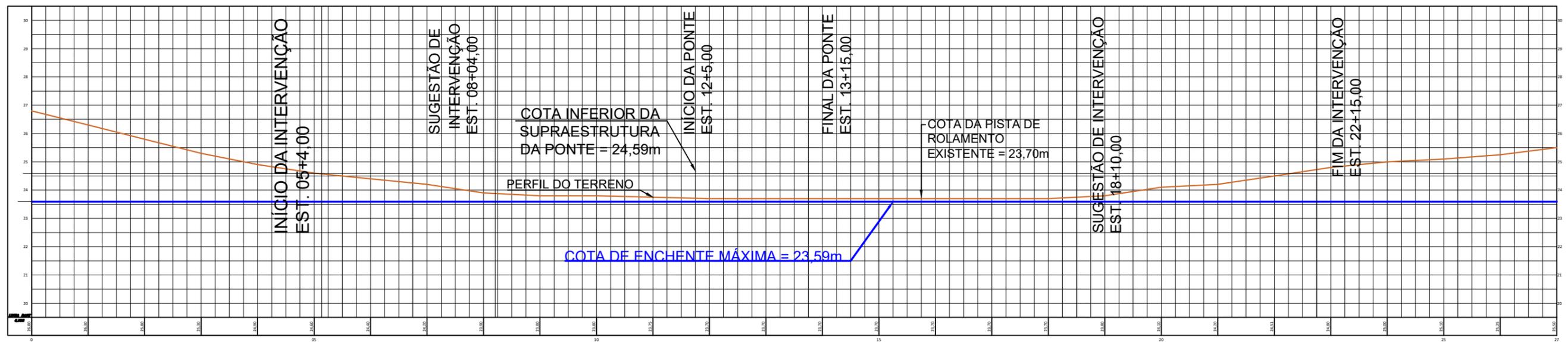
SEÇÃO "1" - PONTE / EXTENSÃO 20,00m



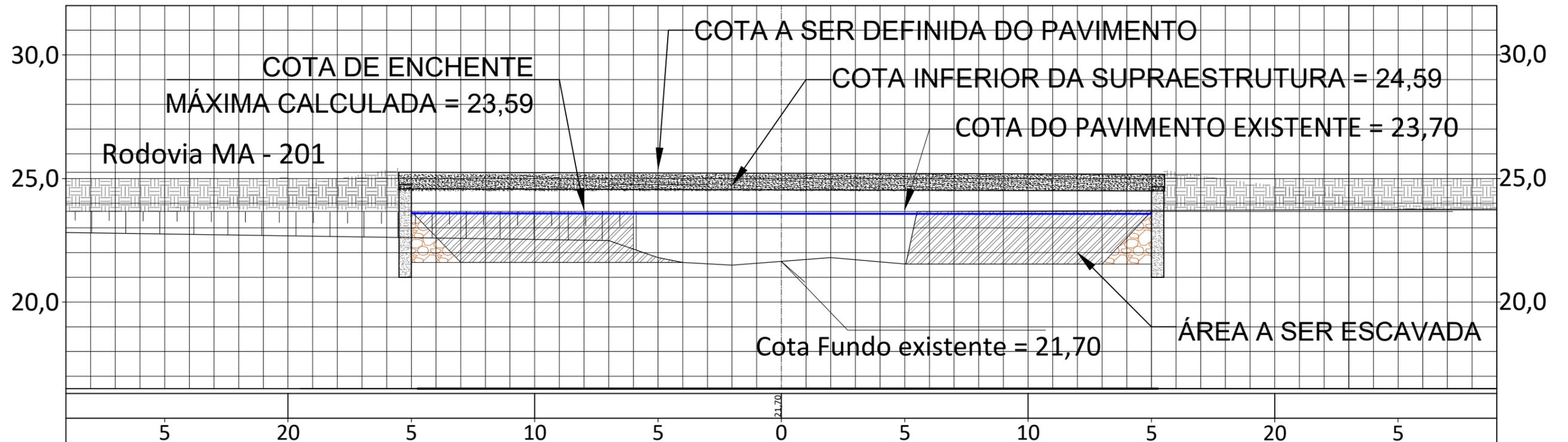
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL	
ALUNO: MATHEUS VINICIUS GARCIA ALMEIDA	
PLANTA DE SEÇÃO TRANSVERSAL VÃO DE 20 METROS	
ESCALA: 1:200	PRANCHA: 3/6



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL - UEMA	
ALUNO: MATHEUS VINICIUS GARCIA ALMEIDA	
PLANTA BAIXA - VÃO DE 20 METROS	
ESCALA: 1:500	PRANCHA: 4/6



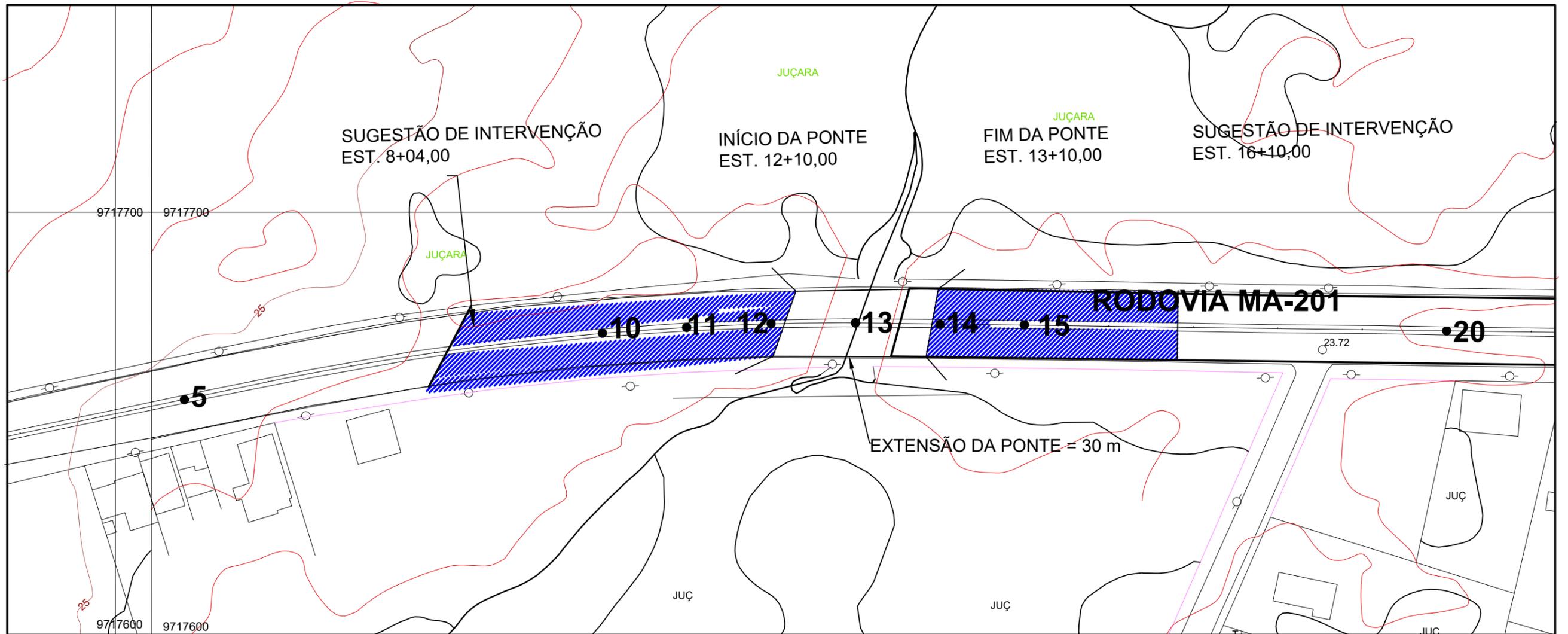
PERFIL / ESTRADA DE RIBAMAR (MA 201)



SEÇÃO "1" - PONTE / EXTENSÃO 30,00m



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL	
ALUNO:	
MATHEUS VINICIUS GARCIA ALMEIDA	
SEÇÃO TRANSVERSAL VÃO DE 30 METROS	
ESCALA:	PRANCHA:
1:200	5/6



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL	
ALUNO:	
MATHEUS VINICIUS GARCIA ALMEIDA	
PLANTA BAIXA - VÃO DE 30 METROS	
ESCALA:	PRANCHA:
1:500	6/6

