

EMITENTE

CONSORCIO SUPERVISOR ENGEVIA GO LOTE 03

OBJETO

ELABORAÇÃO DE PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA, PARA OBRAS DE ARTE CORRENTE NA GO-070, MUNICÍPIO DE GOIANIRA-GO.

TÍTULO

Projeto de Engenharia de Bueiro de Concreto na GO-070.

ELABORAÇÃO	RESP. TÉCNICO	VERIFICAÇÃO	LIBERAÇÃO	APROVAÇÃO
Eng.º Rafael Queiroz	Eng.º Rafael Queiroz	Eng.º Rafael Queiroz		

VOLUME 01 – Relatório Hidrológico

REVISÃO	DATA	RESP. TÉCNICO	VERIFICAÇÃO	LIBERAÇÃO	APROVAÇÃO

Sumário

1	APRESENTAÇÃO	4
1.1	Dados da Obra.....	4
1.2	Mapa de Localização	4
2	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	4
3	BUEIRO DE CONCRETO ARMADO NA GO-070	4
4	NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS E ESPECIFICAÇÕES E NORMAS DA GOINFRA E DO DNIT EM VIGOR E/OU ESPECIFICAÇÕES COMPLEMENTARES EXISTENTES	7
5	ANEXO FOTO	7
6	Informações locais	8
6.1	Localização	8
6.2	Elementos topográficos.....	9
6.2.1	Uso do solo.....	9
6.2.2	Relevo	11
6.2.3	Tipos de solo	12
6.3	Aspectos climatológicos	14
6.3.1	Relevo do local de estudo	15
6.4	Bacia hidrográfica	16
6.5	Obra hidráulica existente	17
7	Informações Gerais	18
7.1	Elementos utilizados	18
7.2	Informações da obra.....	19
8	Estudos hidrológicos.....	19
8.1	Coleta de dados	19
8.2	Dados pluviométricos	20
8.3	Metodologia utilizada	24
8.4	Método estatístico de Gumbel.....	24
8.5	Método das isozonas	26
9	Vazão máxima para a seção do bueiro	32
9.1	Parâmetros de Projeto	32
10	Vazão máxima para a seção do bueiro	33

CÓDIGO		REV.
RP-09/25		00
EMIÇÃO	ELABORADO POR	FOLHA
02/09/2025	RQ	3 de 36

10.1	Método de Ven te Chow	33
11	Enchente máxima.....	34
12	Resultados.....	34
13	Referência bibliográficas	36

1 APRESENTAÇÃO

1.1 Dados da Obra

Rodovia: GO-070, Município de Goianira - GO

Trecho: Bueiro na GO-070

Coordenadas: -16.511159°, -49.420193°

1.2 Mapa de Localização



2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Os levantamentos topográficos foram realizados em consonância com a IP02 da GOINFRA. Os estudos topográficos foram realizados de acordo com o processo Eletrônico-Digital. Foram realizados com a utilização de equipamentos GPS (Global Positioning System) e de Estação Total. Com os dados decorrentes dos levantamentos planialtimétricos foram elaboradas, com auxílio de dois softwares específicos para projetos rodoviários, no caso Topcon Tools, TopoGraph e Civil 3D, plantas cartográficas em arquivos eletrônicos, onde foi restituída a superfície levantada e foram representados todos os elementos de interesse para o projeto.

3 BUEIRO DE CONCRETO ARMADO NA GO-070

A estrutura é um Bueiro duplo celular em concreto armado(pré-moldado) de tamanho 3,00x3,00, modelo III, do álbum de projetos da DNIT. O Bueiro é composto por um corpo, com as seguintes dimensões 75,0m x 6,75m x 3,50m. A OAC possui nos dois lados de seu corpo, vigas superiores e inferiores, laje, viga da laje e alas. Abaixo do corpo do bueiro há um berço em concreto magro, abaixo dele, o rachão de pedra marroada com 105 cm de altura em frente as lajes há pedras argamassadas com extensão de 3 metros. Considerando a metodologia abaixo (modelo de dispersão), temos o resultado suficiente para atender a tensão mínima.

$$N_{spt} := 3 \quad f_s := 1 \quad L := 1000 \quad Z := 105 \quad B := 300$$

$$\sigma_{sub} := f_s \cdot \frac{(B \cdot L)}{(B + 1,5 \cdot Z) \cdot (L + 1,5 \cdot Z)} = 0,5665$$

$$\sigma_{adm} := \frac{N_{spt}}{5} = 0,6$$

$$\sigma_{sub} < (\sigma_{adm})$$

Símbolo	Unidade	Definição
B	cm	Largura da base considerada da aduela (ou do conjunto). Deve incluir as paredes laterais quando pertinente.
L	cm	Comprimento em planta da aduela (ou do conjunto) na direção longitudinal do bueiro
z	cm	Espessura da camada de berço (rachão) a dimensionar.
σ_{adm}	Kgf/cm ²	Tensão admissível do solo (capacidade resistente). Para projeto, adotar $\sigma_{adm,proj} = \max(1, NSPT/5)$.
f_s	kgf/cm ²	Tensão de serviço na base da aduela antes da dispersão.
$\sigma_{sub}(z)$	kgf/cm ²	Tensão efetivamente transmitida ao solo após a dispersão no berço de espessura z.

Adotando o modelo de dispersão 1.5:1, no qual a área de influência da carga cresce com a profundidade. Assim, na interface, a área ampliada é $(B + 1,5z) \cdot (L_{ef} + 1,5z)$. A tensão que chega ao solo é:

$$\sigma_{sub}(z) = f_s \cdot \frac{B \cdot L_{ef}}{(B + 1,5 \cdot z) \cdot (L_{ef} + 1,5 \cdot z)}$$

O critério de verificação é que a tensão transmitida não ultrapasse a capacidade resistente do solo:

$$\sigma_{sub}(z) \leq \sigma_{adm} \rightarrow \sigma_{adm} = \frac{NSPT}{5}$$

Observação: aumentar z reduz $\sigma_{sub}(z)$, pois a mesma solicitação é distribuída em área maior. O objetivo do dimensionamento é encontrar o z que satisfaça o critério.

Unidades: B, L_{ef} e z em cm; tensões em kgf/cm².

Nota: Devido ao tráfego na região ser intenso e o VDM ser alto a execução de bueiros com aduelas se torna mais rápido e eficiente.

Figura 01 – Perspectiva do bueiro

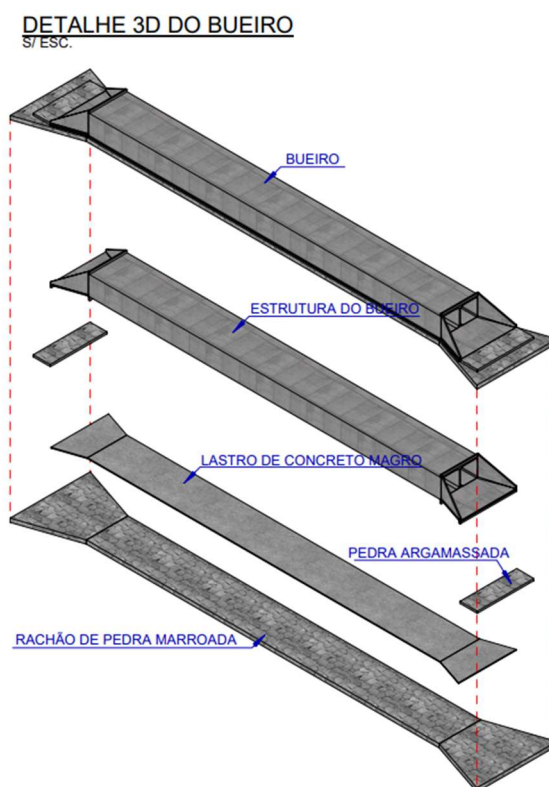
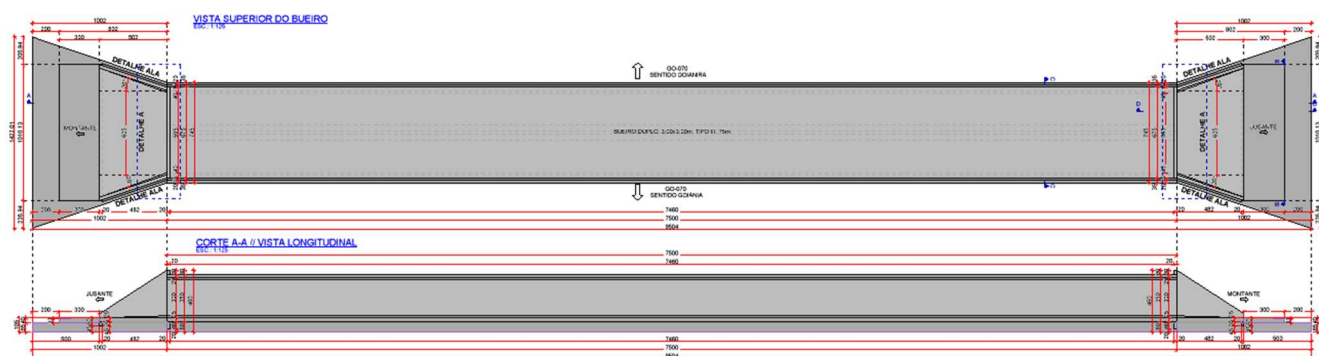


Figura 02 – Vista superior e corte Longitudinal do bueiro



4 NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS E ESPECIFICAÇÕES E NORMAS DA GOINFRA E DO DNIT EM VIGOR E/OU ESPECIFICAÇÕES COMPLEMENTARES EXISTENTES

Para execução do projeto executivo e de projeto da OAE foram utilizadas as seguintes instruções normativas e instruções de projetos:

- ABNT NBR 6118 (2014) – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento;
- ABNT NBR 6120 (2020) – Cargas Para O Cálculo De Estruturas De Edificações;
- ABNT NBR 6484 (2020) – Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio;
- ABNT NBR 7187 (2003) — Projeto de Pontes de Concreto Armado e Protendido — Procedimento;
- ABNT NBR 7188 (2013) — Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- ABNT NBR 6122 (2019) – Projeto e Execução de Fundações;
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT – Diretrizes Básicas de Projetos Rodoviários — 2006;
- Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. DER-SP-IP-DE-H00/001 – 2005;
- Instrução de Projetos Rodoviários IP-14 GOINFRA – Projeto OAE (IP-14 - 2018/001);

Carga Móvel de Projeto: Veículo tipo rodoviário de Classe 45 Tf

Carga de multidão (distribuída): 500 Kgf/m²

5 ANEXO FOTO

Imagem 01 – Estrutura Atual



Imagem 02 – Rodovia



Imagem 03 – Estrutura Atual



6 Informações locais

6.1 Localização

A **Figura 1** abaixo demonstra o local onde o novo bueiro será inserido, localizado no município de **Goianira, Goiás**, nas seguintes **coordenadas geográficas: 16°30'40.2"S, 49°25'12.7"W**.

Figura 1 – Local do estudo



Fonte: Google Earth (2024)

6.2 Elementos topográficos

6.2.1 Uso do solo

Segundo o IBGE (2014), o estado de Goiás apresenta grandes áreas agrícolas, pastagens com manejo, pastagem natural e mosaico de área agrícola com remanescentes campestres, como mostra as **Figura 2** e **Figura 3** abaixo.

Figura 2 – Mapa de uso do solo



Fonte: IBGE (2014)

Figura 3 – Legenda do mapa de uso do solo

Nome da Classe	Descrição
 Área Artificial	Mais de 75% do polígono ocupado com uso urbano, estruturado por edificações e sistema viário, onde predominam superfícies artificiais não-agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transportes, redes de energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e edificações que podem, em alguns casos, estar situadas em áreas peri-urbanas. Também pertencem a essa classe aldeias indígenas e áreas de lavra de mineração. As áreas urbanizadas podem ser contínuas ou descontínuas.
 Área Agrícola	Mais de 75% do polígono é ocupado por lavouras temporárias e lavouras permanentes, irrigadas ou não, sendo a terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio. Inclui todas as terras cultivadas, que podem estar plantadas ou em descanso e também as áreas alagadas cultivadas. Pode ser representada por zonas agrícolas heterogêneas ou extensas áreas de "plantations".
 Pastagem com Manejo	Área predominantemente ocupada por vegetação herbácea cultivada. São locais destinados ao pastoreio do gado e outros animais, formados mediante plantio de forragens perenes, sujeitos a interferências antrópicas de alta intensidade, como limpeza da terra (destocamento e despedramento), calagem e adubação.
 Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais	Área que contenha mais de 50% e menos de 75% do polígono utilizado para agricultura, pastagens e/ou silvicultura e o restante ocupado por remanescentes florestais. Podem ocorrer, em menor proporção, outras formações vegetais (herbáceas e arbustivas).
 Silvicultura	Área caracterizada pelo cultivo de florestas plantadas com espécies exóticas. Nesta classe mais de 75% do polígono deve ser ocupado por silvicultura.
 Vegetação Florestal	Mais de 75% do polígono ocupado por florestas. Consideram-se florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 metros de altura, incluindo-se aí as áreas de Floresta Densa (estrutura florestal com cobertura superior contínua), de Floresta Aberta (estrutura florestal com diferentes graus de descontinuidade da cobertura superior, conforme seu tipo com cipó, bambu, palmeira ou sororoca), de Floresta Estacional (estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a estação desfavorável – seca e frio), além da Floresta Ombrófila Mista (estrutura florestal que compreende a área de distribuição natural da Araucaria angustifolia, elemento marcante nos estratos superiores, que geralmente forma cobertura contínua). Inclui outras feições em razão de seu porte superior a 5 m de altura, como a Savana Florestada, Campinarana Florestada, Campinarana Arborizada e os Manguezais.
 Mosaico de Vegetação Florestal com Atividade Agrícola	Área que contenha mais de 50% e menos de 75% do polígono ocupado com vegetação florestal e o restante ocupado por mosaicos de lavouras temporárias, irrigadas ou não, lavouras permanentes, pastagens e/ou silvicultura.
 Vegetação Campestre	Mais de 75% do polígono ocupado por formações não-arbóreas (campestres). Entende-se como campestres as diferentes categorias de vegetação fisionomicamente bem diversa da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Incluem-se nessa categoria as Savanas, Estepes, Savanas Estépicas, Formações Pioneiras e Refúgios Ecológicos. Encontram-se disseminadas por diferentes regiões fitogeográficas, compreendendo diferentes tipologias primárias: estepes planálticas, campos rupestres das serras costeiras e campos hidroarenosos litorâneos (restinga), conforme o Manual Técnico de Uso da Terra (2013).
 Área Úmida	Área ocupada por vegetação natural herbácea (cobertura de 10% ou mais), permanentemente ou periodicamente inundada por água doce ou salobra (estuários, pântanos, etc). Inclui os terrenos de charcos, pântanos, campos úmidos, entre outros. O período de inundação deve ser de no mínimo 2 meses por ano. Pode ocorrer vegetação arbustiva ou arbórea, desde que estas ocupem área inferior a 10% do total.
 Pastagem Natural	Área ocupada por vegetação campestre (natural) sujeita a pastoreio e outras interferências antrópicas de baixa intensidade.
 Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Campestres	Área que contenha mais de 50% e menos de 75% do polígono utilizado para agricultura, pastagens e/ou silvicultura e o restante ocupado por remanescentes campestres. Podem ocorrer, em menor proporção, formações vegetais arbóreas.
 Corpo d'água Continental	Inclui todas as águas interiores, como rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares. Também engloba corpos d'água naturalmente fechados (lagos naturais) e reservatórios artificiais (represamentos artificiais de água construídos para irrigação, controle de enchentes, fornecimento de água e geração de energia elétrica).
 Corpo d'água Costeiro	Inclui todas as águas costeiras (lagunas, estuários e baías que ocupam as Planícies Costeiras) e as águas inseridas nas 12 milhas náuticas, conforme Lei nº 8.617, de 4 de janeiro de 1993.
 Área Descoberta	Esta categoria engloba os afloramentos rochosos, penhascos, recifes e terrenos com processos de erosão ativos. Inclui locais de extração abandonados e sem vegetação, onde 75% da superfície é coberta por rochas, blocos e detritos. Também inclui as dunas, litorâneas e interiores, e acúmulo de cascalho ao longo dos rios.

Fonte: IBGE (2014)

6.2.2 Relevo

O relevo de Goiás, ilustrado na **Figura 4**, é predominante de depressões e planaltos. A área de estudo também é preponderante de serras e planaltos.

Figura 4 – Mapa do relevo do Brasil

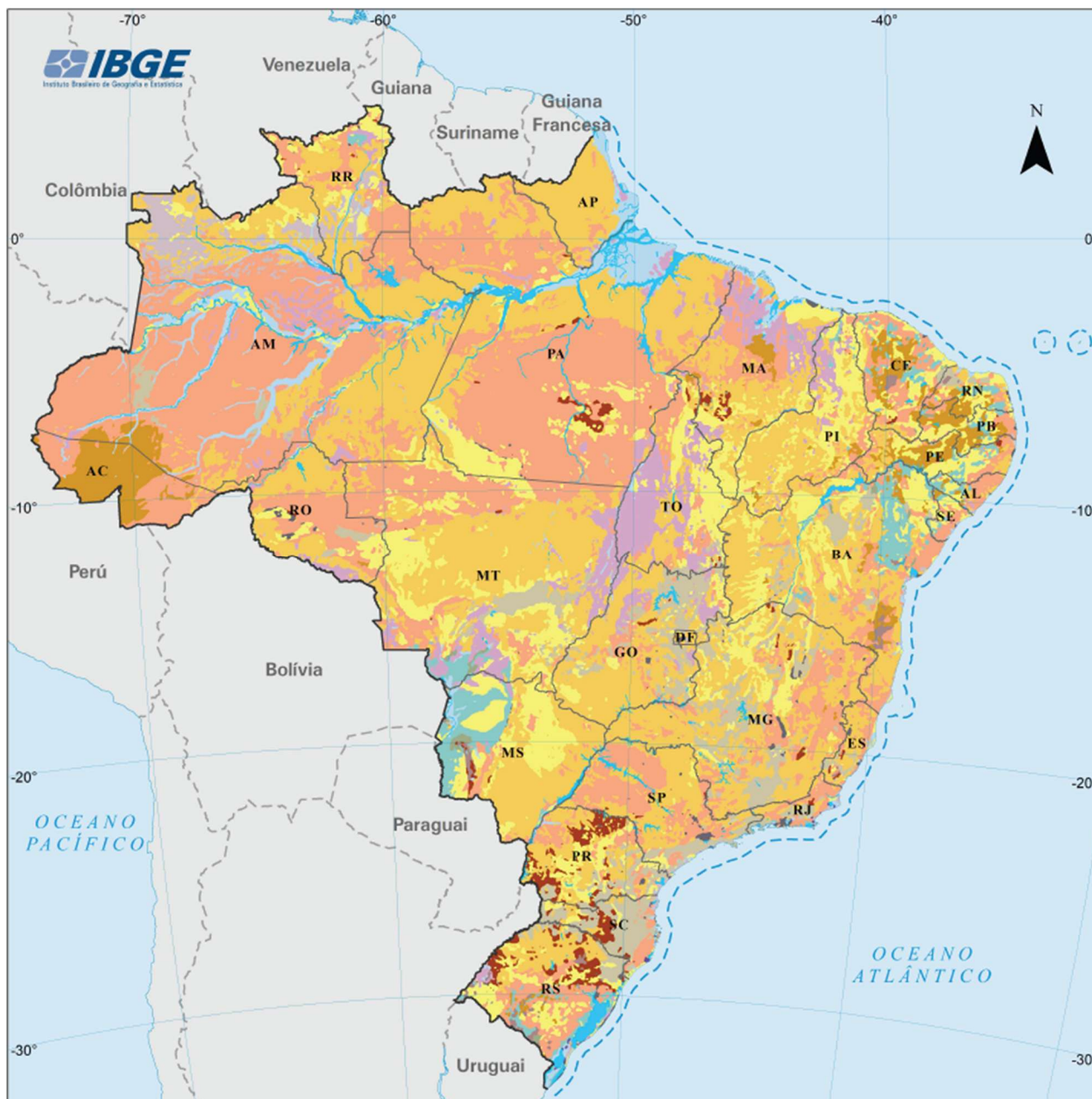


Fonte: IBGE (2019)

6.2.3 Tipos de solo

A Figura 5 e Figura 6 mostram os tipos de solo no Brasil, no qual o solo predominante de Goiás é o latossolo.

Figura 5 – Tipos de solo no Brasil



Fonte: IBGE (2019)

Figura 6 – Legenda dos tipos de solo no Brasil

SOLOS DO BRASIL		
Argissolo	Latossolo	Planossolo
Cambissolo	Luvissolo	Plintossolo
Chernossolo	Neossolo	Vertissolo
Espodossolo	Nitossolo	
Gleissolo	Organossolo	
OUTROS		
Massa d'água	Afloramentos Rochosos, Dunas e Áreas Urbanas	

Fonte: IBGE (2019)

Na região de estudo há a predominância dos latossolos e afloramento rochosos, dunas e áreas urbanas.

A EMBRAPA (2021) caracteriza os latossolos como:

Solos de intemperização intensa chamados popularmente de solos velhos, sendo definidos pelo SiBCS (Embrapa, 2006) pela presença de horizonte diagnóstico latossólico e características gerais como: argilas com predominância de óxidos de ferro, alumínio, silício e titânio, argilas de baixa atividade (baixa CTC), fortemente ácidos e baixa saturação de bases.

Apresenta normalmente baixa fertilidade, exceto quando originados de rochas mais ricas em minerais essenciais às plantas, acidez e teor de alumínio elevados. Possuem boas condições físicas para o uso agrícola, associadas a uma boa permeabilidade por serem solos bem estruturados e muito porosos. Porém, devido aos mesmos aspectos físicos, possuem baixa retenção de umidade, principalmente os de textura mais grosseira em climas mais secos.

6.3 Aspectos climatológicos

A **Figura 7** apresentam o clima do Brasil. A região de estudo apresenta clima tropical, subquente e semi-úmido.

Figura 7 – Mapa climático do Brasil



Fonte: IBGE (2002)

6.3.1 Relevo do local de estudo

A topografia da bacia de interesse apresenta relevo depressivo com cerrados, pastagens, matas ralas, cultura e pastagens terraceadas. A **Figura 8** mostra o talvegue principal da bacia de drenagem.

Figura 8 – Destaque do talvegue principal da bacia de drenagem



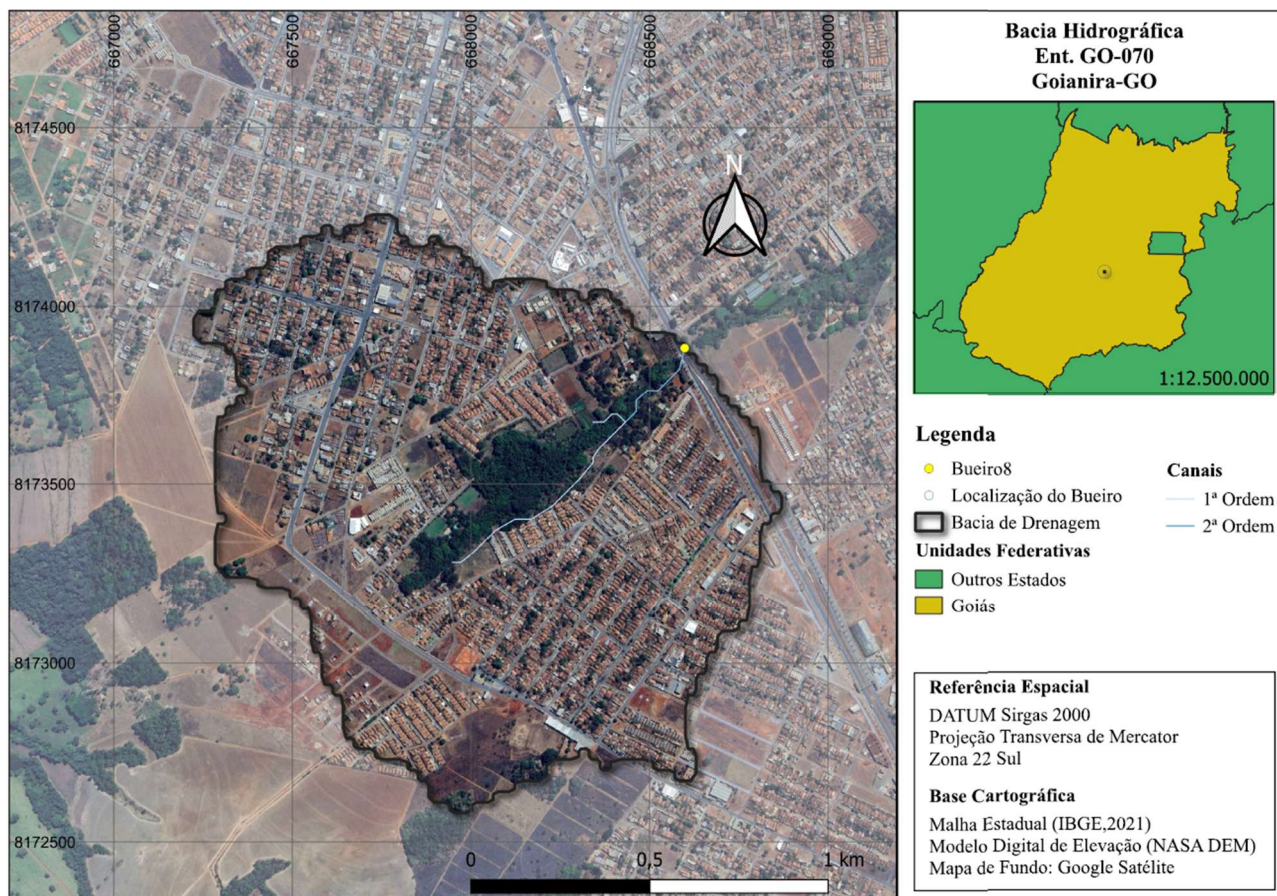
Fonte: Google Earth (2023)

O local apresenta as características predominantes dos latossolos e afloramento rochosos, dunas e áreas urbanas, textura de argila ou muita argilosa, cerrado, serras e planaltos de clima tropical, subquente e semi-úmido.

6.4 Bacia hidrográfica

A **Figura 9** mostra os dados da bacia hidrográfica estudada. A área dessa bacia, onde está localizada a obra, é de 1,84km², contando com um talvegue de interesse de 1,1km de extensão demonstrado na **Figura 8**.

Figura 9 – Bacia hidrográfica



Fonte: Própria do autor

6.5 Obra hidráulica existente

A localidade possui um bueiro que não tem capacidade para suportar a vazão de água da região, portanto será substituído. A **Figura 10 e Figura 11** ilustram o cenário local.

Figura 10 – Cenário local



Fonte: Própria do Autor

Figura 11 – Cenário local



Fonte: Própria do Autor

7 Informações Gerais

7.1 Elementos utilizados

Na elaboração dos estudos hidrológicos foram utilizados os seguintes elementos:

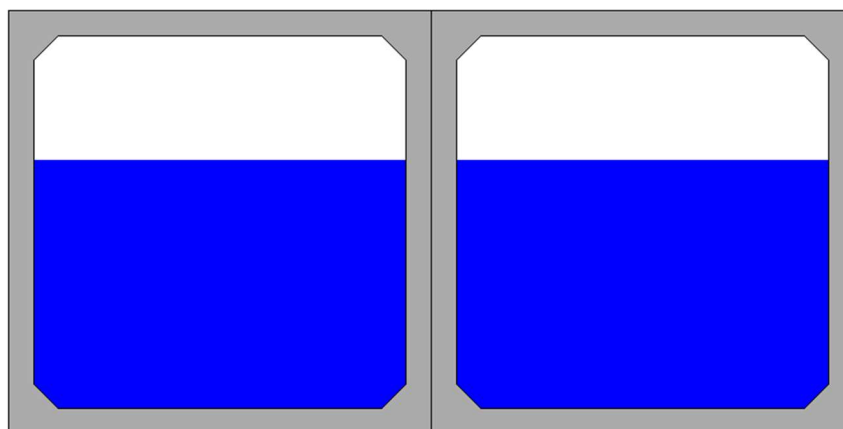
- Dados pluviométricos de postos situados nas proximidades do trecho disponibilizado por download no site da Agência Nacional de Águas - ANA;
- Especificações e instruções de Projetos para Estudos Hidrológicos da Agência Goiana de Infraestrutura e Transporte – GOINFRA (IP-03);
- Representação espacial e de projeto no *Software QGIS*;

- Informações sobre perfil de elevação do terreno e comprimento do talvegue levantadas através do *Software Google Earth Pro*;
- Informações de bacias hidrográficas e seus canais no *Software HECHMS*.

7.2 Informações da obra

Este relatório hidrológico está considerando a obra de um bueiro triplo pré-moldado com dimensões de 3 metros de largura e 3 metros de altura, conforme a IPR 736 do DNIT. O bueiro tem como objetivo assegurar a passagem dos moradores e dos viajantes que percorrem a região. A **Figura 12** a seguir mostra a seção do bueiro.

Figura 12 – Seção do bueiro



Fonte: Própria do autor

8 Estudos hidrológicos

8.1 Coleta de dados

Os dados de precipitação foram obtidos por meio de consulta à base Hidroweb, ferramenta pública da Agência Nacional de Águas (ANA) que dispõe de um banco de informações da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

Utiliza-se a **estação pluviométrica convencional nº 1649012** localizada nas **coordenadas geográficas -16.6611, -49.4878**, como ilustra a **Figura 13** abaixo.

Figura 13 - Mapa de localização da estação pluviométrica utilizada



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA)

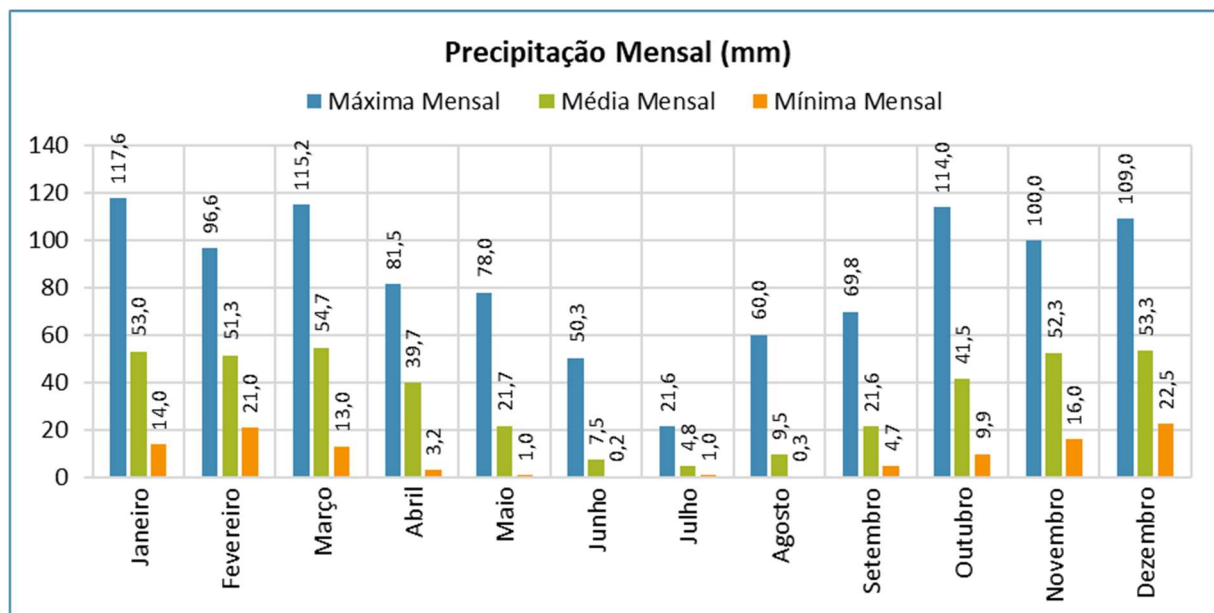
O centro demarcado juntamente com as coordenadas representa o local da obra a ser realizada, que está distante 18,1km da estação pluviométrica nº 1649012 em um trecho em linha reta, sem intercepções. A linha vermelha demarca a distância entre a estação pluviométrica e o local de estudo.

8.2 Dados pluviométricos

Através da estação pluviométrica destacada no **item 8.1**, analisou-se os anos entre 1974 e 2015, com exceções aos anos que não obtiveram muitas leituras, totalizou-se 29 eventos anuais. Tendo em vista esses dados, foram elaborados os gráficos a seguir.

O **Gráfico 1** mostra as precipitações mensais máximas, médias e mínimas dos anos em análise.

Gráfico 1 - Precipitação máxima, média e mínima mensal entre os anos de 1974 e 2015

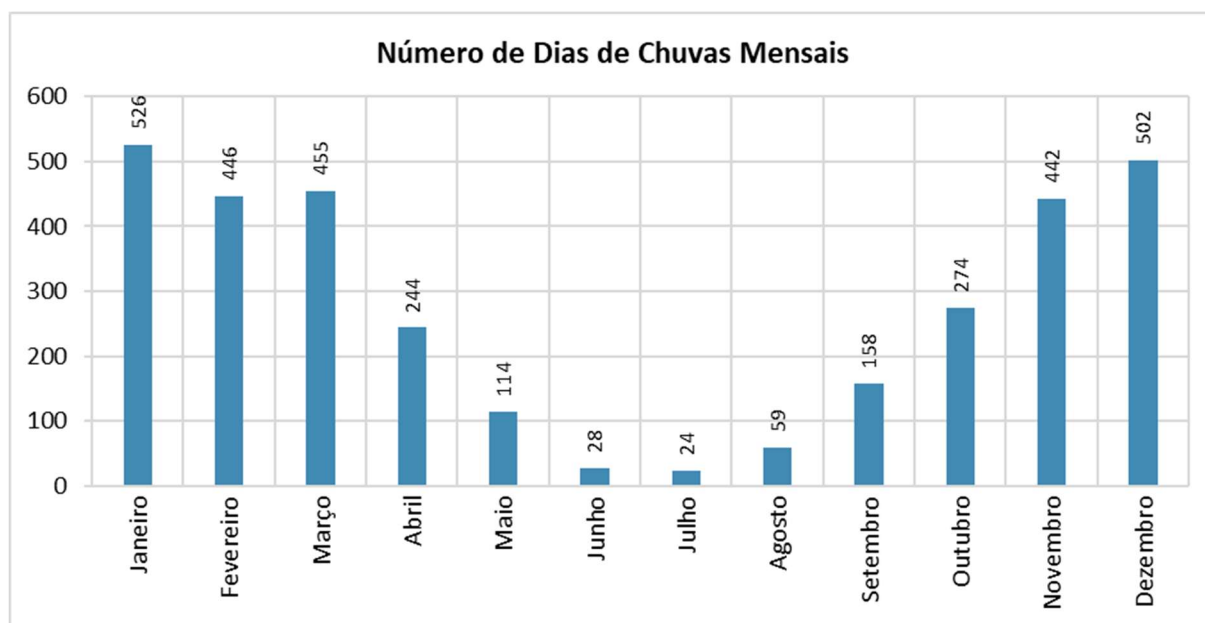


Fonte: Própria do autor

Destaca-se o mês de Janeiro que obteve a maior precipitação máxima mensal de 117,6mm e o mês de Março que obteve a maior média mensal igual a 54,7mm. Os meses de Junho a Setembro apresentam as menores precipitações mensais devido a época de estiagem da região ocorrer nesse período.

O **Gráfico 2** traz os dados do número de dias de chuvas mensais. Observa-se que choveu 526 dias em Janeiro ao longo dos anos.

Gráfico 2 - Número de dias de chuvas mensais entre os anos de 1974 e 2015

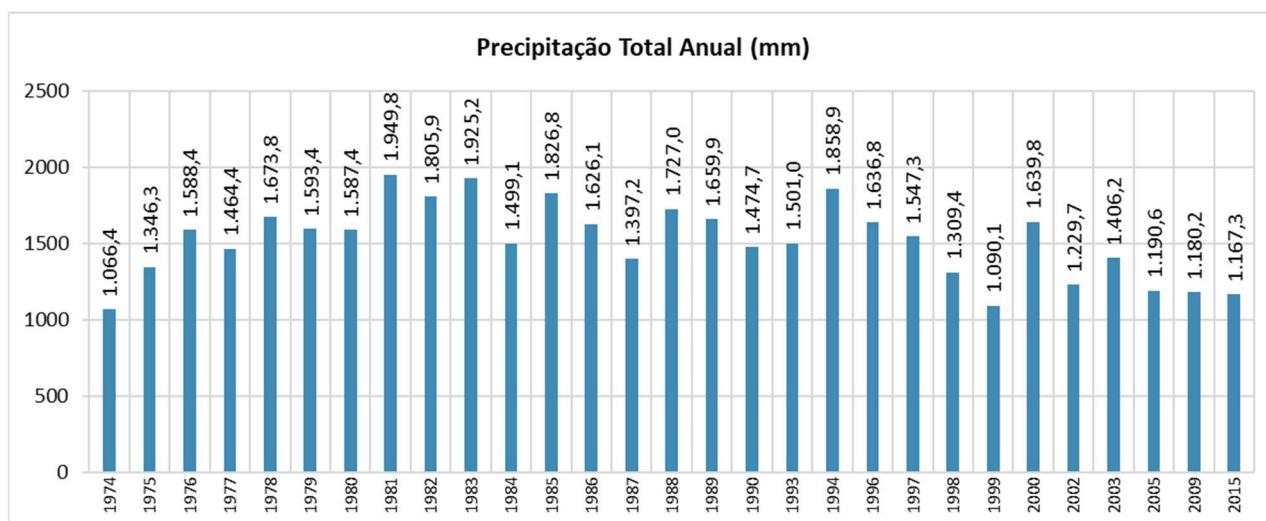


Fonte: Própria do autor

Analizando o **Gráfico 1** e o **Gráfico 2**, é possível concluir que a máxima mensal dos meses são bem consistentes nos meses chuvosos e também nos meses de estiagem. Já a média mensal é pouco variável tanto nos dias chuvosos, quanto nos período de estiagem. Ademais, a variação é gradativa de acordo com o período chuvoso e de estiagem do local.

No **Gráfico 3** é ilustrado a precipitação total anual, onde a máxima precipitação foi no ano de 1981 com 1949,8mm e 127 dias de chuva, demonstrado no **Gráfico 4** adiante.

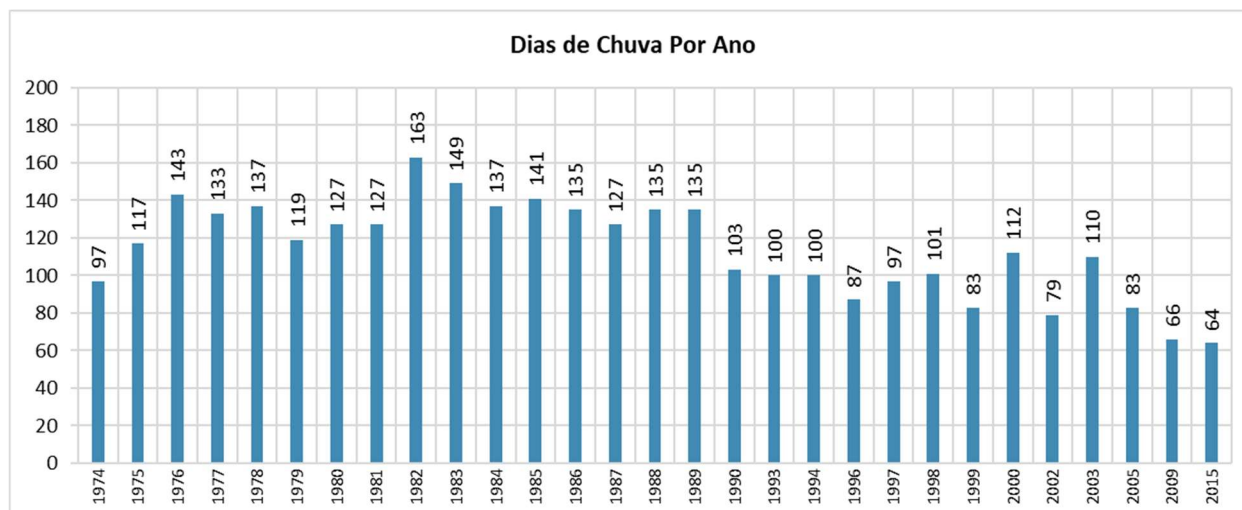
Gráfico 3 - Precipitação total anual entre os anos de 1974 e 2015



Fonte: Própria do autor

O **Gráfico 4** apresenta os números de dias de chuva por ano.

Gráfico 4 - Dias de chuva por ano entre os anos de 1974 e 2015

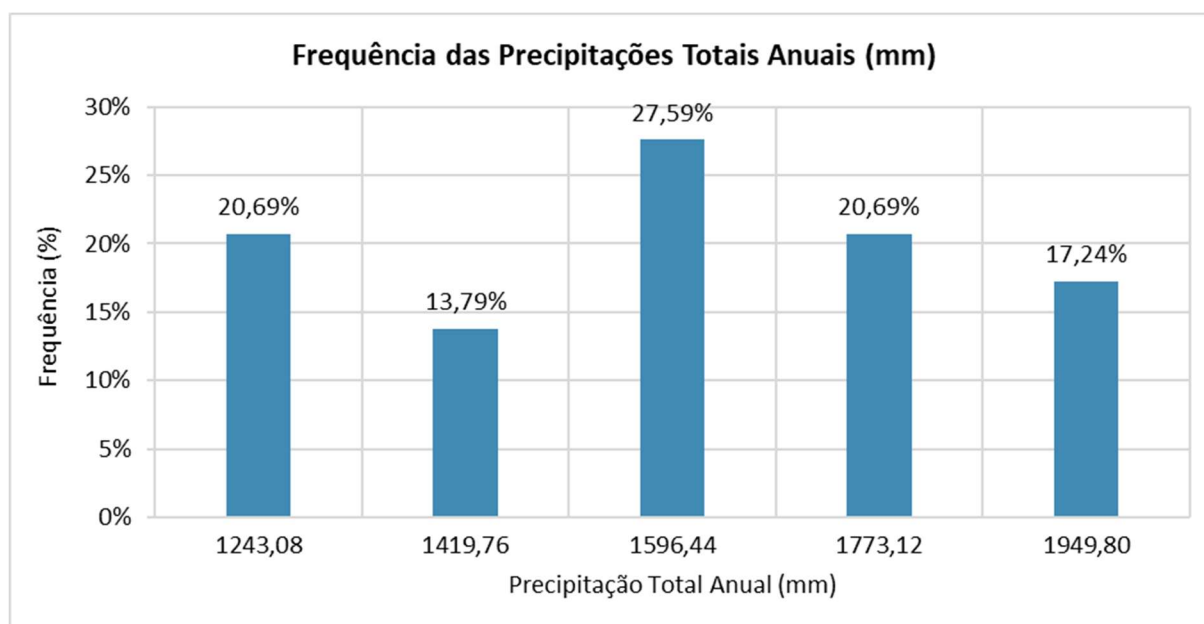


Fonte: Própria do autor

Através do **Gráfico 3** nota-se que houve alguns anos com baixas precipitações em relação ao conjunto de dados, que são correspondente a quantidade de dias de chuva demonstradas no **Gráfico 4**.

A frequência das precipitações totais anuais são apresentadas no **Gráfico 5**. As precipitações anuais acima de 1949,8mm, como no caso de 1981, ocorrem com muita frequência.

Gráfico 5 - Frequência das precipitações totais anuais entre os anos de 1974 e 2015



Fonte: Própria do autor

As precipitações totais anuais que ocorrem com a maior frequência de 27,59% são menores ou iguais a 1596,4mm e maiores que 1419,8mm. Já as precipitações maiores que 1243,1mm e menores e iguais a 1419,8 apresentam a menor frequência anual, sendo ela de 13,79%.

8.3 Metodologia utilizada

Através dos dados obtidos pela estação pluviométrica, utilizou-se as máximas precipitações anuais de 1 dia em ordem decrescente para realizar o método da probabilidade extrema de Gumbel. Para tempos de duração menores que um dia, foram feitas correções pelo método das isozonas. A vazão de projeto será determinada de acordo com as orientações da IP-03 GOINFRA – Estudos Hidrológicos.

8.4 Método estatístico de Gumbel

Abaixo são descritos os índices utilizados nos cálculos da **Tabela 1** adiante, que apresenta os resultados do método de Gumbel.

P - Valor máximo de precipitação diária, no período de 1 ano;

P_{med} - Precipitação média;

N - Números de anos observados;

F% - Frequência de vazões de enchentes observadas;

TR - Tempo de recorrência;

N - Número de ordem variável de 1 a “m”.

Tabela 1 – Resultados do método estatístico de Gumbel

Ano	P (mm)	N	P ordenado	P-P _{med}	(P-P _{med}) ²	F	TR
1974	92,0	1	117,6	34,00	1156,00	3,3%	30,0
1975	58,2	2	115,2	31,60	998,56	6,7%	15,0
1976	61,6	3	114,0	30,40	924,16	10,0%	10,0
1977	71,0	4	109,0	25,40	645,16	13,3%	7,5
1978	76,0	5	103,2	19,60	384,16	16,7%	6,0
1979	97,6	6	101,5	17,90	320,41	20,0%	5,0
1980	79,4	7	100,0	16,40	268,96	23,3%	4,3
1981	103,2	8	100,0	16,40	268,96	26,7%	3,8
1982	75,8	9	97,6	14,00	196,00	30,0%	3,3
1983	101,5	10	92,3	8,70	75,69	33,3%	3,0
1984	109,0	11	92,0	8,40	70,56	36,7%	2,7
1985	77,0	12	89,0	5,40	29,16	40,0%	2,5
1986	100,0	13	85,6	2,00	4,00	43,3%	2,3
1987	57,4	14	81,5	-2,10	4,41	46,7%	2,1
1988	67,5	15	79,4	-4,20	17,64	50,0%	2,0
1989	59,0	16	78,3	-5,30	28,09	53,3%	1,9
1990	89,0	17	77,0	-6,60	43,56	56,7%	1,8
1993	76,0	18	76,0	-7,60	57,76	60,0%	1,7
1994	115,2	19	76,0	-7,60	57,76	63,3%	1,6
1996	100,0	20	75,8	-7,80	60,84	66,7%	1,5
1997	85,6	21	71,0	-12,60	158,76	70,0%	1,4
1998	60,7	22	68,0	-15,60	243,36	73,3%	1,4
1999	114,0	23	67,5	-16,10	259,21	76,7%	1,3
2000	117,6	24	61,6	-22,00	484,00	80,0%	1,3
2002	92,3	25	60,7	-22,90	524,41	83,3%	1,2
2003	68,0	26	60,0	-23,60	556,96	86,7%	1,2
2005	81,5	27	59,0	-24,60	605,16	90,0%	1,1
2009	60,0	28	58,2	-25,40	645,16	93,3%	1,1
2015	78,3	29	57,4	-26,20	686,44	96,7%	1,0
Somatório:	2424,40			Somatório:	9775,30		
P_{med}:	83,60						

Fonte: Própria do autor

O desvio padrão é calculado a partir das informações da **Tabela 1**, pela fórmula abaixo.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P - P_{med})^2}{(m - 1)}} = 18,68$$

Sendo:

σ – Desvio padrão

m – número máximo de eventos

Determinou-se os valores do coeficiente que são dependentes do número de amostras “m” e do

período de recorrência (K) ilustrados na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Valores de K segundo Gumbel

Eventos: 29 anos	5	10	15	25	50	100
	0,87	1,547	1,924	2,402	3,037	3,667

Fonte: Própria do autor

Através da fórmula de Ven Te Chow, calcula-se a chuva de 1 dia para os períodos de recorrência de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos, como mostra a **Tabela 3** a seguir.

Tabela 3 - Precipitação para diversos tempos de recorrência

Chuva de 1 dia para diversos tempos de recorrência (Ven te Chow):

$$P = P_{med} + \sigma K$$

P_5 (mm)=	83,60	+	18,68	x	0,87	=	99,86
P_{10} (mm)=	83,60	+	18,68	x	1,547	=	112,51
P_{15} (mm)=	83,60	+	18,68	x	1,924	=	119,55
P_{25} (mm)=	83,60	+	18,68	x	2,402	=	128,48
P_{50} (mm)=	83,60	+	18,68	x	3,037	=	140,35
P_{100} (mm)=	83,60	+	18,68	x	3,667	=	152,12

Fonte: Própria do autor

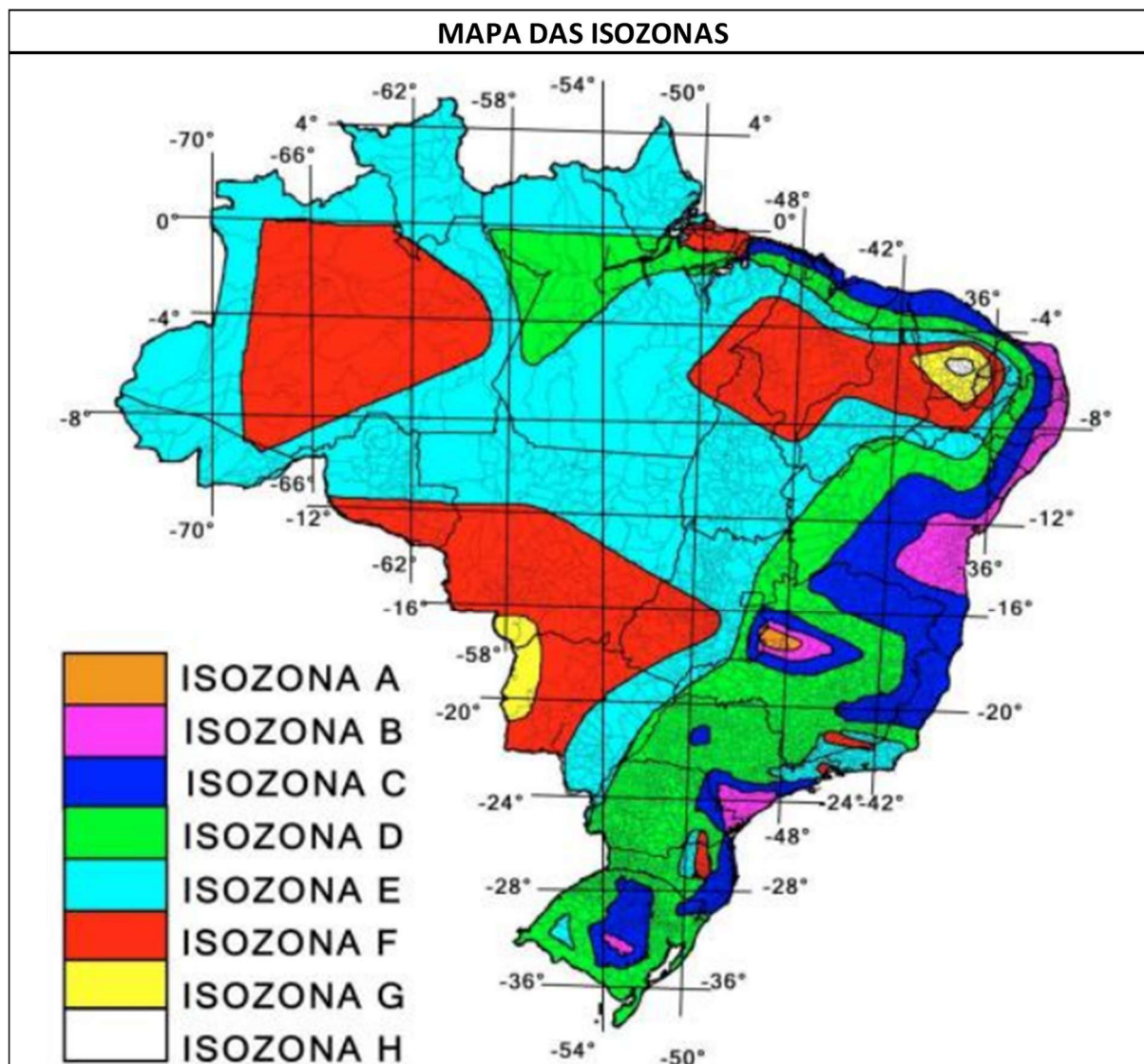
Onde:

P - Precipitação para um certo período de recorrência;

8.5 Método das isozonas

Determinou-se a altura de chuva e as chuva para as durações de 6 minutos, 1 hora e 24 horas, através do método das isozonas. Na **Figura 14** contém o mapa do Brasil com a cobertura das isozonas.

Figura 14 – Mapa das isozonas



A: Zona de maior precipitação anual do Brasil, com coeficientes de intensidade baixos;
B e C: Zonas de influência marítima, com coeficientes de intensidade suaves;
D: Zona de transição, entre continente e marítima, caracterizada como zona de influência do rio Amazonas;
E e F: Zonas de continental e noroeste, com coeficientes de intensidade altos.

Fonte: Própria do autor

Definiu-se a isozona de atuação “F” através da localização da obra a ser realizada, citada no **item 6.1**.
 Determina-se os valores das variáveis desta isozona com os dados apresentadas na **Tabela 4** a seguir.

Tabela 4 – Variáveis para tempos de recorrência

Tempo de Recorrência em Anos												
Zona	1h/24h de chuva										6min e 24h de chuva	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5 - 50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,5
B	36,1	37,8	37,5	37,1	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,9	11,2	10,0
E	44,0	43,5	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,4	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,5	48,3	47,8	46,5	44,8	16,7	14,9

Fonte: Própria do autor

As alturas de chuvas foram determinadas a partir das chuvas de 1 dia, demonstradas anteriormente na **Tabela 3**, seguindo as fórmulas abaixo.

$$P_{24\text{horas}} = P_{\text{máx_diária}} \times 1,1$$

$$P_{1\text{hora}} = I_{E,ANO} \times P_{24\text{horas}}$$

$$P_{0,1\text{hora}} = I_{E,ANO} \times P_{24\text{horas}}$$

Onde:

$P_{\text{máx_diária}}$ – Precipitação de 1 dia demonstrada na **Tabela 3**;

$P_{24\text{horas}}$ – Precipitação de 24 horas;

$P_{1\text{hora}}$ – Precipitação para 1 hora;

$P_{0,1\text{hora}}$ – Precipitação para 0,1 hora;

$I_{E,ANO}$ – Tempo de recorrência da isozona “F” para os anos em estudo.

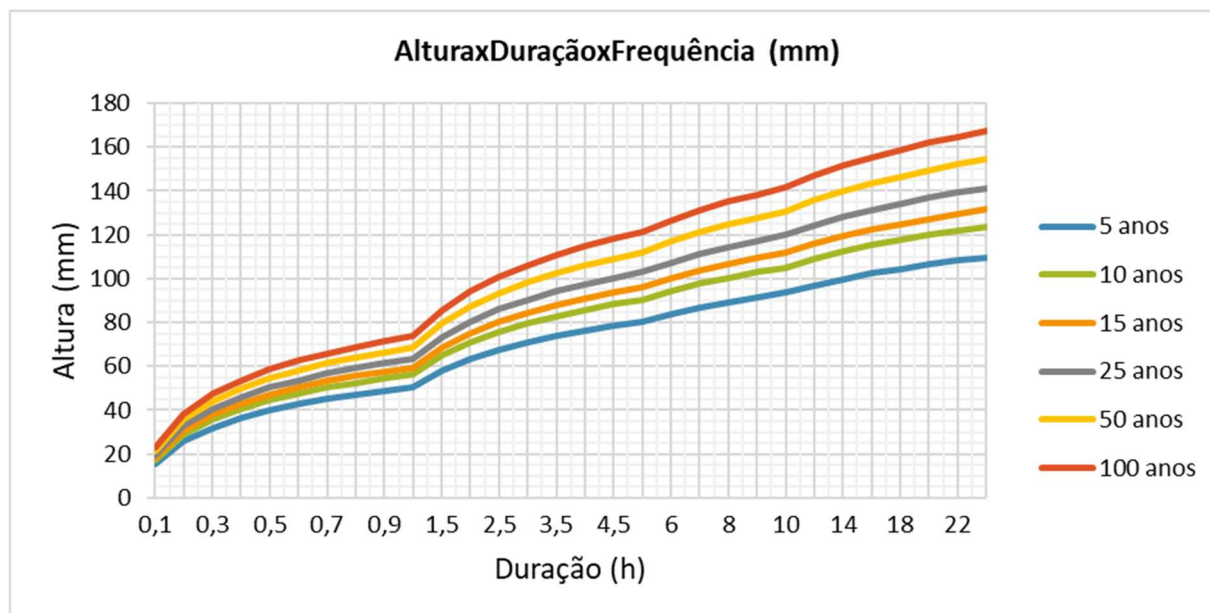
A **Tabela 5** destaca os resultados obtidos com as informações da **Tabela 3**, e o **Gráfico 6** apresenta o gráfico da relação altura x duração x frequência dos tempos de retorno iguais a 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos para as durações de 6 minutos a 24 horas.

Tabela 5 - Alturas de chuvas de 6 minutos a 24 horas

Precipitação (mm)								
min	horas	log (t)	5 anos	10 anos	15 anos	25 anos	50 anos	100 anos
6	0,1	-1,00	15,27	17,20	18,28	19,64	21,46	23,26
12	0,2	-0,70	25,88	28,97	30,71	32,83	35,68	38,47
18	0,3	-0,52	32,09	35,86	37,98	40,55	44,00	47,37
24	0,4	-0,40	36,50	40,75	43,14	46,02	49,90	53,68
30	0,5	-0,30	39,91	44,54	47,14	50,27	54,48	58,58
36	0,6	-0,22	42,70	47,63	50,41	53,74	58,22	62,58
42	0,7	-0,15	45,07	50,25	53,18	56,67	61,38	65,96
48	0,8	-0,10	47,11	52,52	55,57	59,21	64,12	68,89
54	0,9	-0,05	48,91	54,52	57,68	61,45	66,54	71,48
60	1	0,00	50,53	56,31	59,57	63,46	68,70	73,79
90	1,5	0,18	58,09	64,91	68,75	73,39	79,63	85,73
120	2	0,30	63,46	71,02	75,26	80,44	87,39	94,19
150	2,5	0,40	67,63	75,76	80,31	85,91	93,40	100,76
180	3	0,48	71,03	79,62	84,44	90,38	98,32	106,13
210	3,5	0,54	73,91	82,90	87,93	94,15	102,47	110,66
240	4	0,60	76,40	85,73	90,95	97,43	106,07	114,59
270	4,5	0,65	78,60	88,23	93,62	100,31	109,25	118,06
300	5	0,70	80,57	90,47	96,00	102,89	112,09	121,16
360	6	0,78	83,97	94,33	100,13	107,36	117,01	126,53
420	7	0,85	86,84	97,61	103,62	111,14	121,16	131,06
480	8	0,90	89,34	100,44	106,64	114,41	124,76	134,99
540	9	0,95	91,54	102,94	109,30	117,30	127,94	138,46
600	10	1,00	93,50	105,18	111,69	119,88	130,78	141,56
720	12	1,08	96,90	109,05	115,82	124,34	135,69	146,93
840	14	1,15	99,78	112,32	119,30	128,12	139,85	151,46
960	16	1,20	102,27	115,15	122,33	131,39	143,45	155,39
1080	18	1,26	104,47	117,65	124,99	134,28	146,62	158,86
1200	20	1,30	106,44	119,89	127,38	136,86	149,46	161,96
1320	22	1,34	108,22	121,91	129,53	139,20	152,03	164,77
1440	24	1,38	109,84	123,76	131,50	141,33	154,38	167,33

Fonte: Própria do autor

Gráfico 6 - Curvas AlturaxDuraçãoxFrequência de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos



Fonte: Própria do autor

As chuvas foram determinadas pelas fórmulas abaixo a partir dos resultados da **tabela 4**.

$$H_C = \frac{P_{24\text{horas}}}{D}$$

$$H_C = \frac{P_{1\text{hora}}}{D}$$

$$H_C = \frac{P_{0,1\text{hora}}}{D}$$

Onde:

H_C – Altura de chuva;

D – Duração da precipitação.

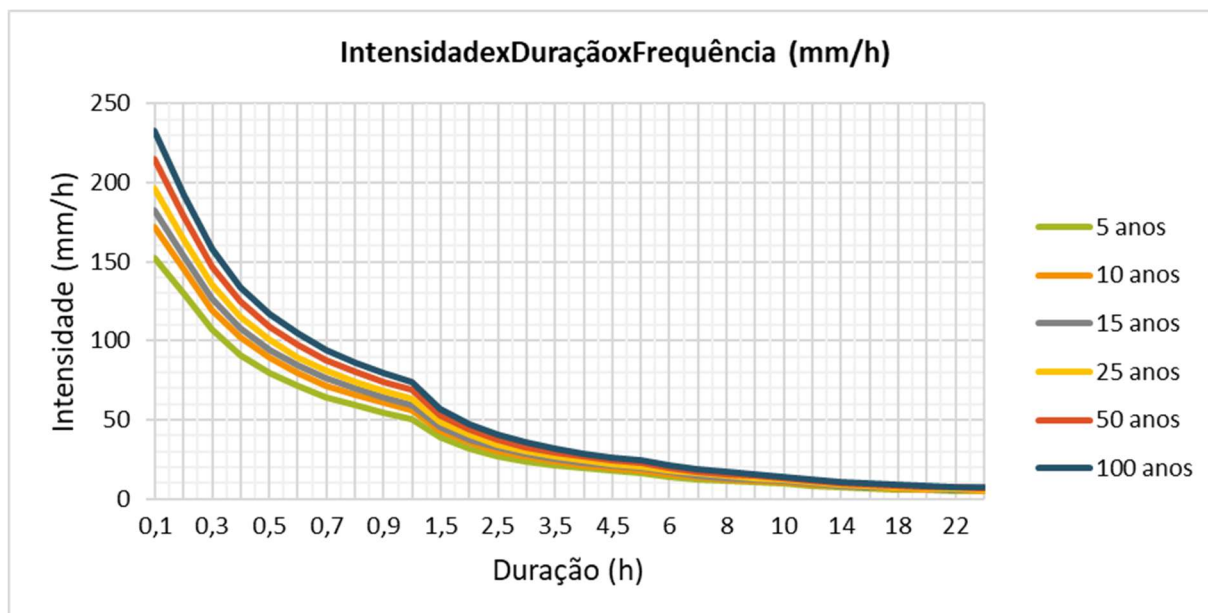
A **Tabela 6** destaca os resultados obtidos a partir da **Tabela 5**, e o **Gráfico 7** apresenta o gráfico da relação intensidade x duração x frequência dos tempos de retorno iguais a 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos para as durações de 6 minutos a 24 horas.

Tabela 6 - Chuvas com duração de 6 minutos a 24 horas

Intensidade (mm/h)								
min	horas	log (t)	5 anos	10 anos	15 anos	25 anos	50 anos	100 anos
6	0,1	-1,00	152,68	172,02	182,79	196,45	214,59	232,59
12	0,2	-0,70	129,41	144,87	153,55	164,17	178,40	192,35
18	0,3	-0,52	106,97	119,54	126,60	135,16	146,66	157,90
24	0,4	-0,40	91,24	101,87	107,85	115,06	124,75	134,21
30	0,5	-0,30	79,83	89,07	94,28	100,54	108,96	117,16
36	0,6	-0,22	71,17	79,39	84,02	89,56	97,03	104,30
42	0,7	-0,15	64,38	71,79	75,96	80,96	87,69	94,23
48	0,8	-0,10	58,89	65,65	69,46	74,01	80,15	86,12
54	0,9	-0,05	54,35	60,58	64,09	68,28	73,93	79,42
60	1	0,00	50,53	56,31	59,57	63,46	68,70	73,79
90	1,5	0,18	38,73	43,28	45,83	48,93	53,09	57,15
120	2	0,30	31,73	35,51	37,63	40,22	43,69	47,10
150	2,5	0,40	27,05	30,30	32,12	34,36	37,36	40,30
180	3	0,48	23,68	26,54	28,15	30,13	32,77	35,38
210	3,5	0,54	21,12	23,68	25,12	26,90	29,28	31,62
240	4	0,60	19,10	21,43	22,74	24,36	26,52	28,65
270	4,5	0,65	17,47	19,61	20,80	22,29	24,28	26,24
300	5	0,70	16,11	18,09	19,20	20,58	22,42	24,23
360	6	0,78	13,99	15,72	16,69	17,89	19,50	21,09
420	7	0,85	12,41	13,94	14,80	15,88	17,31	18,72
480	8	0,90	11,17	12,56	13,33	14,30	15,60	16,87
540	9	0,95	10,17	11,44	12,14	13,03	14,22	15,38
600	10	1,00	9,35	10,52	11,17	11,99	13,08	14,16
720	12	1,08	8,08	9,09	9,65	10,36	11,31	12,24
840	14	1,15	7,13	8,02	8,52	9,15	9,99	10,82
960	16	1,20	6,39	7,20	7,65	8,21	8,97	9,71
1080	18	1,26	5,80	6,54	6,94	7,46	8,15	8,83
1200	20	1,30	5,32	5,99	6,37	6,84	7,47	8,10
1320	22	1,34	4,92	5,54	5,89	6,33	6,91	7,49
1440	24	1,38	4,58	5,16	5,48	5,89	6,43	6,97

Fonte: Própria do autor

Gráfico 7 - Curvas Intensidade x Duração x Frequência de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos



Fonte: Própria do autor

9 Vazão máxima para a seção do bueiro

9.1 Parâmetros de Projeto

A vazão de projeto é calculada através de alguns parâmetros que foram definidos através dos programas *Google Earth Pro*, *QGIS* e *HECHMS*, ilustrados nas **Tabela 7**.

Tabela 7 – Parâmetros da bacia de drenagem do projeto

PARÂMETROS DE PROJETO						
Área da Bacia	Comprimento do Talvegue Principal	Declividade Média do Talvegue	Cota do Talvegue		Tempo de Concentração	Tempo de Retorno
A (Km²)	L (Km)	S (%)	Máx. (m)	Mín. (m)	Tc (h)	TR (anos)
1,84	1,10	2,45	782	755	0,45	25

Fonte: Própria do autor

Considerou-se uma bacia pequena devido a área da bacia ser menor do que 5km². Portanto, foi utilizado o método racional, dado pela fórmula demonstrada abaixo.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Onde:

C – Coeficiente de escoamento superficial;

I – Intensidade de precipitação;

A – Área da bacia;

φ – Coeficiente de retardo;

Tabela 8 – Vazão de projeto

VAZÃO DE PROJETO			
Classificação das Bacias	Coefficiente de escoamento superficial	Intensidade de Precipitação	Vazão de Projeto
$A \leq 5 \text{ km}^2$	C	I (mm/h)	$Q_p \text{ (m}^3/\text{s)}$
Bacia Pequena	0,4	314,52	64,312

Fonte: Própria do autor

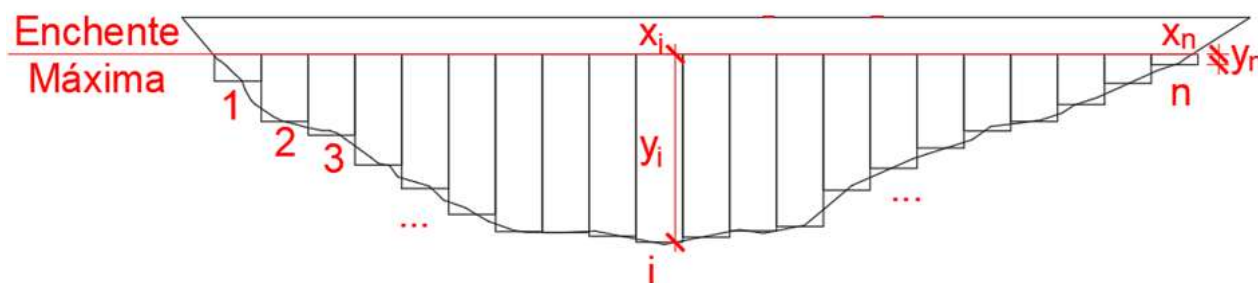
Apresentados os dados, a vazão máxima determinada foi de $64,31 \text{ m}^3/\text{s}$

10 Vazão máxima para a seção do bueiro

10.1 Método de Ven te Chow

Para determinar a vazão máxima da seção da futuro bueiro, aplicou-se o método de Ven Te Chow na seção definida no anteprojeto da mesma. A Tabela 9 e Tabela 10 ilustra os parâmetros definidos para o cálculo do raio hidráulico do bueiro e a Figura 15 demonstra a distribuição das seções ao longo da seção do bueiro.

Figura 15 - Distribuição das seções ao longo da seção do objeto em estudo



Fonte: Própria do Autor

Tabela 9 – Parâmetros para o cálculo do raio hidráulico

PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO RAO HIDRÁULICO					
Largura das Seções	Alturas das Seções	Área de Cada Faixa	Perímetro de Cada Faixa	Raio Hidráulico de Cada Faixa	$(A_i \times R_{h_i}^{2/3})$
$x_i \text{ (cm)}$	$y_i \text{ (cm)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$P_i \text{ (m)}$	$R_{h_i} \text{ (m)}$	(m)
300,00	240,00	7,20	7,80	0,92	6,83
300,00	240,00	7,20	7,80	0,92	6,83
600,00	Somatório	14,40	15,60	1,85	13,65

Fonte: Própria do Autor

Tabela 10 – Verificação hidráulica

VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA PARA O BUEIRO LANÇADO

ΣA_i	Raio Hidráulico	Vazão máxima para a seção molhada	Coefficiente de rugosidade	Velocidade do Escoamento
Somatório (m ²)	Rh (m)	Q _{máx} (m ³ /s)	η	V (m/s)
14,400	0,923	71,29	0,03	4,95

Fonte: Própria do Autor

A **Tabela 10** apresenta uma vazão máxima de 71,29m³/s para a seção do bueiro. Como a vazão máxima da seção do bueiro é superior a vazão de projeto, é possível construir o bueiro projetado.

11 Enchente máxima

Após obter a vazão máxima, determinou-se a cota de enchente máxima através de cálculos hidráulicos, como mostra a **Tabela 11** e **Tabela 12**.

Tabela 11 – Análise da seção do bueiro e das vazões para determinar a cota de enchente máxima

PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA ENCHENTE MÁXIMA				
Distância considerada	L (m)	100	C ₀ (m)	749,206
Declividade média	I (m/m)	0,03520	C _F (m)	745,686
Coefficiente de manning	η	0,03	ΔH	3,52

COTA DE ENCHENTE MÁXIMA									
H (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	R ^{2/3} (m)	AxR ^{2/3}	I ^{0,5} (m/m)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	COTA
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	715,124
1,00	6,000	10,000	0,600	0,711	4,268	0,188	26,693	4,449	716,124
2,00	12,000	14,000	0,857	0,902	10,828	0,188	67,717	5,643	717,124
3,00	18,000	18,000	1,000	1,000	18,000	0,188	112,570	6,254	718,124

Fonte: Própria do autor

Tabela 12 – Determinação da cota de enchente máxima

VALORES ESTIMADOS					
	Q (m ³ /s)	C (m)	H (m)	A (m ²)	V (m/s)
I ₀	26,69	716,12	1,00	6,00	4,45
I _f	67,72	717,12	2,00	12,00	5,64
Resultados	64,312	717,041	1,917	11,502	5,591

Fonte: Própria do autor

Por meio de interpolação foi obtido os resultados da **Tabela 12**. Enfim, determinou-se que a enchente máxima está 1,92 metros acima do fundo do rio.

12 Resultados

As informações finais obtidas nos **itens 9.1 e 11** são ilustradas na **Tabela 13** resumidamente.

Tabela 13 - Resumo geral

Vazão máxima para a seção	64,31 m³/s
Área da seção	11,50 m²
Velocidade para a seção	5,59 m/s
Cota enchente máxima	717,041 m
Altura do fundo do rio até a enchente máxima	1,92 m

Fonte: Própria do autor

Destarte, baseado na seção do bueiro, com a vazão do cálculo hidráulico é possível construir o bueiro projetado, sendo a altura de enchente máxima igual a 1,92 metros.

13 Referência bibliográficas

B. D. Richards, “Flood Estimation and Control” – 1937 Linsley, Kohler e Paulhus – Hydrology for Engineers, 1958.

CHOW, VEN TE. (1964). Handbook of applied hydrology. Editora McGraw-Hill, New York.

DAEE/CETESB 1980. Drenagem Urbana. 2a edição São Paulo. Alcântara; Ulysses M. A. De - Manual de Hidráulica, Escoamento Superficial, Galerias de Águas Pluviais, Bueiros, Pág 688, Roteiro Para o Projeto de Galerias Pluviais de Seção Circular.

DNIT – IPR-736 – Álbum De Projetos-Tipo De Dispositivos De Drenagem. Rio de Janeiro: DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2018.

DNIT – IS-04 – Instrução de serviço para estudo hidrológico. Rio de Janeiro: DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.

DNIT 2005 – Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. Rio de Janeiro: DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.

IBGE. Macrocaracterização - Compartimentos de Relevo. Rio de Janeiro: IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014.

IBGE. Macrocaracterização - Tipos de Solos. Rio de Janeiro: IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019.

IBGE. Mapa de Clima do Brasil: Climas zonais ou genéticos. Rio de Janeiro: IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.

PFAFSTETTER, Otto. 1982. – Chuvas intensas no Brasil. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento.

PINTO, NELSON L. DE SOUSA. (1973). Hidrologia de Superfície. Editora Edgard Blücher, São Paulo – SP.

TORRICO. José Jaime Torga. 1974 – Práticas Hidrológicas. Rio de Janeiro: Grupo TRANSCON.

TUCCI, C.E.M. (org.) (1993). Hidrologia – ciência e aplicação. Editora da Universidade/UFRS, EDUSP, e ABRH, Porto Alegre – RS.

TUCCI, C.E.M. (org.) (1995). Drenagem urbana. Editora da Universidade/UFRS, EDUSP, e ABRH, Porto Alegre – RS.