



**PROJETO DE DRENAGEM E ESTABILIZAÇÃO
DE TALUDES DO CANAL DA AVENIDA CELSO
GAMA DE PAIVA
MEMORIAL DE CÁLCULO DE DRENAGEM**

JANEIRO DE 2025

Referências Cadastrais

Cliente	Prefeitura Municipal de Pouso Alegre
Localização	Pouso Alegre, Minas Gerais
Título	Drenagem e Estabilização de Taludes do Canal da Avenida Celso Gama de Paiva
Contato	Alexandre de Oliveira
E-mail	obras@pousoalegre.mg.gov.br
Líder do Projeto	Aloisio Caetano Ferreira
Coordenador	Denis de Souza Silva
Projeto/centro de custo	167/2021
Data do documento	17/01/2025

Responsável Técnico – Coordenação

Denis de Souza Silva	
Engenheiro Hídrico	Nº CREA: MG 127.216/D

Responsável Técnico – Projeto Civil

Aloisio Caetano Ferreira	
Engenheira Civil	Nº CREA: MG 97.132/D

Isenção de Responsabilidade:

Este documento é confidencial, destinando-se ao uso exclusivo do cliente, não podendo ser reproduzido por qualquer meio (impresso, eletrônico e afins) ainda que em parte, sem a prévia autorização escrita do cliente.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	5
2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS	7
2.1. MACRODRENAGEM	7
2.1.1. ÁREA DE DRENAGEM	7
2.1.2. METODOLOGIA APLICADA	9
2.1.3. CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES	10
2.1.4. VAZÕES EXTREMAS	11
2.2. MICRODRENAGEM.....	13
2.2.1. METODOLOGIA APLICADA	13
2.2.2. MÉTODO RACIONAL.....	13
2.2.3. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERICIAL.....	14
2.2.4. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E PERÍODO DE RETORNO.....	15
2.2.5. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO	15
3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO.....	17
3.1. MACRODRENAGEM	17
3.1.1. DIMENSIONAMENTO DO CANAL.....	17
3.1.2. EQUAÇÃO DE MANNING	17
3.1.3. EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE.....	18
3.1.4. RUGOSIDADE.....	19
3.1.5. VELOCIDADE MÁXIMA	19
3.1.6. BORDA LIVRE.....	19
3.1.7. DIMENSIONAMENTO DOS TRECHOS DO CANAL.....	20
3.2. MICRODRENAGEM.....	25
3.2.1. SARJETAS	25
3.2.2. BOCAS DE LOBO	28
3.2.3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE DRENAGEM	28
3.2.4. POSICIONAMENTO.....	28
3.2.5. DIÂMETRO MÍNIMO	28
3.2.6. CÁLCULO DA VAZÃO DE CONTRIBUIÇÃO	28

3.2.7. VELOCIDADE DE ESCOAMENTO	28
3.2.8. CAPACIDADE MÁXIMA DA GALERIA.....	30
3.2.9. DESCARTE	31
4. ESTUDO DE IMPACTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO	32
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXO I – PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	38

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Vazão específica	12
Equação 2 – Método Racional.....	14
Equação 3 – Equação de Chuva Intensa	15
Equação 4 – Equação de Manning.....	17
Equação 5 – Raio Hidráulico.	18
Equação 6 – Declividade	18
Equação 7 – Continuidade	18
Equação 8 – Vazão	18
Equação 9 – Rugosidade equivalente	19
Equação 10 – Equação Izzard/Manning	26
Equação 11 – Velocidade.....	29
Equação 12 – Raio Hidráulico	29
Equação 13 – Vazão	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Trecho do Ribeirão das Mortes no bairro Fátima III	5
Figura 2 – Localização da bacia de contribuição.....	8
Figura 3 - Bacia do posto 62584600.....	9
Figura 4 – Hidrógrafa do posto fluviométrico 62584600	10
Figura 5 – Curva de permanência para o posto 62584600.....	11
Figura 6 – Resultado da vazão máxima através da distribuição de Log Pearson 3	12

Figura 7 – Seção do canal em Gabião	20
Figura 8 – Seção com perímetro molhado e área molhada	21
Figura 9 - Altura de lâmina d'água para o trecho 1	22
Figura 10 - Altura de lâmina d'água para o trecho 2.....	22
Figura 11 – Altura de lâmina d'água para o trecho 3	22
Figura 12 – Seção do canal em gabião	23
Figura 13 – Seção com perímetro molhado e área molhada.....	24
Figura 14 - Altura de lâmina d'água para o trecho 4.....	25
Figura 15 – Sarjeta Tipo B.....	26
Figura 16 – Características Hidráulicas da Sarjeta.....	27
Figura 17 – Detalhes Hidráulicos da Sarjeta.	27
Figura 18 - Localização das seções analisadas no estudo	32
Figura 19 - Seção transversal da primeira seção analisada	34
Figura 20 - Seção transversal da segunda seção analisada	34
Figura 21 - Seção transversal da terceira seção analisada	34

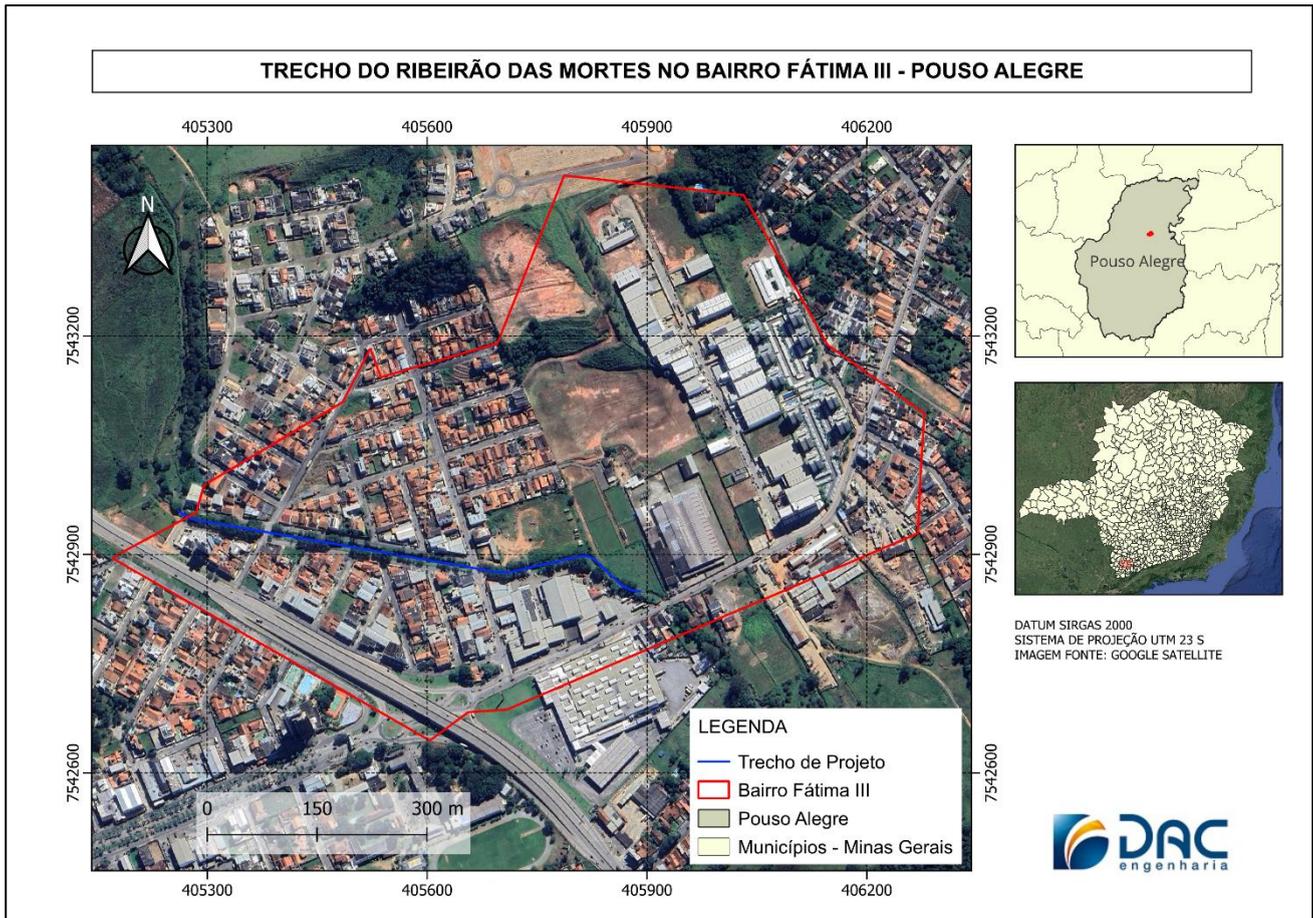
LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados obtidos para o posto 62584600	11
Tabela 2 – Coeficiente de Escoamento Superficial	14
Tabela 3 – Valores do Coeficiente de Rugosidade para diferentes Materiais de Revestimento	30
Tabela 4 – Coordenadas dos Descartes Projetados	31
Tabela 5 – Dados de entrada e resultado dos parâmetros das seções do leito natural	33
Tabela 6 – Parâmetros obtidos para antes e depois da intervenção	33

1. APRESENTAÇÃO

O trecho do Ribeirão das Mortes em questão localiza-se no bairro Fátima III, em Pouso Alegre/MG. O Ribeirão das Mortes é um importante curso d'água para o sistema de drenagem do município de Pouso Alegre e lateralmente ao Ribeirão das Mortes, no bairro Fátima III, encontra-se a avenida Celso Gama de Paiva. A localização do trecho em questão é apresentada pela Figura 1.

Figura 1 – Trecho do Ribeirão das Mortes no bairro Fátima III



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Devido à urbanização do município de Pouso Alegre, as áreas a montante do trecho do Ribeirão das Mortes produzem uma vazão superior a capacidade de descarga do canal natural, causando eventos de inundação no bairro Fátima III, em especial na Avenida Celso Gama de Paiva, causando prejuízos físicos e problemas de danos morais aos residentes locais, cujos são diretamente afetados pelas águas advindas de chuvas intensas.

Como consequência, podem ser observados ao longo das margens do Ribeirão das Mortes, processos erosivos como erosão e desmoronamento de talude, de forma que

atualmente existem ao longo das margens do Ribeirão das Mortes, estruturas de contenção de margens (muros de madeira) com a finalidade de estabilização dos taludes erodidos.

Visando reduzir os efeitos das inundações no bairro, controlar os processos erosivos e estabilizar as margens do ribeirão, propõe-se a canalização do trecho em questão, em seção aberta de formato trapezoidal com revestimento em gabiões do tipo caixa e colchão reno.

A seguir serão apresentados a metodologia e os cálculos realizados para as obras de drenagem projetadas como a canalização do Ribeirão das Mortes em gabião e a drenagem da Avenida Celso Gama de Paiva.

2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos irão determinar as descargas máximas nas áreas em estudo, a fim de dar base ao dimensionamento das estruturas hidráulicas do sistema de drenagem em questão. Para isso, é necessário o diagnóstico do regime pluvial e da natureza das precipitações intensas da região, como é apresentado a seguir.

2.1. MACRODRENAGEM

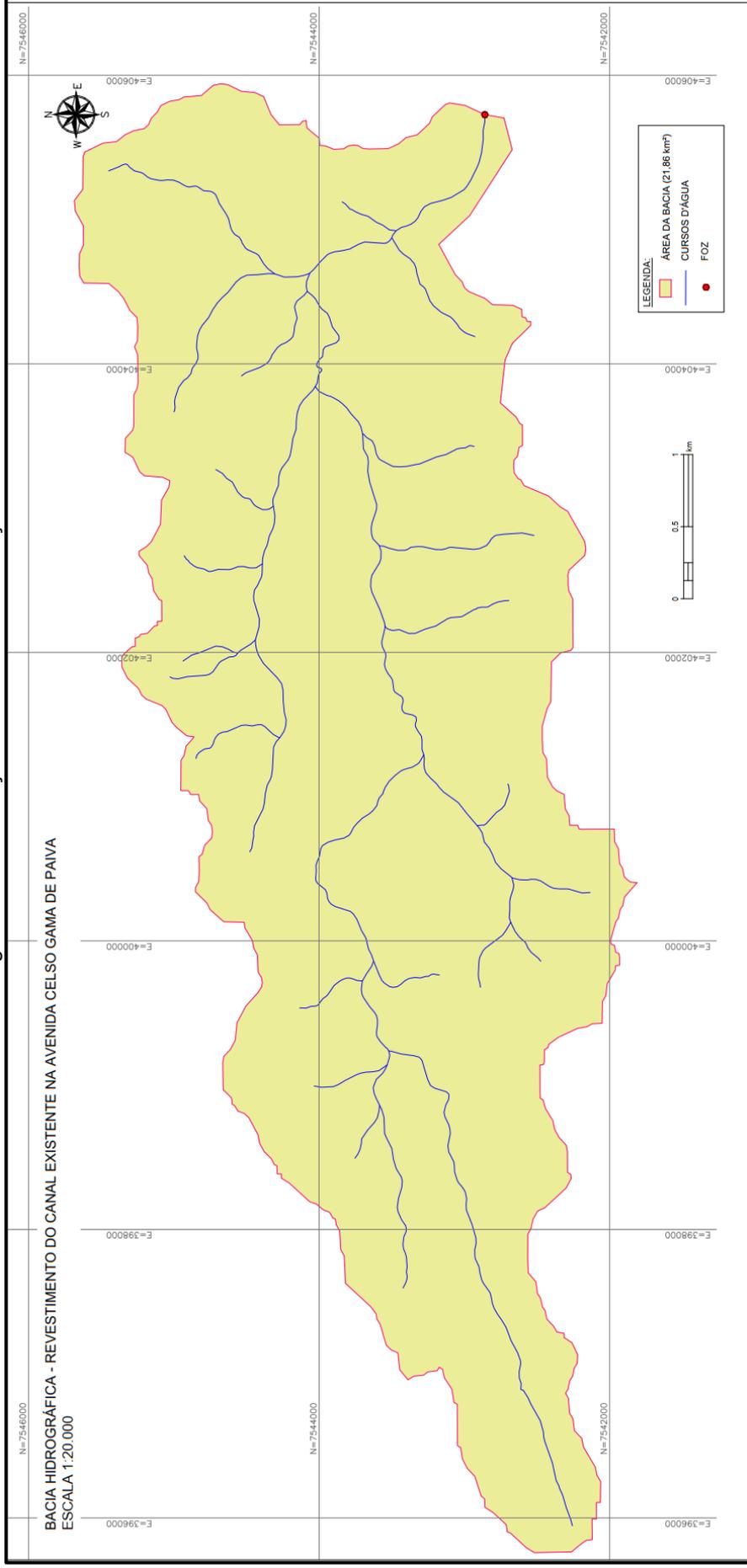
Os tópicos a seguir demonstram a metodologia aplicada para determinar a vazão máxima de projeto no contexto da macrodrenagem, sendo essa utilizada posteriormente para o dimensionamento da canalização em gabião.

2.1.1. ÁREA DE DRENAGEM

A área da bacia hidrográfica, ou área de contribuição, é a região de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos superficiais e sub-superficiais para um único ponto de saída. Usualmente, expressa-se em quilômetros quadrados (km²) ou em hectares (ha).

A área de estudo está localizada no município de Pouso Alegre – MG, cuja área de drenagem é de 21,86 km². A Figura 2 apresenta a bacia hidrológica de estudo.

Figura 2 – Localização da bacia de contribuição



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

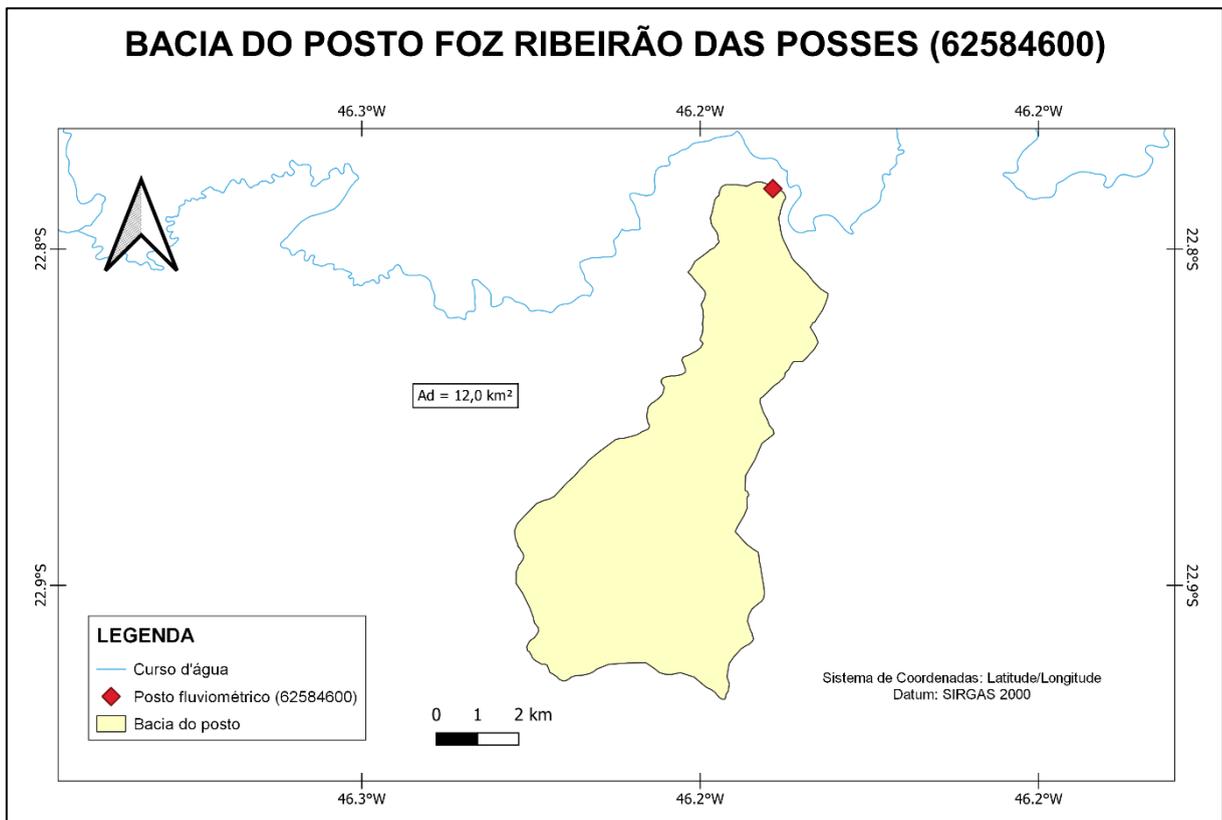
2.1.2.METODOLOGIA APLICADA

Para o cálculo das vazões máximas, utilizou-se análise estatística. Foram pesquisados os postos fluviométricos com correlação entre áreas de 0,25 a 4 vezes, em relação à bacia do projeto, na plataforma Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA), e depois os dados modelados por meio do software SisCAH (Sistema Computacional para Análise Hidrológica), do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Uma vez baixados os dados em formato .MDB (Access), estes foram processados no SisCAH, a fim de obter as vazões máximas, as hidrógrafas, as curvas de permanências para o posto fluviométrico selecionado, para seguir com o comparativo entre as vazões através dos métodos existentes.

O posto 62584600 – FOZ RIBEIRÃO DAS POSSES (MG), localizado no município de Extrema (MG), possui 6 anos de dados (11/2008-12/2014), sem falhas em sua série histórica. A área de drenagem do posto é de 12 km². A Figura 3 demonstra a bacia, com a localização do posto fluviométrico.

Figura 3 - Bacia do posto 62584600

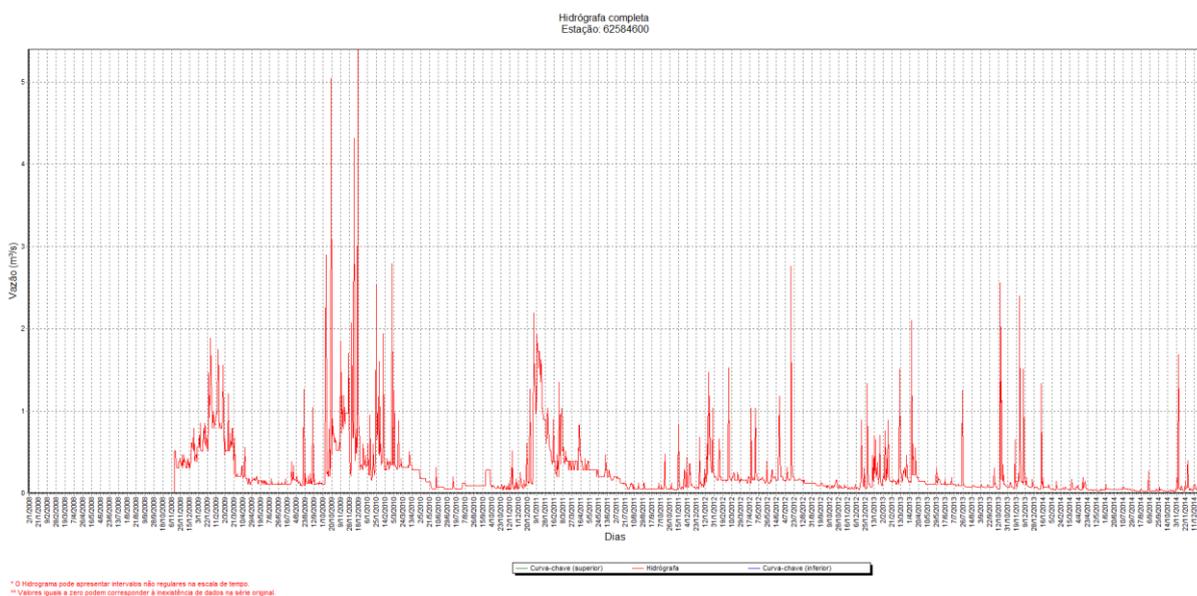


Fonte: DAC Engenharia, 2024.

A bacia do posto FOZ RIBEIRÃO DAS POSSES foi a escolhida para o prosseguimento com o estudo hidrológico, por apresentar a forma da bacia mais alongada, semelhante à bacia do projeto.

A hidrógrafa, ou hidrograma, é a representação, por meio de gráfico, da vazão que passa por uma determinada seção, ou ponto de controle, em relação ao tempo. Para a sua caracterização, é considerado o registro dos dados da série histórica. A seguir, na Figura 4 está representada a hidrógrafa para o posto selecionado.

Figura 4 – Hidrógrafa do posto fluviométrico 62584600

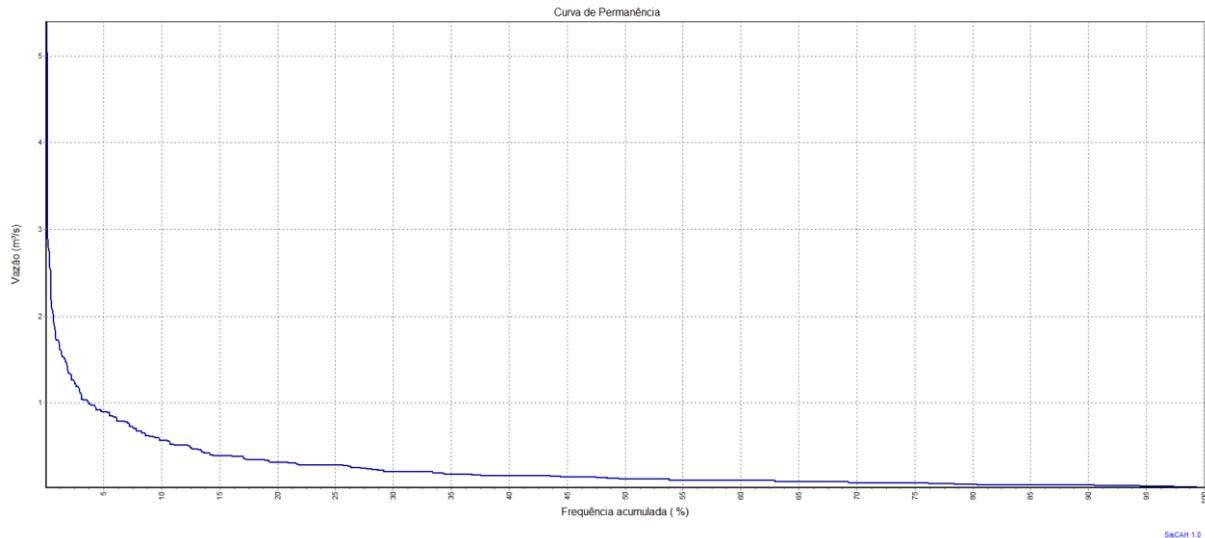


Fonte: DAC Engenharia, 2024.

2.1.3. CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

A curva de permanência é um gráfico cuja função mostra a caracterização da frequência da ocorrência de vazões, permitindo a avaliação da disponibilidade hídrica frente às demandas de uma bacia. Ela é definida como sendo a relação entre as vazões médias (diárias, mensais ou anuais, geralmente) e a sua frequência, fornecendo, assim, a porcentagem que uma determinada vazão é igualada ou superada ao longo do tempo. Na sequência, na Figura 5 é apresentada a curva de permanência para o posto 62584600.

Figura 5 – Curva de permanência para o posto 62584600



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

2.1.4. VAZÕES EXTREMAS

A vazão máxima foi calculada através de 5 métodos diferentes, considerando os dados do posto fluviométrico selecionado para o projeto: i) Gumbel; ii) Pearson 3; iii) Log Pearson 3; iv) Log Normal 2 e v) Log Normal 3. Tais metodologias foram modeladas no SisCAH, para a obtenção dos gráficos de vazão máxima, da amplitude do intervalo de confiança e do erro padrão.

A Tabela 1 a seguir apresenta os resultados para a vazão máxima (evento), a amplitude do intervalo e o erro padrão para cada método.

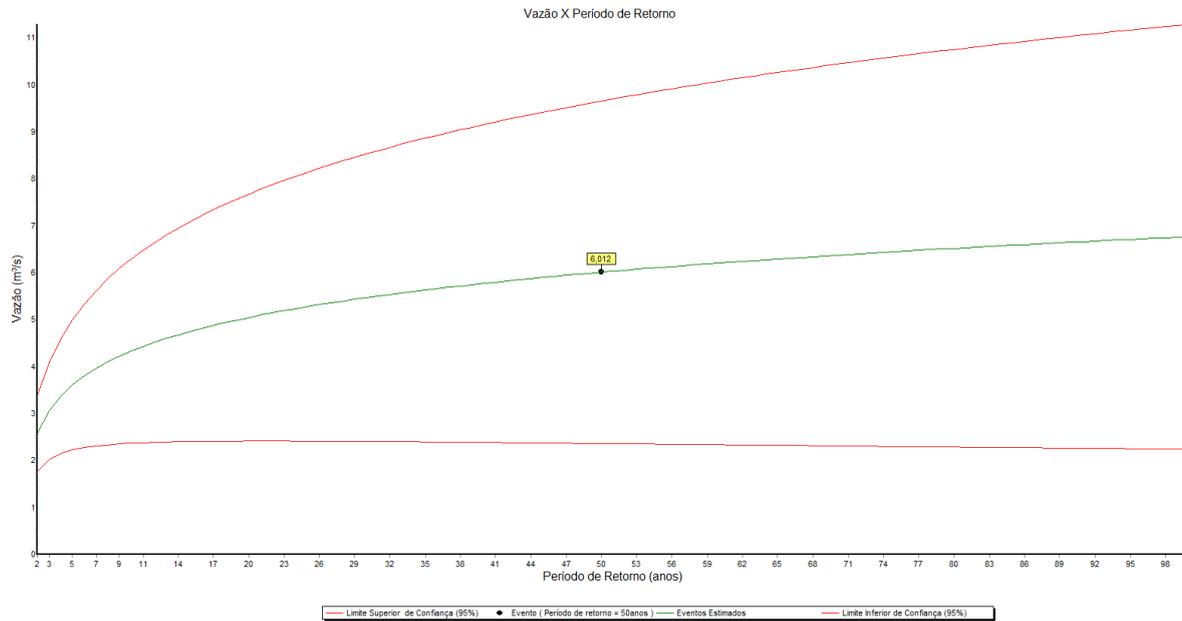
Tabela 1 – Resultados obtidos para o posto 62584600

Distribuição	Evento (m³/s)	Amplitude do Intervalo de Confiança	Erro Padrão
Gumbel	8,14	10,2148	2,61
Pearson 3	6,51	23,9094	6,10
Log Pearson 3	6,01	7,3006	1,86
Log Normal 2	6,31	8,3482	2,13
Log Nomal 3	6,19	10,0266	2,56

Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Na sequência, Figura 6, é apresentado o resultado obtido para a distribuição Log Pearson 3, escolhida devido à menor amplitude de intervalo de confiança e menor erro padrão apresentados, conforme destacado na Tabela 1.

Figura 6 – Resultado da vazão máxima através da distribuição de Log Pearson 3



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Da Figura 6, observa-se que a vazão máxima obtida por Log Pearson 3 foi de 6,012 m³/s para um período de retorno de 50 anos. A vazão específica é o quociente entre a vazão máxima obtida (em m³/s) através do método de Log Pearson 3 – considerado para o estudo – pela área de drenagem (em km²) do posto fluviométrico selecionado, conforme a Equação 1 a seguir.

$$Q_{específica} = \frac{Q_{posto}}{Ad_{posto}}$$

Equação 1 – Vazão específica

A vazão específica obtida foi de 0,50 m³/s/km². Sendo a área de drenagem da bacia do projeto de 21,86 km², e multiplicando essa pela vazão específica calculada, obtém-se a vazão de projeto de 10,95 m³/s.

2.2. MICRODRENAGEM

Os tópicos a seguir demonstram a metodologia aplicada para determinar a vazão máxima de projeto no contexto da microdrenagem, sendo essa utilizada posteriormente para o dimensionamento do sistema de drenagem (sarjetas e bocas de lobo) da Avenida Celso Gama de Paiva.

2.2.1.METODOLOGIA APLICADA

Para a determinação da precipitação máxima utilizou-se a equação que correlaciona os parâmetros intensidade, duração e frequência de chuvas. Essa relação permite ainda a obtenção de precipitações máximas para diferentes Tempos de Concentração – TC, e Períodos de Retorno – TR. Nas estimativas de vazões a partir de dados de chuva a grandeza utilizada é a Precipitação Excedente, pelo fato de esta contribuir efetivamente para a formação do escoamento superficial

As vazões de projeto podem ser estimadas através de métodos estatísticos diretos e indiretos. Estas metodologias são determinadas de acordo com as dimensões das áreas de drenagem, da seguinte forma:

- Sub-bacias com áreas de até 5 km²: utiliza-se o Método Racional;
- Sub-bacias com áreas entre 5 km² e 10 km²: utiliza-se o Método Racional Corrigido;
- Sub-bacias com área acima de 10 km²: utiliza-se o Método de Ven Te Chow.

O somatório das áreas de drenagem da Avenida Celso Gama de Paiva são inferior a 5 km², dessa forma utilizou-se o método racional.

2.2.2.MÉTODO RACIONAL

O método mais utilizado para o cálculo da vazão a partir da transformação de chuva em vazão para análise em pequenas bacias hidrográficas é o método racional, devido à simplicidade de aplicação e facilidade do conhecimento e controle dos parâmetros necessários.

Admite-se, na sua aplicação, que a chuva apresente uma intensidade constante, uniformemente distribuída sobre a superfície da bacia, e que sua duração seja maior ou igual ao tempo de concentração na bacia. Como a intensidade de chuva decresce com o aumento

da duração, a descarga máxima resulta de uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia.

Este método, descrito matematicamente pela Equação 2, representa uma relação entre a vazão máxima de escoamento superficial e a intensidade de precipitação, dependendo das seguintes variáveis para a sua determinação: tipo de solo e do uso da terra, duração e intensidade da chuva e características físicas da rede de drenagem existente.

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Equação 2 – Método Racional

Onde:

- Q: Vazão de projeto (m³/s);
- C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);
- i: Intensidade da chuva de projeto (mm/h);
- A: Área de drenagem (ha).

2.2.3. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERICIAL

Coeficiente também denominado por deflúvio superficial ou coeficiente de “runoff”. Variável determinada em função de uma série de fatores, como o tipo do solo, ocupação da bacia, umidade antecedente, intensidade da chuva e outros. Assim, devido às diversas condições e combinações dos fatores citados, apenas parte do volume precipitado sobre a bacia atinge a seção sob a forma de escoamento superficial. Portando adotou-se um coeficiente de escoamento superficial de 0,75, conforme valores indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Coeficiente de Escoamento Superficial

DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS TRIBUTÁRIAS	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO “C”
Ruas	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Gramados; solos arenosos	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
Gramados; solo compacto	
Plano, 2%	0,13 a 0,17

Médio 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

2.2.4. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E PERÍODO DE RETORNO

O tempo de concentração é considerado o período, em minutos, que uma gota de água de chuva cai no ponto mais distante da bacia, demora a chegar até a seção de análise. Devido às características das curvas de intensidade, duração e frequência da chuva, o tempo de concentração inicial mínimo adotado para as bacias é de 10 minutos.

O tempo de retorno ou período de retorno de uma chuva representa o risco que o empreendimento ou projeto está assumindo no dimensionamento de uma obra hidráulica. Ou seja, qual é o grau de segurança que se deseja proporcionar ao empreendimento, sendo que ele é o inverso da frequência com que a chuva ou vazão venha a ser igualada ou ultrapassada num ano qualquer.

Para escolher qual o tempo de retorno que irá utilizar no dimensionamento do projeto hidráulico é importante analisar os prejuízos tangíveis e intangíveis que possam a vir a ser causados por eventos extremos de chuva. Portanto, para o empreendimento em questão foi adotado o período de retorno (TR) igual a 10 anos.

2.2.5. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

As equações de intensidade, duração e frequência ou simplesmente as equações IDF, também conhecidas como equação de chuva, são usadas para determinar a intensidade máxima de chuva de um determinado local.

Para cada região, os parâmetros K, a, b e c da equação de intensidade, duração e frequência (Equação 3) são ajustados por meio de regressão linear e não linear. Estes parâmetros (K, a, b e c) são definidos por uma série histórica de dados de chuvas, de mais ou menos 30 anos. Além disso, alterando a frequência e o tempo de concentração é possível obter uma intensidade diferente de chuva para uma mesma região.

$$Im = \frac{K \cdot (TR)^a}{(tc + b)^c}$$

Equação 3 – Equação de Chuva Intensa

Onde:

- Im: Intensidade máxima média de precipitação (mm/h);
- TR: Tempo de Retorno (anos);

- Tc: Tempo de concentração (min);
- K, a, b e c: Parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade.

A intensidade máxima média de precipitação usando a equação de Pouso Alegre - MG está apresentada abaixo gerada pela interpolação de dados do software Plúvio 2.1. Assim, Intensidade máxima média de precipitação obteve-se a seguinte:

- K: 667,338
- a: 0,184
- b: 20,869
- c: 0,635

$$I_m = \frac{667,338 \cdot (10)^{0,184}}{(10 + 20,869)^{0,635}} = 115,478 \text{ mm/h}$$

3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Nesse tópico, será descrito as metodologias e resultados obtidos para o dimensionamento hidráulico das estruturas de drenagem na área de estudo.

3.1. MACRODRENAGEM

Os tópicos a seguir demonstram a metodologia aplicada para o dimensionamento da canalização do Ribeirão das Mortes.

3.1.1. DIMENSIONAMENTO DO CANAL

Para a canalização de curso d'água em análise, foi adotado canal de formato trapezoidal e de seção aberta, sendo suas paredes revestidas com gabião e seu leito revestido com colchão reno.

O equacionamento que será apresentado a seguir refere-se a escoamentos em regime permanente e uniforme, válido quando as características hidráulicas altura (h), vazão (Q) e velocidade (V) são constantes no tempo (regime permanente) e ao longo do percurso (regime uniforme), com o escoamento ocorrendo em seção aberta (parte do perímetro molhado mantém-se em contato com a atmosfera).

3.1.2. EQUAÇÃO DE MANNING

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i}$$

Equação 4 – Equação de Manning.

Onde:

- V é a velocidade média (m/s);
- n é o coeficiente de rugosidade de *Manning*;
- i é a declividade média longitudinal (m/m);
- R_H é o raio hidráulico (m).

O raio hidráulico, definido pelo quociente da área molhada pelo perímetro molhado da seção do escoamento.

$$R_H = \frac{A_m}{P_m}$$

Equação 5 – Raio Hidráulico.

Com:

- R_H é o raio hidráulico (m);
- A_m é a área molhada (m^2);
- P_m é o perímetro molhado (m).

A declividade média do trecho do canal em análise é o quociente entre o desnível do fundo do canal (diferença de cotas entre montante e jusante Δh , em metro) e o seu comprimento (L) em metro.

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Equação 6 – Declividade

3.1.3.EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

$$Q = V \cdot A_m$$

Equação 7 – Continuidade

Onde:

- V é a velocidade média (m/s);
- A_m é a área molhada (m^2);
- Q é a vazão (m^3/s).

Substituindo a Equação 4 na 7, obtém-se:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i} \cdot A_m$$

Equação 8 – Vazão

A partir da Equação 8, é possível obter a vazão do canal em função do coeficiente de rugosidade de *Manning*, do raio hidráulico, da declividade média e da área molhada.

3.1.4.RUGOSIDADE

Para a determinação do coeficiente de rugosidade de *Manning* foi consultada tabela disponibilizada pelo *software* de dimensionamento de canais *MACRA Studio* que indica o valor de $n = 0,0300$ para gabião e $n = 0,0277$ para colchão reno.

Por se tratar de canal com diferentes materiais de revestimento, faz-se necessário o cálculo de coeficiente de rugosidade equivalente, dado pela Equação 9.

$$n_{eq} = \frac{P_a \cdot n_a + P_b \cdot n_b + \dots + P_n \cdot n_n}{P}$$

Equação 9 – Rugosidade equivalente

3.1.5.VELOCIDADE MÁXIMA

Como parâmetro de velocidade máxima, foi consultada a Tabela 4 de Hidráulica de Canais, Travessias e Barramentos do DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo. Para o canal em estudo, revestido em gabião, o DAEE sugere o valor $V_{máx} = 2,5 \text{ m/s}$.

3.1.6.BORDA LIVRE

Em canais de seção aberta deve-se manter uma borda livre mínima de 10% da lâmina d'água estimada para a cheia de projeto, com limite inferior de $f \geq 0,4 \text{ m}$.

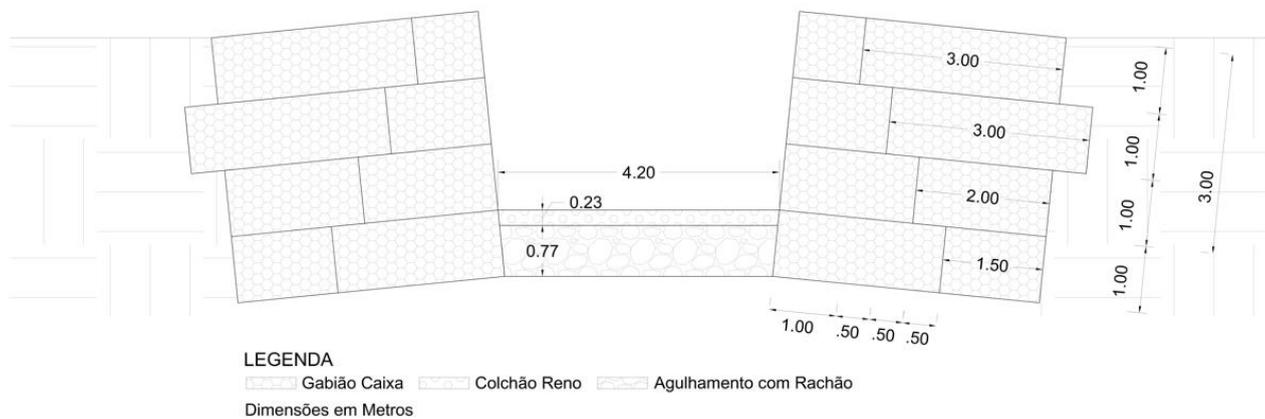
3.1.7.DIMENSIONAMENTO DOS TRECHOS DO CANAL

A canalização em gabião do Ribeirão das Mortes apresenta trechos com declividade de fundo variável, além disso também é realizada mudança de seção geométrica em um dos trechos da canalização. No total, a canalização pode ser descrita por 4 trechos, conforme discutido abaixo.

Para os trechos 1, 2 e 3 a seção adotada será trapezoidal, com base em colchão reno com 4,20 m de largura e 0,23 m de espessura. As paredes em gabião caixa possuem inclinação de 6° e altura de 3,00 m. A cada 20,00 m de canalização será adicionado um contraforte a seção do gabião.

A Figura 7 representa a seção típica do canal.

Figura 7 – Seção do canal em Gabião

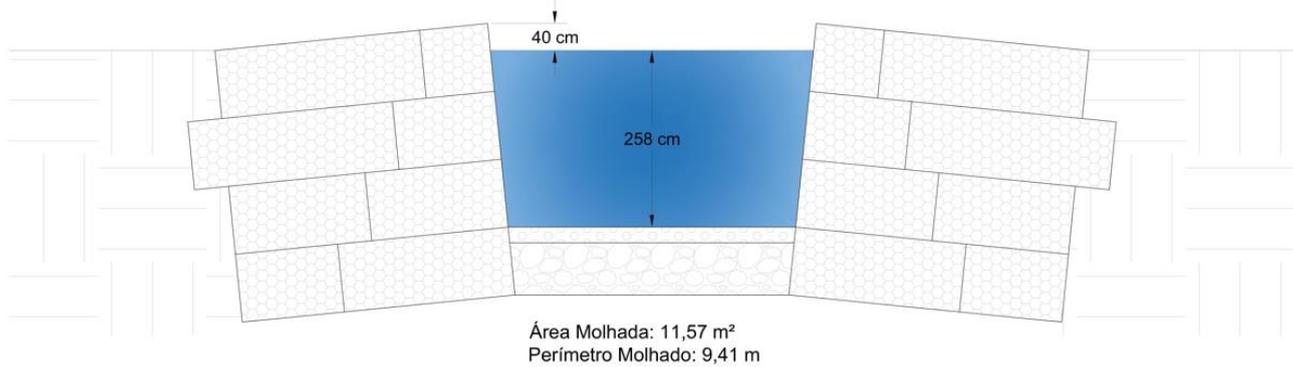


Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Com as dimensões do canal definidas, é possível calcular a vazão máxima suportada pela calha por meio da Equação 8. Além disso, a borda livre adotada é de 0,4 m. Antes de proceder ao cálculo da vazão propriamente dita, faz-se necessário calcular o raio hidráulico.

A Figura 8 demonstra a seção do canal com os parâmetros de borda livre, perímetro molhado e área molhada.

Figura 8 – Seção com perímetro molhado e área molhada



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

A saber, o perímetro molhado máximo é de 9,41 m e a área molhada máxima é de 11,57 m².

Com isto, determina-se o raio hidráulico e o coeficiente de rugosidade equivalente.

$$R_H = \frac{11,57}{9,41} \rightarrow R_H = 1,23 \text{ m}$$

$$n_{equivalente} = \frac{4,00 \cdot 0,0277 + 2 \cdot 2,605 \cdot 0,0300}{9,41} \rightarrow n_{equivalente} = 0,029$$

Desta forma, é possível determinar a vazão máxima da seção em análise, com base nas declividades longitudinais de cada trecho.

Para o trecho 1, tem-se:

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{1}{0,029} \cdot 1,23^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,0044} \cdot 11,57$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 30,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para o trecho 2, tem-se:

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{1}{0,029} \cdot 1,23^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,0080} \cdot 11,57$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 41,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para o trecho 3, tem-se:

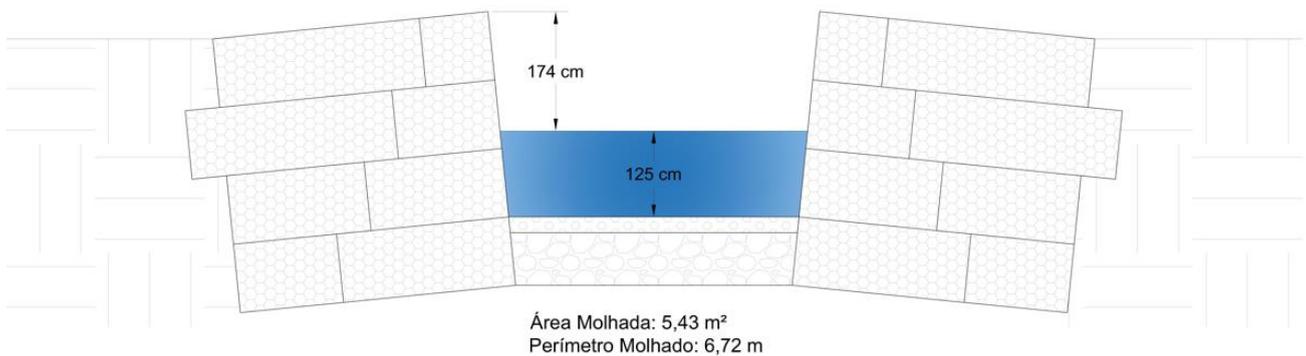
$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{1}{0,029} \cdot 1,23^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,0042} \cdot 11,57$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 29,72 \text{ m}^3/\text{s}$$

No item 2.1.4 foi calculada a vazão de projeto, com o valor de $Q_{projeto} = 10,95 \text{ m}^3/\text{s}$. Desta forma, esta vazão não excede a vazão máxima suportada pelo canal projetado.

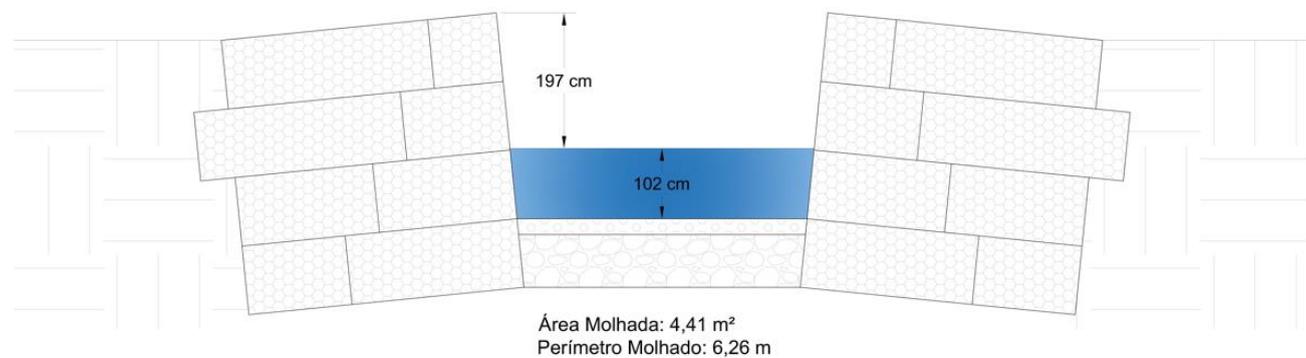
Com estes valores, é possível determinar a linha d'água de projeto. Como a determinação desta altura de lâmina d'água de projeto exige processos iterativos, recorreu-se ao *software MACRA Studio*, desenvolvido para o dimensionamento de canais. Com isso, as Figura 9 a Figura 11 demonstram os resultados obtidos de altura da lâmina d'água de projeto.

Figura 9 - Altura de lâmina d'água para o trecho 1



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Figura 10 - Altura de lâmina d'água para o trecho 2



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Figura 11 – Altura de lâmina d'água para o trecho 3

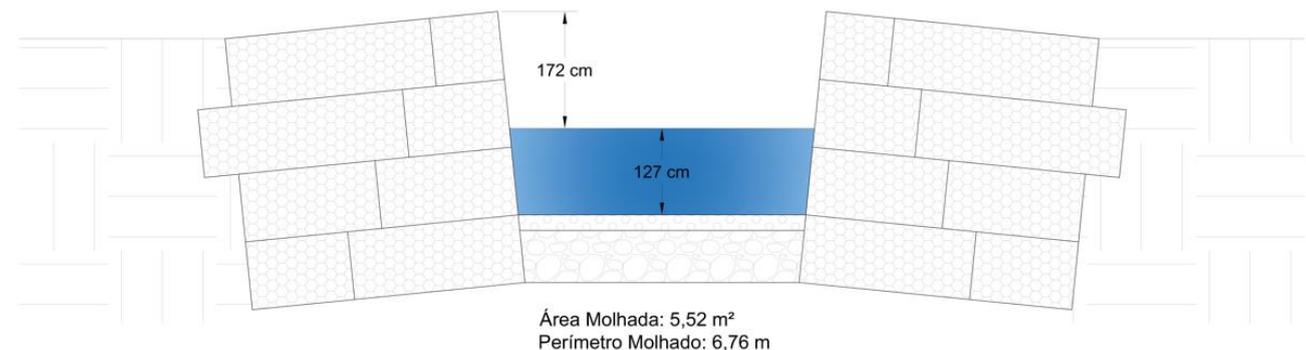
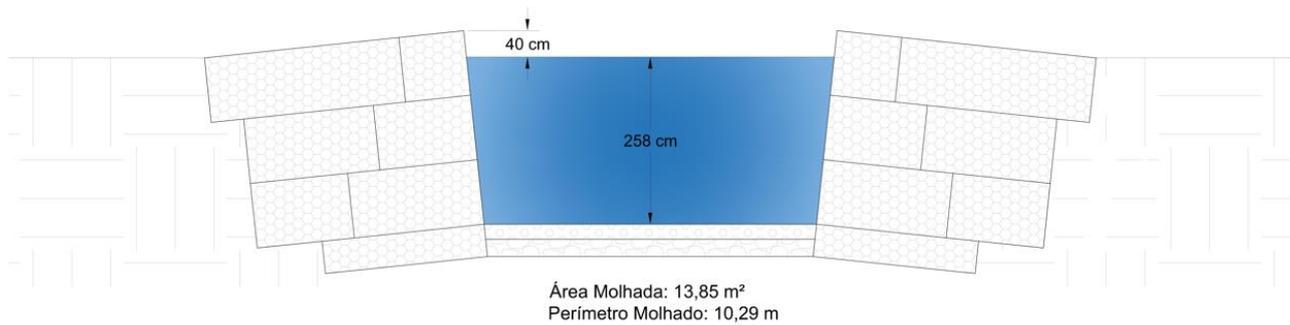


Figura 13 – Seção com perímetro molhado e área molhada



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

A saber, o perímetro molhado máximo é de 10,29 m e a área molhada máxima é de 13,85 m².

Com isto, determina-se o raio hidráulico e o coeficiente de rugosidade equivalente.

$$R_H = \frac{13,85}{10,29} \rightarrow R_H = 1,35 \text{ m}$$

$$n_{equivalente} = \frac{5,00 \cdot 0,0277 + 2 \cdot 2,595 \cdot 0,0300}{10,29} \rightarrow n_{equivalente} = 0,0289$$

Desta forma, é possível determinar a vazão máxima da seção em análise, com base na declividade longitudinal adotada de 0,42%.

Para o trecho 4, tem-se:

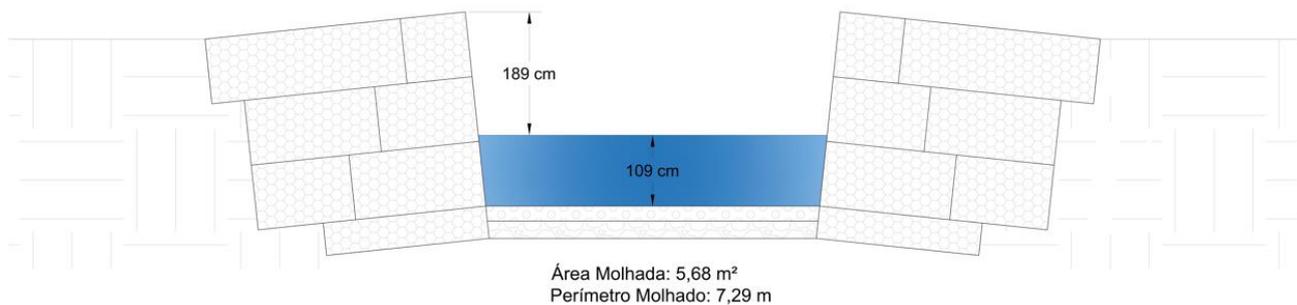
$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{1}{0,0289} \cdot 1,35^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,0042} \cdot 13,85$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 37,91 \text{ m}^3/\text{s}$$

No item 2.1.4 foi calculada a vazão de projeto da canalização, com o valor de $Q_{projeto} = 10,95 \text{ m}^3/\text{s}$. Desta forma, esta vazão não excede a vazão máxima suportada pelo canal projetado.

Com estes valores, é possível determinar a linha d'água de projeto. Como a determinação desta altura de lâmina d'água de projeto exige processos iterativos, recorreu-se ao *software MACRA Studio*, desenvolvido para o dimensionamento de canais. Com isso, Figura 14 a demonstra os resultados obtidos de altura da lâmina d'água de projeto.

Figura 14 - Altura de lâmina d'água para o trecho 4



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Desta forma, para a vazão de cheia de 10,95 m³/s, foi obtida uma lâmina d'água de 1,09 m, borda livre de 1,89 m e velocidade de 1,93 m/s.

Com estas informações é possível confirmar que o canal dimensionado suporta a vazão de cheia calculada.

3.2. MICRODRENAGEM

Os tópicos a seguir demonstram a metodologia aplicada para o dimensionamento do sistema de drenagem da Avenida Celso Gama de Paiva. O projeto de drenagem tem como objetivo definir os dispositivos de coleta, condução e deságue das águas superficiais que precipitam sobre o terreno, bem como sobre os taludes e áreas que convergem ao mesmo.

Para o presente projeto, o sistema de drenagem será composto apenas por sarjetas e bocas de lobo, onde o descarte

3.2.1. SARJETAS

Para assegurar o bom funcionamento do escoamento superficial, as guias e sarjetas das vias públicas serão limitadas por uma lâmina d'água de largura máxima de 1,67 metros e a sarjeta adotada para a verificação hidrológica e hidráulica será do tipo B, conforme Figura 15.

Figura 16 – Características Hidráulicas da Sarjeta.

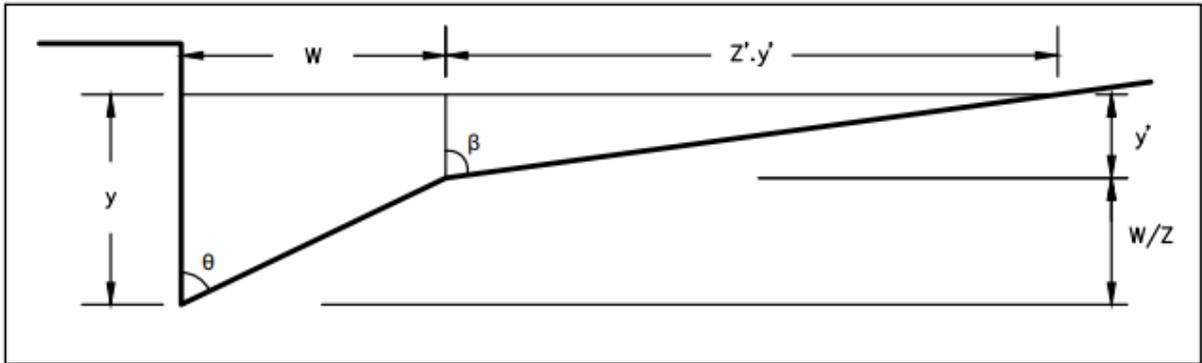
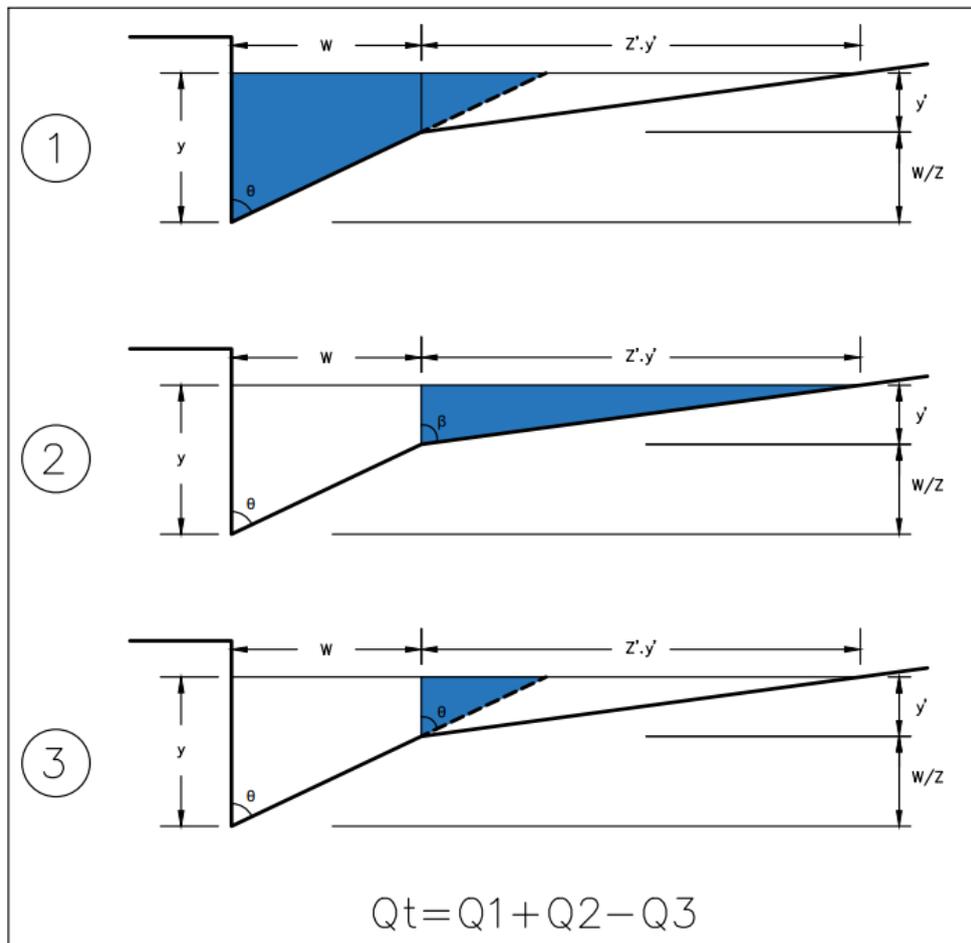


Figura 17 – Detalhes Hidráulicos da Sarjeta.



A verificação da capacidade de escoamento da sarjeta foi realizada calculando a área máxima de escoamento que a sarjeta suporta, considerando-se uma faixa de alagamento máxima de 1,67 metros.

3.2.2.BOCAS DE LOBO

As bocas de lobo foram dimensionadas de forma a captar a água proveniente das sarjetas. Para este projeto serão prevista oito bocas de lobo simples.

3.2.3.DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE DRENAGEM

O dimensionamento hidráulico é realizado junto à verificação das vias considerando simultaneamente os tópicos a seguir. Este é mostrado na tabela do Anexo I.

3.2.4.POSICIONAMENTO

As bocas de lobo deverão ser previstas sempre que houver pelo menos uma das seguintes situações:

- Vazão contribuinte maior do que a capacidade de escoamento das vias;
- Velocidade de escoamento nas vias maior que 5,00 m/s;
- Existência de pontos baixos.

3.2.5.DIÂMETRO MÍNIMO

Foi adotado como parâmetro de projeto o diâmetro mínimo de 0,50 m para os ramais de ligação entre as bocas de lobo e descarte no gabião.

3.2.6.CÁLCULO DA VAZÃO DE CONTRIBUIÇÃO

Na mesma etapa do projeto, para o dimensionamento hidráulico do sistema de drenagem, verifica-se a vazão para cada trecho entre bocas de lobo.

3.2.7.VELOCIDADE DE ESCOAMENTO

A velocidade do escoamento é um parâmetro fundamental na definição da galeria a ser projetada ou verificada hidráulicamente. Se, em função da declividade do conduto e de suas dimensões o fluxo na galeria apresentar velocidades baixas, poderá ocorrer assoreamento ao longo de sua extensão. Porém, se a declividade for acentuada e a velocidade ultrapassar o limite máximo recomendado é necessário à adequação da declividade ou o redimensionamento do conduto, de forma a evitar a ocorrência de fenômenos erosivos no interior da galeria, mantendo o tempo de vida útil de seus dispositivos.

Assim, os limites de velocidade d'água no interior das galerias serão os seguintes:

- $V_{min.} = 0,75$ (m/s);
- $V_{máx.} = 6,00$ (m/s) (ou velocidade de seção plena).

A velocidade pode ser calculada por meio da Equação 11.

$$v = \frac{R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I}}{n}$$

Equação 11 – Velocidade

Onde:

- v: Velocidade (m/s);
- I: Declividade do conduto (m/m);
- Rh: Raio hidráulico (m);
- N: Coeficiente de rugosidade (adimensional).

O raio hidráulico (Rh) é obtido por meio da Equação 12:

$$R_h = \frac{A_m}{R_m}$$

Equação 12 – Raio Hidráulico

Em que:

- A_m – Área da seção molhada (m²);
- P_m – Perímetro molhado (m).

O coeficiente de rugosidade é adotado conforme o material empregado no dispositivo, como determinado na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores do Coeficiente de Rugosidade para diferentes Materiais de Revestimento

Material	Coeficiente (n)
Tubos em PEAD	0,010
Galerias ou bueiros em concreto	0,014
Canais trapezoidais ou retangulares:	
Em concreto	0,013
Alvenaria de Pedra Argamassada	0,025
Em gabiões	0,029
Em gabiões revestidos com concreto magro	0,018
Sem revestimento	0,030
Asfalto	0,013
Em concreto irregular	0,033
Revestido com grama em placas	0,030
Revestido com enrocamento bem construído	0,030
Concreto para sarjeta	0,015

3.2.8. CAPACIDADE MÁXIMA DA GALERIA

Para a obtenção do valor máximo suportado pela via e para o dimensionamento dos ramais de ligação é empregada a equação da continuidade. Assim, a vazão máxima à seção plena nos condutos é obtida pela a seguir.

$$Q = v \cdot S$$

Equação 13 – Vazão

Em que:

- Q: Vazão (m³/s);
- V: Velocidade da seção plena - Velocidade de escoamento (m/s);
- S: Área da seção (m²).

Portanto, como critério de dimensionamento, a capacidade máxima dos condutos deve ser superior à vazão que se deseja transportar.

3.2.9.DESCARTE

Para o presente projeto, foram projetados 8 descartes a serem realizados na canalização em gabião. A Tabela 4 apresenta as coordenadas dos descartes projetados.

Tabela 4 – Coordenadas dos Descartes Projetados

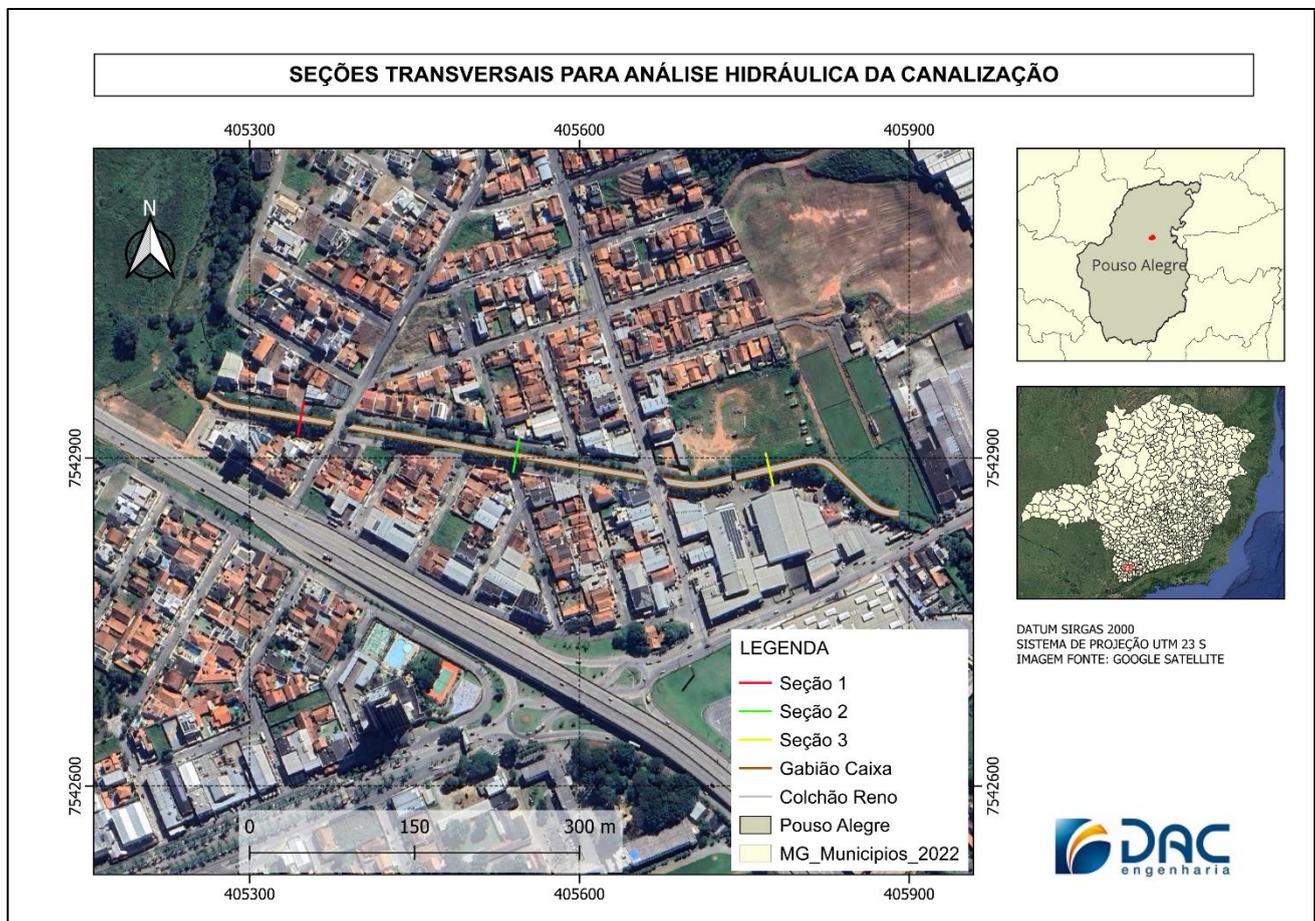
Descarte	Norte(m)	Leste(m)
1	7542929,9398	405371,5717
2	7542934,2739	405372,3306
3	7542903,7919	405521,3882
4	7542908,2288	405522,1562
5	7542880,0421	405657,7276
6	7542885,1247	405654,7592
7	7542875,2387	405682,6720
8	7542881,4960	405678,2209

4. ESTUDO DE IMPACTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

A canalização do curso d'água promove algumas modificações em suas características hidrológicas e hidráulicas, dessa forma surge a necessidade de avaliar os efeitos que o empreendimento causará, analisando os parâmetros do trecho antes e depois da intervenção.

Para realizar essa análise, considerou-se a topografia do Ribeirão das Mortes antes e após a intervenção, coletando pontos com dados de cotas e profundidades por seção transversal do leito natural. Para essa análise foram consideradas 3 seções, conforme apresentado pela Figura 18.

Figura 18 - Localização das seções analisadas no estudo



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Após definir as geometrias das seções analisadas, suas declividades e coeficiente de rugosidade, foram realizadas simulações para encontrar as alturas de água considerando a vazão de projeto para o tempo de retorno de 50 anos, definida como 10,95 m³/s. Os dados de entrada e os resultados obtidos são visualizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados de entrada e resultado dos parâmetros das seções do leito natural

VARIÁVEL	SEÇÕES TRANSVERSAIS NATURAIS		
	Seção 1	Seção 2	Seção 3
Vazão(m ³ /s)	10,95	10,95	10,95
Declividade(m/m)	0,0025	0,003	0,004
Rugosidade de Manning	0,06	0,06	0,06
Área Molhada(m ²)	12,2250	11,29	9,675
Perímetro Molhado(m)	10,971	10,311	8,696
Raio Hidráulico(m)	1,114	1,095	1,113
Velocidade(m/s)	0,896	0,97	1,132
Lâmina D'água(m)	2,23	2,28	2,02

Fonte: DAC Engenharia, 2024.

De forma a comparar os resultados obtidos antes e depois da intervenção, foi feita a Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Parâmetros obtidos para antes e depois da intervenção

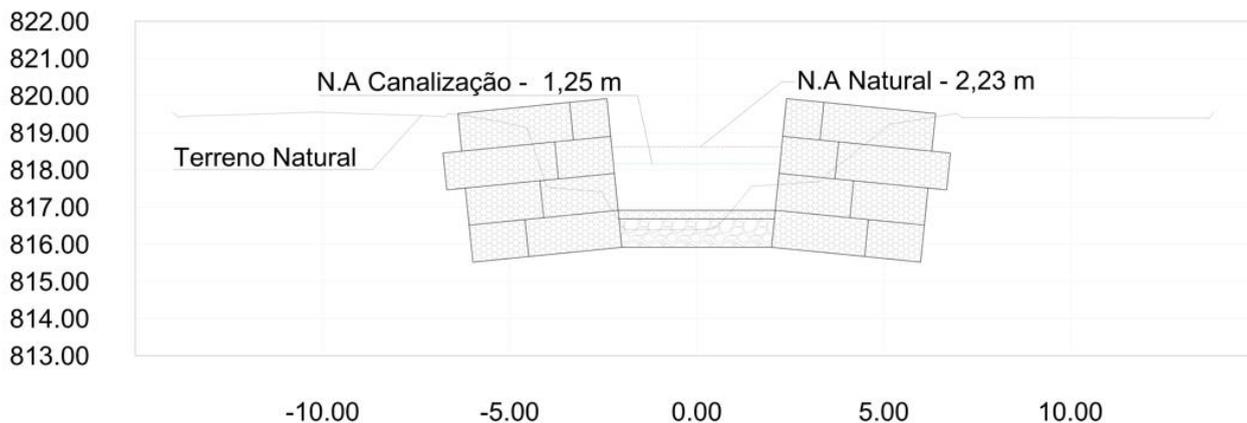
VARIÁVEL	SEÇÕES TRANSVERSAIS - CANALIZAÇÃO		
	Seção 1	Seção 2	Seção 3
Vazão(m ³ /s)	10,95	10,95	10,95
Declividade(m/m)	0,0044	0,0042	0,0042
Rugosidade de Manning	0,0286	0,0286	0,0284
Área Molhada(m ²)	5,43	5,52	5,68
Perímetro Molhado(m)	6,72	6,66	7,29
Raio Hidráulico(m)	0,81	0,82	0,78
Velocidade(m/s)	2,01	1,98	1,93
Lâmina D'água(m)	1,25	1,27	1,09

Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Como é possível observar na Tabela 6, a velocidade nas seções aumentou após a canalização em relação as seções naturais. O aumento de velocidade nas seções é provocado pela mudança de rugosidade nas mesmas, ou seja, o revestimento das seções com gabião diminui a rugosidade da seção, conseqüentemente ocorre o aumento da velocidade.

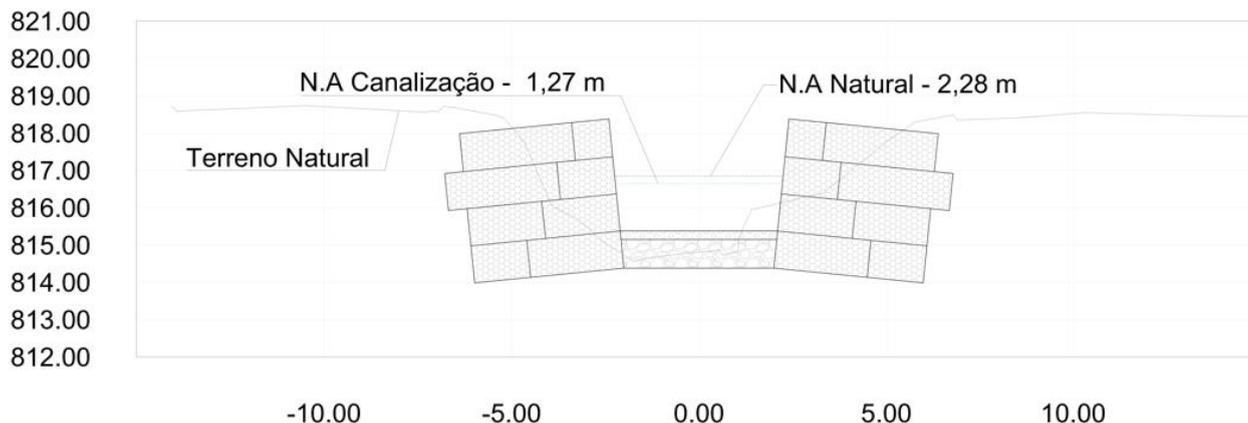
Em geral, se for mantida a vazão constante em uma seção transversal e provocado uma redução da rugosidade da seção, tem-se o aumento da velocidade na seção, contudo a redução na velocidade implica na redução da área molhada da seção e conseqüentemente de sua profundidade. Também foram feitos perfis das seções transversais analisadas, podendo ser observadas nas Figura 19 a Figura 21 a seguir.

Figura 19 - Seção transversal da primeira seção analisada



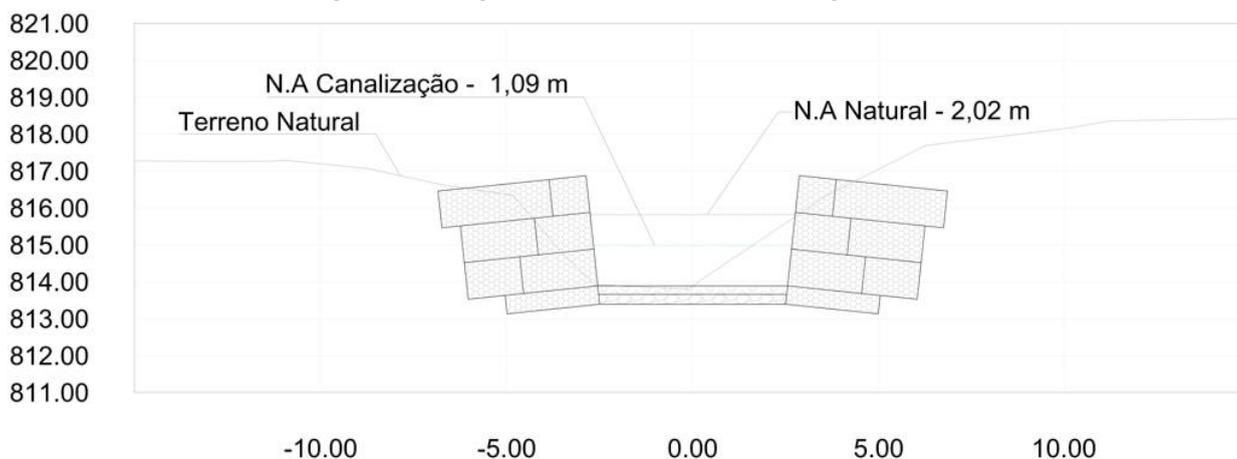
Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Figura 20 - Seção transversal da segunda seção analisada



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Figura 21 - Seção transversal da terceira seção analisada



Fonte: DAC Engenharia, 2024.

Como pode ser observado ao longo dos perfis transversais das seções analisadas, a canalização promove a redução do nível d'água no Ribeirão das Mortes, portanto garantindo proteção à população local em relação aos eventos de inundações.

Além de reduzir o nível d'água no ribeirão, a canalização também soluciona os problemas de erosão observados no trecho de intervenção, garantido estabilidade nas margens e conseqüentemente protegendo a infraestrutura existente na Avenida Celso Gama de Paiva.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A empresa projetista não se responsabilizará por eventuais alterações deste projeto durante sua execução. As definições dos dispositivos hidráulicos aplicados no projeto não devem ser, em hipótese alguma, extrapolados sem prévia consulta e autorização do projetista. Recomendamos que sejam utilizados produtos de qualidade e confiabilidade comprovadas. Desta forma, garante-se que as estruturas hidráulicas suportem a vazão de cheia para as quais foram projetadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Universidade Federal de Minas Gerais. *SisCCoH 1.1*. Disponível em: <<https://www.ehr.ufmg.br/downloads/>>. Acessado em: 23 de fevereiro de 2023.

SANTOS, L. C. C. Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos. 2010. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana. p. 60. dezembro de 2010.

SÃO PAULO (ESTADO). DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS. Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo. São Paulo: DAEE/CTH, 1999. 141p.

PORTO, R.M. Hidráulica básica. 2. ed. São Carlos: EESC-USP, 1999.

TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, ABRH, 2009. 943 p

ANEXO I – PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

PROJETO DE GALERIA DE ÁGUAS PLUVIAIS															
DRENAGEM E ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES DO CANAL DA AVENIDA CELSO GAMA DE PAIVA															
coef. de esc. superf. :		0,75		tc inicial =		10 min									
coef. de manning Concr./PEAD:		0,014 0,010		TR =		10 anos									
Mont.	Trecho	Jus.	Ext. (m)	Área de Contribuição (ha)		Δtc (min)	tc (min)	Intens. (mm/h)	Vazão (m³/s)	Seção (m)	Material	Decliv. (m/m)	Capac. Máxima seção pl. (m³/s)	V/proj (m/s)	y/D
				Parc.	Acum.										
1	-	DESCARTE-1	5,03	0,045	0,0449	0,06	10,00	115,478	0,011	0,50	Concreto	0,0467	0,758	1,34	0,08
2	-	DESCARTE-2	4,66	0,044	0,0442	0,06	10,00	115,478	0,011	0,50	Concreto	0,0481	0,769	1,36	0,08
3	-	DESCARTE-3	4,62	0,055	0,0547	0,05	10,00	115,478	0,013	0,50	Concreto	0,0448	0,742	1,42	0,09
4	-	DESCARTE-4	4,58	0,055	0,0552	0,05	10,00	115,478	0,013	0,50	Concreto	0,0431	0,728	1,39	0,09
5	-	DESCARTE-5	4,52	0,055	0,0554	0,05	10,00	115,478	0,013	0,50	Concreto	0,0486	0,773	1,48	0,09
6	-	DESCARTE-6	4,78	0,063	0,0626	0,05	10,00	115,478	0,015	0,50	Concreto	0,0473	0,763	1,46	0,09
7	-	DESCARTE-7	4,04	0,015	0,0148	0,08	10,00	115,478	0,004	0,50	Concreto	0,0480	0,768	0,87	0,04
8	-	DESCARTE-8	5,88	0,015	0,0154	0,10	10,00	115,478	0,004	0,50	Concreto	0,0437	0,733	0,96	0,05