



VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE HIDRÁULICA
PROJETO DE DRENAGEM E ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES
DO CANAL DA AVENIDA CÉLSO GAMA DE PAIVA

JULHO DE 2023

REFERÊNCIAS CADASTRAIS

Cliente	Prefeitura Municipal de Pouso Alegre
Localização	Pouso Alegre, Minas Gerais
Título	Projeto de Drenagem e Estabilização de Taludes do Canal da Avenida Célso Gama de Paiva
Contato	Augusto Hart
E-mail	obras@pousoalegre.mg.gov.br
Coordenador	Denis de Souza Silva
Data do documento	21/07/2023

Responsável Técnico – Projetos

Flávia Cristina Barbosa	
Nº CREA: MG-187.842/D	Engenheira Civil

Coordenação

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

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.

Este documento foi preparado pela Dac Engenharia com observância das normas técnicas de Pouso Alegre e em estrita obediência aos termos do pedido e contrato firmado com o cliente. Em razão disto, a Dac Engenharia isenta-se de qualquer responsabilidade civil e criminal perante o cliente ou terceiros pela utilização deste documento, ainda que parcialmente, fora do escopo para o qual foi preparado.

SUMÁRIO

1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS	1
1.2. ÁREA DE DRENAGEM.....	1
1.3. METODOLOGIA APLICADA.....	3
1.3.1. CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES	5
1.3.2. VAZÕES EXTREMAS	6
2. DIMENSIONAMENTO DO CANAL EM GABIÃO	7
2.1. Equação de <i>Manning</i>	8
2.2. Equação da Continuidade	9
2.3. Rugosidade	9
2.4. Velocidade Máxima	9
2.5. Borda Livre	10
2.6. Dimensionamento do Canal	10
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Bacia de Estudo.....	2
Figura 2 – Localização da bacia do projeto	3
Figura 3 - Hidrógrafa do posto fluviométrico 62584600	5
Figura 4 – Curva de permanência para o 62584600	6
Figura 5 – Resultado da vazão máxima através da distribuição de Log Pearson 3	7
Figura 6 – Seção do canal.....	10
Figura 7 – Seção com perímetro molhado e área molhada.....	11
Figura 8 - Altura de lâmina d'água.....	12
Figura 9 – Curva nível d'água por vazão	13

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Vazão específica	7
Equação 2 – Equação de Manning.....	8
Equação 3 – Raio Hidráulico.	8
Equação 4 – Declividade	8
Equação 5 – Continuidade	9
Equação 6 – Vazão	9
Equação 7 – Rugosidade equivalente	9

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados obtidos para o posto 62584600	6
---	---

1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

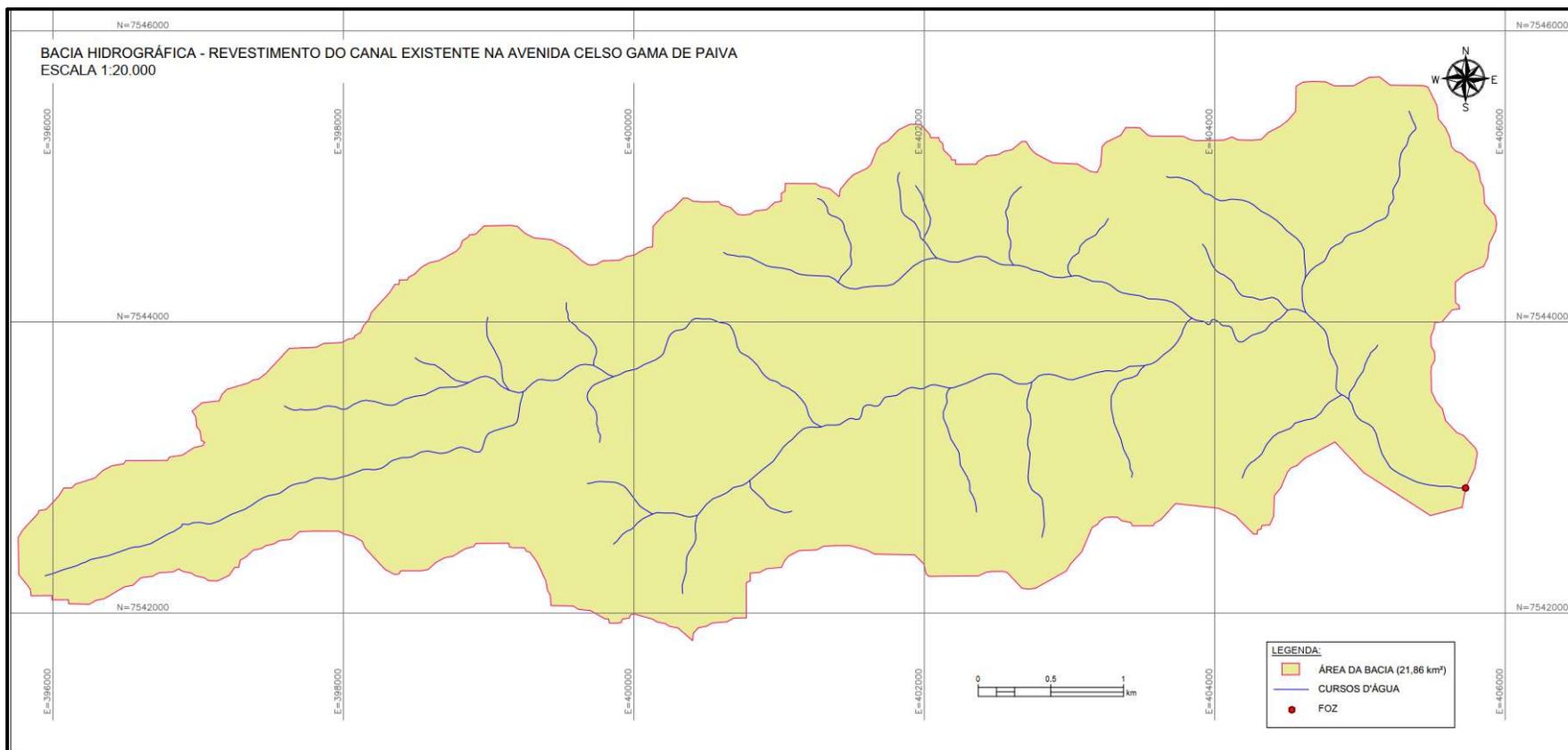
Os estudos hidrológicos irão determinar as descargas máximas nas áreas em estudo, a fim de dar base ao dimensionamento das estruturas hidráulicas do projeto

1.2. 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 1 apresenta a bacia hidrológica de estudo.

Figura 1 – Localização da Bacia de Estudo.



1.3. METODOLOGIA APLICADA

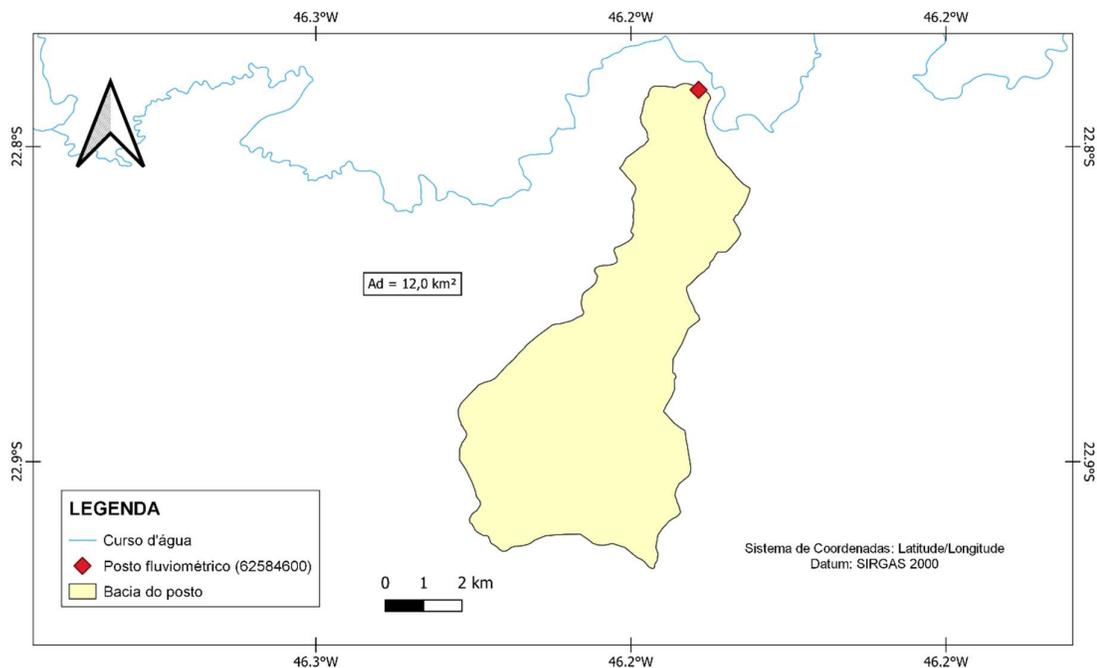
Para o cálculo das vazões máximas, utilizou-se análise estatística. Foram pesquisados os postos fluviométricos com correlação entre áreas de 0,25 a 4 vezes, em relação à bacia do projeto, na plataforma Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA), e depois os dados modelados por meio do software SisCAH (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 2 mostra a bacia, com a localização do posto fluviométrico.

Figura 2 – Localização da bacia do projeto

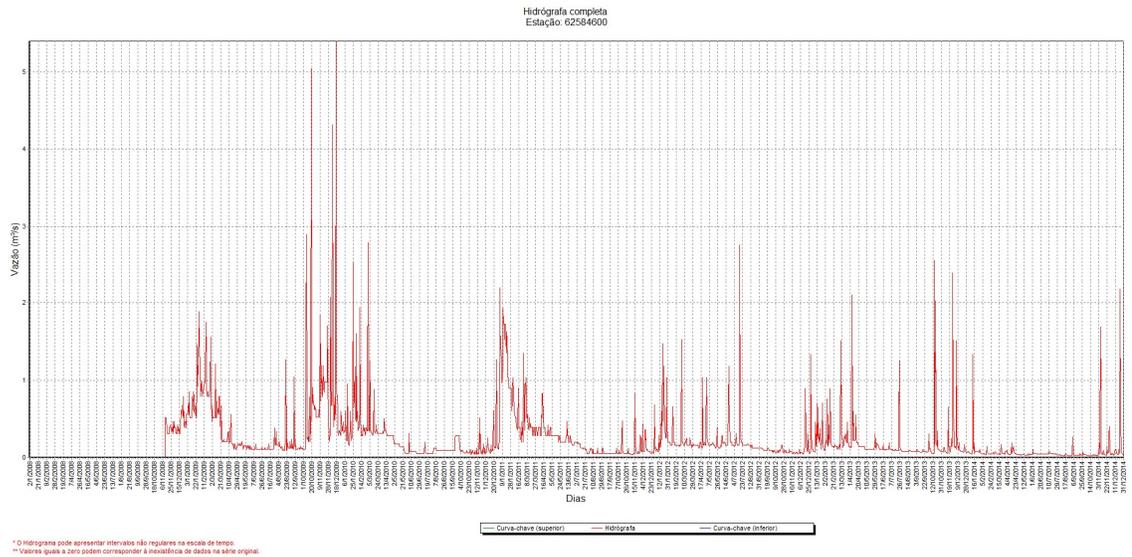
BACIA DO POSTO FOZ RIBEIRÃO DAS POSSES (62584600)



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 3, está representada a hidrógrafa para o posto selecionado.

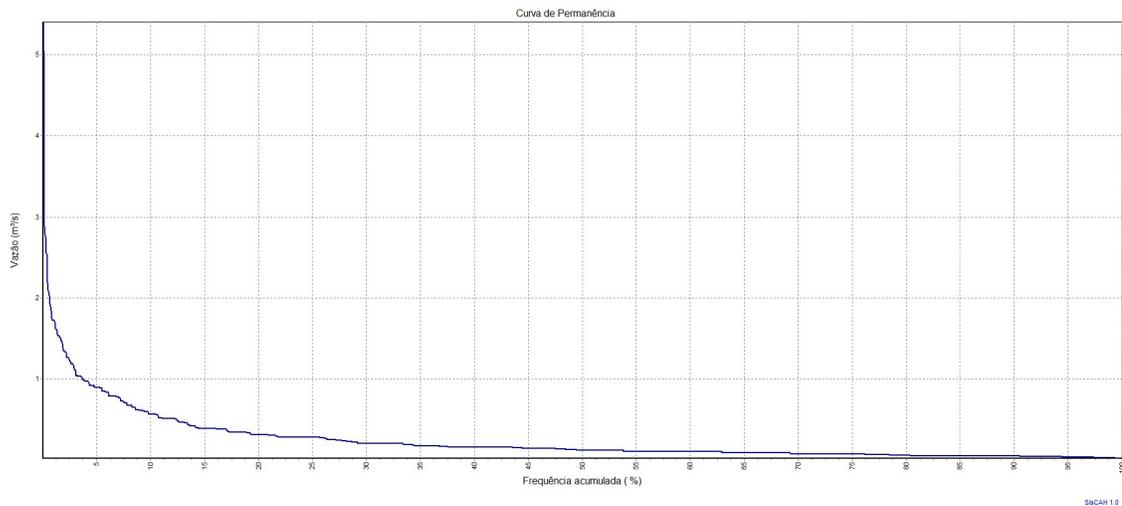
Figura 3 - Hidrógrafa do posto fluviométrico 62584600



1.3.1. 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, é apresentada a curva de permanência para o posto 62584600 (Figura 4).

Figura 4 – Curva de permanência para o 62584600



1.3.2. VAZÕES EXTREMAS

A vazão máxima foi calculada através de 5 métodos diferentes, considerando os dados do posto fluviométrico selecionado para o projeto da bacia Andorinhas: 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.

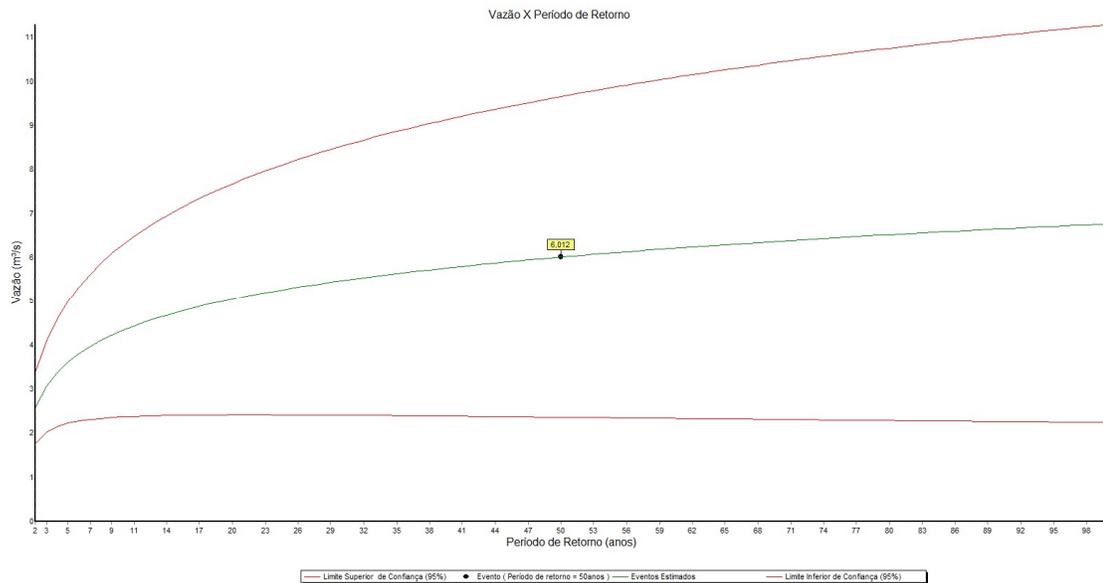
A Tabela 1 a seguir apresenta os resultados para a vazão máxima (evento), a amplitude do intervalo e o erro padrão para cada método.

Tabela 1 – Resultados obtidos para o posto 62584600

Distribuição	Evento (m ³ /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 Normal 3	6,19	10,0266	2,56

Na sequência Figura 5, 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 em verde na Tabela 1.

Figura 5 – Resultado da vazão máxima através da distribuição de Log Pearson 3



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.

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

Equação 1 – Vazão específica

A vazão específica obtida foi de 0,50 l/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. DIMENSIONAMENTO DO CANAL EM GABIÃO

Foi adotada a seção mais crítica ao longo do talvegue natural, para análise do comportamento do canal com o revestimento projetado (taludes com pedra argamassada, e leito em cascalho).

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).

2.1. Equação de Manning

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

Equação 2 – 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 3 – Raio Hidráulico.

Com:

- R_H é o raio hidráulico (m);
- A_m é a área molhada (m²);
- 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 4 – Declividade

2.2. Equação da Continuidade

$$Q = V \cdot A_m$$

Equação 5 – Continuidade

Onde:

- V é a velocidade média (m/s);
- A_m é a área molhada (m²);
- Q é a vazão (m³/s).

Substituindo a Equação 2 na 5, obtém-se:

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

Equação 6 – Vazão

A partir da Equação 6, 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.

2.3. 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 $n = 0,0400$ para Riprap e $n = 0,0250$ para cascalho grosso.

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

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

Equação 7 – Rugosidade equivalente

2.4. 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 com pedra argamassada, o DAEE sugere o valor $V_{m\acute{a}x} = 3,0 \text{ m/s}$.

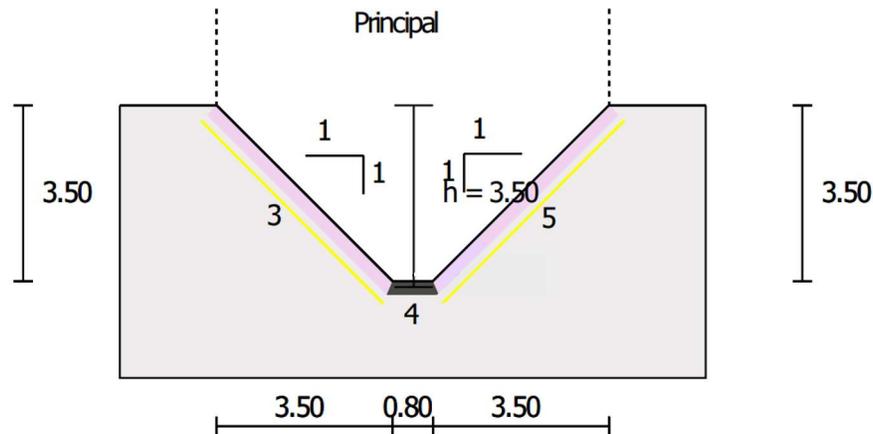
2.5. Borda Livre

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 $f \geq 0,4 \text{ m}$.

2.6. Dimensionamento do Canal

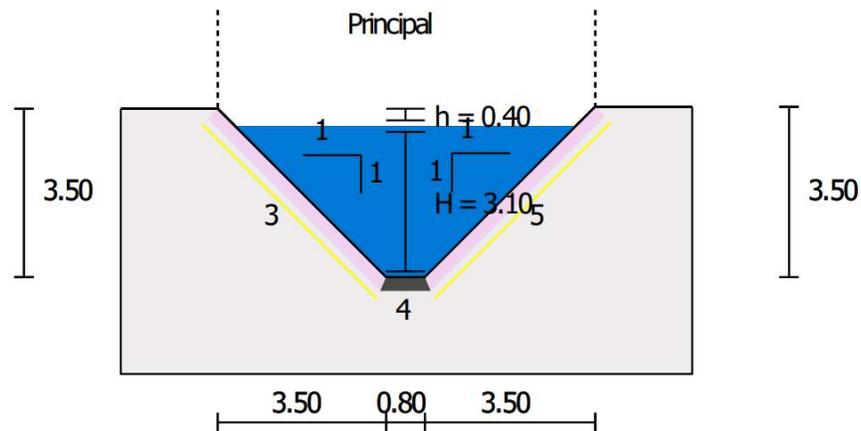
A seção crítica é trapezoidal, com base (b) com 0,80 m, inclinações do talude de 1H:1V, e altura (h) de 3,5 m. A Figura 6 mostra a representação da seção crítica do canal.

Figura 6 – Seção do canal



Com as dimensões do canal definidas, é possível calcular a vazão máxima suportada pela calha por meio da Equação 6. Além disso, a borda livre adotada foi de 0,4 m. Antes de proceder ao cálculo da vazão propriamente dita, faz-se necessário calcular o raio hidráulico. A Figura 7 mostra a seção do canal com os parâmetros de borda livre, perímetro molhado e área molhada.

Figura 7 – Seção com perímetro molhado e área molhada



A saber, o perímetro molhado máximo é de 9,57 m e a área molhada máxima é de 12,09 m², suportando uma vazão máxima de 17,44 m³/s.

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

$$R_H = \frac{12,09}{9,57} \rightarrow R_H = 1,26 \text{ m}$$

$$n_{equivalente} = \frac{8,77 \cdot 0,040 + 0,80 \cdot 0,025}{9,57} \rightarrow n_{equivalente} = 0,039$$

Desta forma, é possível determinar a vazão máxima da seção em análise, com declividade longitudinal adotada de 0,23%.

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{1}{0,039} \cdot 1,26^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,0023} \cdot 12,09$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 17,34 \text{ m}^3/\text{s}$$

Com o valor da vazão máxima determinada, é possível calcular a velocidade máxima e, portanto, verificar se o limite máximo é excedido. Pela Equação 5, tem-se:

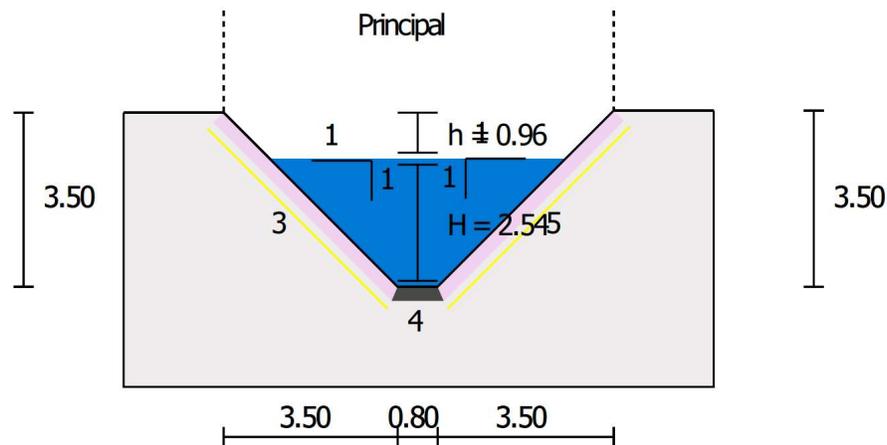
$$V_{m\acute{a}x} = \frac{17,34}{12,09} = 1,43 \text{ m/s}$$

Desta forma, verifica-se que a velocidade máxima calculada não excede o valor limite de 3,00 m/s.

No item 1.3.3 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.

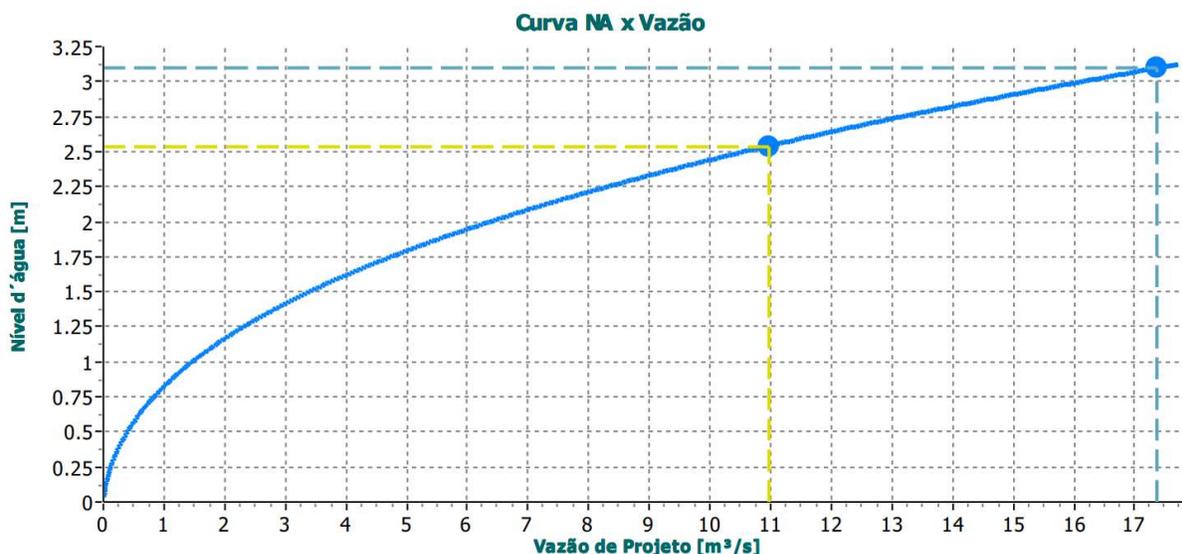
Com estes valores, é possível determinar a linha d'água de projeto. Como a determinação desta altura de lâmina d'água de projeto exige processos iterativos, recorreu-se ao *software MACRA Studio*, desenvolvido para o dimensionamento de canais. Com isso, a Figura 8 mostra os resultados obtidos de altura da lâmina d'água de projeto.

Figura 8 - Altura de lâmina d'água



Desta forma, para a vazão de cheia de $10,95 \text{ m}^3/\text{s}$, foi obtida uma lâmina d'água de 2,54 m e uma borda livre de 0,96 m. Além disso, a velocidade de projeto calculada é de 1,29 m/s, não excedendo o valor limite definido. A Figura 9 mostra a curva nível d'água por vazão, evidenciando a vazão máxima e lâmina máxima e a vazão de projeto e lâmina de projeto.

Figura 9 – Curva nível d'água por vazão



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

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O canal natural pode ser revestido sem prejuízo de sua capacidade hidráulica. Recomendamos que sejam utilizados produtos de qualidade e confiabilidade comprovadas, desta forma, garante-se que os trechos suportem a vazão de cheia para as quais foram analisados.

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