

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS

ENGENHARIA CIVIL

LIDIANE MIRANDA DE CASTRO PEREIRA

**SOLUÇÕES DE DRENAGEM: EVENTOS DE ENCHENTES OCORRIDAS NO
RIBEIRÃO SANTO ANTÔNIO**

**Varginha - MG
2019**

LIDIANE MIRANDA DE CASTRO PEREIRA

**SOLUÇÕES DE DRENAGEM: EVENTOS DE ENCHENTES OCORRIDAS NO
RIBEIRÃO SANTO ANTÔNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS como pré-requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação da Professora M. Sc. Ivana Prado de Vasconcelos.

**Varginha - MG
2019**

LIDIANE MIRANDA DE CASTRO PEREIRA

**SOLUÇÕES DE DRENAGEM PARA OS EVENTOS DE ENCHENTES
OCORRIDAS NO RIBEIRÃO SANTO ANTÔNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS como pré-requisito para a obtenção do Grau de Bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. M. Sc. Ivana Prado de Vasconcelos

Prof.

Prof.

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, meu irmão e meus avós, que vivenciaram a situação retratada nesse trabalho. A todos os meus amigos e a todos aqueles que acreditam no meu potencial e me apoiam em todas as decisões.

Agradeço imensamente a colaboração da Professora Ivana Prado Vasconcelos, pelos seus conselhos e orientações e pelo seu empenho quanto a este trabalho.

RESUMO

Com grande parte da população situada na zona urbana, é natural se presumir que há um aumento considerável das áreas impermeáveis. O crescimento populacional, as margens de rios e lagos tornaram-se lugares consideráveis de habitação, no entanto, sem a administração correta. O presente trabalho, demonstra como isso ocorre na cidade de Campanha MG, onde a população ocupou áreas próximas ao Ribeirão Santo Antônio e acabam por sofrer com as inundações anuais em períodos de grandes chuvas. Com o intuito de mostrar os problemas encontrados, bem como o motivo dos eventos de enchentes e inundações da região, o estudo abordado foi feito perante ao Ribeirão Santo Antônio, com enfoque no sistema de macrodrenagem do curso de água. Com isso, foi possível elaborar soluções e projetos que visam cessar esse problema, nesse caso foi abordado como solução a troca de material, com a alteração da rugosidade do canal. Essa mudança propiciou o aumento da capacidade da vazão de suporte do canal, de tal maneira que ela fique superior ao que o sistema impõe, e, assim, encontrada a solução para essa adversidade.

Palavras chave: Sistema de macrodrenagem, crescimento populacional, inundações.

ABSTRACT

With most of the population in the urban area, it is natural to assume that there is a considerable increase in impervious areas. Population growth, river and lake margins have become considerable places of habitation, but without proper management. This paper demonstrates how this occurs in the city of Campanha MG, where the population occupied areas close to Ribeirão Santo Antônio and end up suffering from annual flooding during periods of heavy rainfall. In order to show the problems encountered, as well as the reason for the flood and flood events in the region, the study was conducted in front of Ribeirão Santo Antônio, focusing on the macrodrainage system of the watercourse. With this, it was possible to elaborate solutions and projects that aim to cease this problem, in this case it was approached as a solution the material exchange, with the alteration of the channel roughness. This change has increased the support flow capacity of the channel, so that it is higher than the system imposes, and thus found the solution to this adversity.

Keywords: Macrodrainage system, population growth, flooding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seções de análises.....	17
Figura 2 - Seção 1 do canal.....	18
Figura 3 - Seção 2 do canal.....	18
Figura 4 - Área de contribuição da bacia.....	19
Figura 5 - Elementos geométricos das seções transversais.....	30
Figura 6 - Realce das seções críticas no perfil de elevação.....	37
Figura 7 - Área da bacia de contribuição.....	37
Figura 8 - Detalhamento das seções com Colchão Reno.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das verificações dos segmentos do canal	22
Tabela 2 - Detalhamentos das vazões das seções críticas.....	22
Tabela 3 - Valores de C ₂ conforme grau de impermeabilização.....	26
Tabela 4 - Valores de C ₂ conforme tipo de zoneamento	27
Tabela 5 - Inclinação de taludes para canais não revestidos	30
Tabela 6 - Velocidade mínima em função da água conduzida no canal.....	31
Tabela 7 - Velocidades máximas permissíveis em canais sem revestimento.....	31
Tabela 8 - Coeficiente de Manning para o tipo de superfície de escoamento.	32
Tabela 9 - Espessuras indicativas dos colchões Reno.	34
Tabela 10 - Coeficiente de Manning recomendados pela Maccaferri.	34
Tabela 11 - Resumo das declividades de cada seção.....	36
Tabela 12 - Dados referentes a cidade de Campanha.	38
Tabela 13 - Verificações do sistema e do canal para seção 1.....	40
Tabela 14 - Verificações do sistema e do canal para seção 2.....	41
Tabela 15 - Verificações do sistema e do canal para seção 3.....	42
Tabela 16 - Verificações do sistema e do canal para seção 4.....	43
Tabela 17 - Verificações do sistema e do canal para seção 5.....	44
Tabela 18 - Verificações do sistema e do canal para seção 6.....	45
Tabela 19 - Verificações do sistema e do canal para seção 7.....	46
Tabela 20 - Verificações do sistema e do canal para seção 8.....	47
Tabela 21 - Verificações do sistema e do canal para seção 9.....	48
Tabela 22 - Verificações do sistema e do canal para seção 10.....	49
Tabela 23 - Verificações do sistema e do canal para seção 3 com rugosidade alteradas.	51
Tabela 24 - Verificações do sistema e do canal para seção 4 com rugosidade alteradas.	52
Tabela 25 - Coeficientes de rugosidade de Manning.....	53
Tabela 26 - Verificação da seção 5, a jusante das seções críticas	54
Tabela 27 - Estimativas de custo com base na SINAPI.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação de chuvas de diferentes durações28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ábaco para valores de K.	25
Gráfico 2 - Perfil de elevação disponibilizado do canal.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
UNESP	Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. OBJETIVOS GERAIS	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. DIAGNÓSTICO E RESULTADOS	16
3.1. CARACTERÍSTICAS DO CANAL	16
3.2. CARACTERÍSTICAS DA BACIA	19
3.2.1. Averiguação da bacia	20
3.2.2. Averiguação da vazão de contribuição para os segmentos do canal	21
4. MEMORIAL DESCRITIVO	23
4.1. IDENTIFICAÇÃO	23
4.2. METODOLOGIA DE PROJETO	23
4.3. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	23
4.4. ANÁLISE HIDROLÓGICA	24
4.4.1. Bacia hidrográfica	24
4.4.2. Vazão de projeto	24
4.4.3. Fator de forma	25
4.4.4. Coeficiente de escoamento superficial	26
4.4.5. Tempo de concentração	27
4.4.6. Período de retorno	27
4.4.7. Intensidade de chuva	28
4.5. ANÁLISE HIDRÁULICA	29
4.6. GABIÕES TIPO COLCHÃO RENO	33
5. MEMORIAL DE CÁLCULO	36
5.1. LEVANTAMENTO DO PERFIL DE ELEVAÇÃO DO CANAL	36
5.2. ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO	37
5.3. TEMPO DE RETORNO	38
5.4. FATOR DE FORMA E COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	38
5.5. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	38
5.6. INTENSIDADE DE CHUVA	38
5.7. VAZÃO DE PROJETO	39
5.8. VAZÃO DE SUPORTE	39
5.9. VERIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO	39

5.10. VERIFICAÇÕES DOS SEGMENTOS DO CANAL	39
5.11. DIAGNÓSTICO DOS RESULTADOS OBTIDOS E SOLUÇÕES PARA O DEVIDO PROBLEMA	50
6. ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS E SERVIÇOS	55
6.1. OBJETIVOS.....	55
6.2. REDIMENSIONAMENTO DO CANAL.....	55
7. ORÇAMENTO	57
8. CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE	61
ANEXO	64

1. INTRODUÇÃO

Existem inúmeros problemas sociais ocasionados pelas inundações e enchentes. Com o aumento populacional (resultado da migração da população da zona rural para os centros urbanos, na busca de melhores condições de vida) a impermeabilidade da região aumenta, visto que mais loteamentos e casas são construídos. Com tal impermeabilização há maiores acúmulos de águas pluviais aos cursos d'água.

Este transtorno causado pela ação humana, com a ocupação incorreta das cidades, especialmente à beira dos rios, pode estar relacionado com erros no planejamento municipal e administração do crescimento do município. A falta de manutenção desses cursos de água também se torna um agravante. O último citado causa um estreitamento desses cursos d'água e ameniza o suporte de vazão do curso d'água, de tal maneira que a funcionalidade do canal fica prejudicada e o mesmo não funciona da forma que foi projetado.

A drenagem está diretamente relacionada ao saneamento básico do município, que é o responsável pela coleta, manejo e disposição das águas pluviais. Quando este se incorpora à rede de drenagem natural do município, a qual constitui-se de rios e córregos, presentes em fundos de vales, este sistema se relaciona com a macrodrenagem.

De acordo com o TCC 1, o presente trabalho trata-se de um estudo do sistema de macrodrenagem para o Ribeirão Santo Antônio, localizado na cidade de Campanha, Minas Gerais, com o propósito de identificar e solucionar os problemas de enchentes ocorridos no município.

Nos capítulos iniciais são abordados os objetivos e o diagnóstico e resultados encontrados durante as análises feitas no TCC 1. Mais adiante, no capítulo quatro, encontra-se a memorial descritivo, onde se explica, de maneira sucinta, os procedimentos, fórmulas e tabelas que a literatura disponibiliza e que foram utilizados para realizar o memorial de cálculo. Nesse último citado, são demonstradas as verificações dos segmentos analisados e a situação de escoamento em cada trecho considerado, por meio deste foi possível verificar os dois segmentos críticos do canal e onde ele se situava. Com tal descoberta, realizar o diagnóstico e constatar a melhor solução para o problema foi factível. Por fim com os dados coletados e analisados, o trabalho finaliza-se com a exibição das especificações de materiais e serviços, o orçamento onde se situa uma estimativa de custos e a conclusão de toda a incumbência.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Propor medidas que solucionem ou amenizem o problema das enchentes do ribeirão Sto. Antônio, da Cidade de Campanha MG.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os possíveis fatores que contribuem com as enchentes locais;
- Levantar os dados existente das enchentes ocorridas na cidade.
- Caracterizar a bacia quanto aos parâmetros fisiográficos, área da bacia, forma, sistema ou rede de drenagem;
- Fazer análise do canal de recepção do escoamento;
- Definir os métodos usuais de cálculo;
- Calcular a vazão de recepção da bacia;
- Analisar a situação atual do córrego;
- Analisar os dados coletados e relacionar a eles os fatores condicionantes que proporcionam a enchente;
- Propor medidas para solucionar o problema.

3. DIAGNÓSTICO E RESULTADOS

O objetivo predominante da elaboração do TCC 1 foi identificar os possíveis motivos para os eventos de enchentes, ocorridos na cidade de Campanha. Foi feito um estudo da situação atual do Ribeirão Santo Antônio, este recebe grande parte da água pluvial da cidade e de seu entorno.

A princípio foi feito um estudo da área contribuinte ao canal, com a caracterização da ocupação do solo atual, a determinação as áreas permeáveis e impermeáveis, além de analisar o relevo da bacia de contribuição ao mesmo. Foi possível verificar as taxas de permeabilidade e a real quantidade de água pluvial desagua no canal.

Posteriormente, foi levantado os dados referentes a bacia de contribuição. A partir desta foi elaborado estudos da vazão contribuinte para o canal, com análises para diferentes períodos de retorno e suas respectivas vazões.

Com o estudo hidrológico feito, partiu-se para a verificação da situação do canal, com análises das seções diferentes, cada qual com vazões de contribuição variadas. Para a determinação da situação atual das seções analisadas, foram verificados os revestimentos atuais do canal, suas seções transversais e seu perfil longitudinal. Com isso foi possível determinar o suporte da vazão de água para o mesmo.

Concluída a verificação da situação atual, percebe-se que o canal em sua grande maioria, comporta as vazões de contribuição, no entanto há partes críticas no seu caminhamento. O canal foi analisado sem interferência de vegetação e sem armazenamento de solo, o que prejudicaria a vazão do canal, mesmo sem analisar estes fatores, o canal se destacou por não suportar grande parte da vazão pluvial contribuinte.

Exposto a real situação dos devidos problemas com as enchentes tornou-se necessário a elaboração de projetos para aumentar o suporte de vazão para este canal, com a adoção de métodos eficazes e econômicos que são adequados para a cidade em estudo.

3.1. CARACTERÍSTICAS DO CANAL

O Ribeirão de Santo Antônio está localizado na cidade de Campanha, Minas Gerais. O ribeirão recebe basicamente toda a água pluvial da cidade e água de seus afluentes. O comprimento do canal em estudo é de 2,07 km, encontra-se com ganhos e perdas de elevação de 20,6m, o que gera uma declividade de aproximadamente 0,995% em todo seu trecho. No

decorrer de seu trecho existem seções, onde quase todos os anos a água transborda de sua seção, o que causa vários danos a população, como serão apresentados no decorrer do estudo.

Apesar do canal em estudo ser formado por solo natural em toda a sua extensão, a seção do canal e a sua rugosidade são alteradas quando não há a manutenção adequada do local, como descrito anteriormente. Isso é devido ao fato de que há uma grande concentração de plantas nas paredes diagonais das seções dos canais. Embora sua seção transversal permaneça quase constante ao seu curso, com pequenas variações de tamanho, a sua declividade conforme seu caminhar varia bastante, o que, por consequência altera seus parâmetros de cálculo.

Foram definidas duas seções transversais padrão para o curso d'água, e os seus 2,07 km de comprimento foram divididos em 10 segmentos, com cerca de 200 metros cada, para, desta forma, fazer um estudo mais rigoroso e clínico na marcha desse afluente. Notou-se que as seções transversais sofrem variações a partir de um determinado comprimento, assim, o aspecto de divisão delas foi dado segundo a figura seguinte.

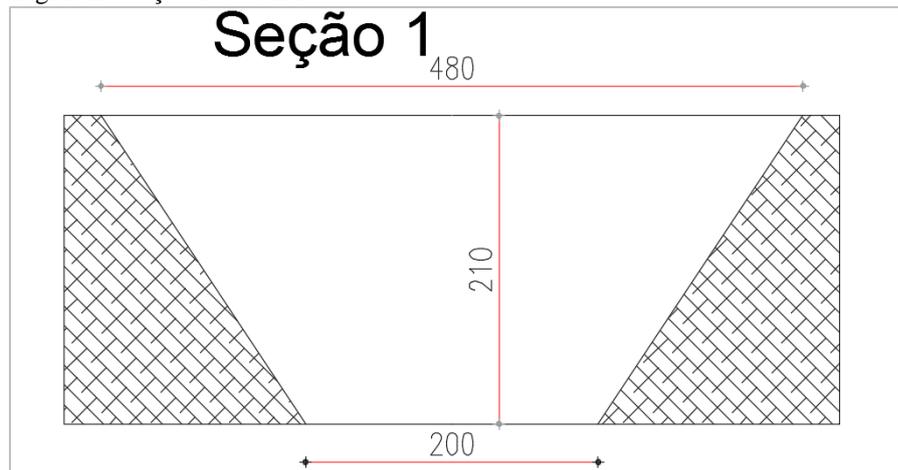
Figura 1 - Seções de análises.



Fonte: O autor (2019)

Todas as medidas relatadas foram obtidas através de visita in loco e retiradas a partir de trena de fibra de vidro. A prefeitura local foi contatada, porém não havia dados concretos registrados. Depois de analisadas as seções, verificou-se um comprimento de 0,648 km entre o ponto de início de análise do canal de cota igual a 885,00m e a seção 1 de cota igual a 879,5m, o que proporciona uma declividade de 0,779%. Essa seção abrange os 3 primeiros segmentos das análises do canal. A seção tem sua geometria retratada na figura 2.

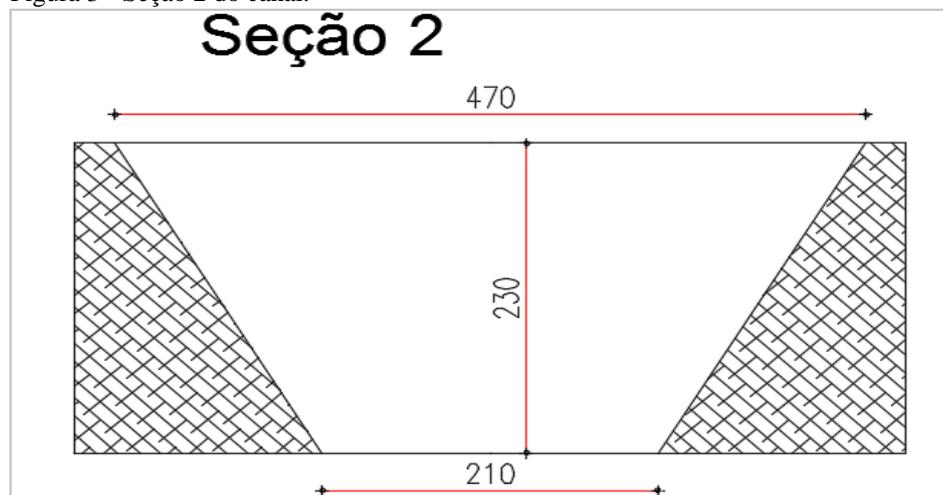
Figura 2 - Seção 1 do canal



Fonte: O autor (2019)

A seção 2 abrange um comprimento de 1,396 km, possui cota igual a 889m, e por sua vez gera uma declividade de cerca de 0,28%. Ela engloba os outros 7 segmentos restantes e tem sua seção transversal segundo a Figura 3.

Figura 3 - Seção 2 do canal.

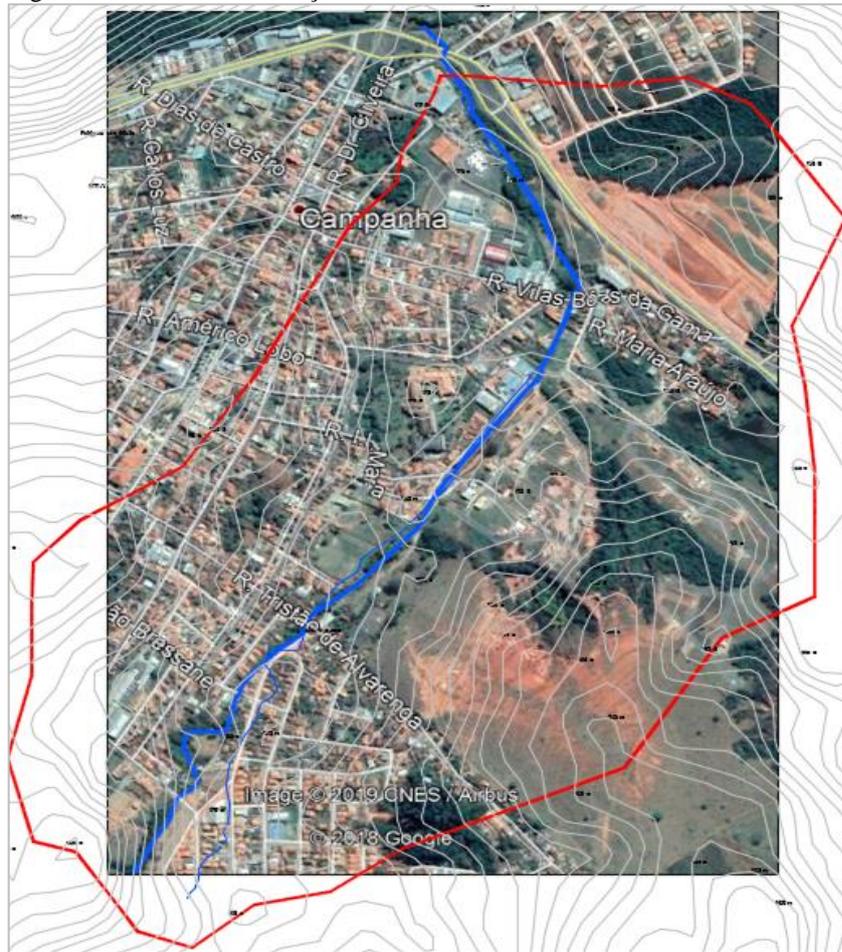


Fonte: O autor (2019)

3.2. CARACTERÍSTICAS DA BACIA

Averiguou-se que bacia em questão possui uma área de contribuição de cerca de 1.705.221,00 m² (um milhão, setecentos e cinco mil, duzentos e vinte e um metros quadrados). Esta área de contribuição divide-se em área urbanizada, localizada a esquerda do curso d'água, e uma grande extensão de área verde, à direita do canal, como pode-se observar na Figura 4. Os dados coletados indicam a situação atual da bacia sem estudo de crescimento populacional.

Figura 4 - Área de contribuição da bacia.



Fonte: O autor (2019)

Dessa totalização de área cerca de 49,24% (839.613,82 m²) é referente à área impermeável, a qual engloba áreas residenciais, comerciais e ruas. O restante, os 50,76% da área é pertinente as áreas verdes e permeáveis. Com enfoque em cada seção individual, foram obtidos os seguintes parâmetros:

- Seção 1: área total de contribuição igual a 1.064.316 m² (um milhão, sessenta e quatro mil, trezentos e dezesseis metros quadrados), onde 55,56% é composta de área verde permeável o que representa 591.694,65 m² (Quinhentos e noventa e um mil, seiscentos e noventa e quatro reais e sessenta e cinco metros quadrados) e 44,44% é composta de área urbana e impermeável, o que representa 472.621,35 m² (quatrocentos e setenta e dois mil, seiscentos e vinte e um reais e trinta e cinco metros quadrados).
- Seção 2: área total de contribuição igual a 640.905,00 m² (seiscentos e quarenta mil e novecentos e cinco metros quadrados), onde 57,82% é composta de área urbana e impermeável o que representa 370.596,1 m² (trezentos e setenta mil, quinhentos e noventa e seis reais e dez metros quadrados) e 42,18% é composta de área verde, equivalente a 270.308,9 m² (duzentos e setenta mil, trezentos e oito reais e noventa centavos).

Com a divisão em segmentos, essas áreas foram contabilizadas com o acompanhamento de cada sub-bacia, que serão demonstradas posteriormente em memorial descritivo. Essa divisão é essencial para o cálculo do coeficiente C_2 (coeficiente volumétrico de escoamento), o qual está relacionado com a taxa de impermeabilização da área em estudo.

3.2. VERIFICAÇÃO DO SISTEMA

3.2.1. Averiguação da bacia

Foi feita a verificação da forma da bacia de contribuição conforme a equação de Tomaz (2012). O resultado obtido foi de um $F \cong 1,404$. Como $F > 1$ a bacia foge da forma circular para a elíptica e o seu dreno principal está na longitudinal da área.

O tempo de concentração foi estabelecido pela equação de Kirpich (1940) e teve seu valor igual a: $tc = 40,07 \text{ min}$.

Após definido o tempo de concentração, foi calculada a intensidade de chuva pela equação 4, com os dados retirados do software Plúvio 2.1, para a cidade de Campanha MG, dados presentes na Tabela 12. Com isso, foi verificado a intensidade de chuva para os tempos de retorno de 50, 75 e 100 anos, para uma análise mais completa da bacia.

- Tempo de Retorno = 50 anos.

$$i = 133,512 \text{ mm/h}$$

- Tempo de Retorno = 75 anos.

$$i = 145,969 \text{ mm/h}$$

- Tempo de Retorno = 100 anos.

$$i = 155,506 \text{ mm/h}$$

O coeficiente de escoamento superficial da bacia total foi calculado pela equação de Tomaz (2012) do método de I-PAI-WU, através das áreas estabelecidas nas seções já exemplificadas.

O valor de C_1 foi encontrado de acordo com a equação foi de 1,175 e para estabelecer o coeficiente C_2 foi usada as áreas de permeabilidade e impermeabilidade de cada sub-bacia, associadas aos valores das tabelas 3 e 4 presentes em memorial. Para a bacia foi encontrado o valor de 0,398. Com esses valores determinados, foi definido o valor do coeficiente de escoamento superficial, nesse caso, ele teve resultado igual a 0,282.

O valor do coeficiente de distribuição espacial de chuva através do ábaco do gráfico 3, com a relação do tempo de concentração da bacia e a área total da mesma, dessa maneira obteve-se o valor de $K=0,95$.

Com os dados pré-estabelecidos aplicou-se o método de I-PAI-WU para o maior tempo de retorno (100 anos), com isso a vazão calculada foi de $18,722 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.2.2. Averiguação da vazão de contribuição para os segmentos do canal

A fim de realizar um estudo e uma abordagem mais específica do ribeirão, os seus 2,07 km foram divididos em 10 segmentos com cerca de 200 m cada um. Todas as verificações feitas para a bacia em geral, foram aplicadas nesses pequenos trechos, com valores de declividade, “ C_2 ”, “ K ”, comprimento e área de bacia variáveis. Apenas os parâmetros para cálculo da intensidade de chuva foram mantidos já que se tratava da mesma cidade. Os coeficientes de rugosidade de Manning foram ajustados para “pastagem” $n=0,13$, isso se deve ao fato que o revestimento do canal é feito com grama e solo em todo seu percurso.

Com isso foi encontrado onde estavam os trechos críticos, ou seja, onde a vazão de suporte do canal era menor que a vazão do sistema. As seções 3 e 4, onde ocorria a mudança do tamanho das seções, foram as responsáveis por essa criticidade. A tabela a seguir apresenta um resumo das verificações encontradas para esse diagnóstico.

Tabela 1 - Resumo das verificações dos segmentos do canal

RESUMO DAS VERIFICAÇÕES				
Seções	Comprimento do canal (km)	Vazão do sistema p/ 100 anos (m³/s)	Vazão do canal (m³/s)	Situação
1	0,2	2,9155	4,785214	OK!
2	0,2	4,0530	6,052870	OK!
3	0,248	6,5739	4,447185	CRÍTICO!
4	0,2	8,4215	5,702983	CRÍTICO!
5	0,2	3,4143	4,834939	OK!
6	0,2	6,1747	6,455338	OK!
7	0,235	5,5409	5,867453	OK!
8	0,257	3,7832	6,413235	OK!
9	0,218	1,6412	7,141796	OK!
10	0,112	1,0725	8,499132	OK!

Fonte: O autor (2019)

As vazões de suporte dessas seções em específico, não suportaram as vazões do sistema nem para períodos mínimos como 50 e 75 anos de projeção, como demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 - Detalhamentos das vazões das seções críticas

Seção 3		Seção 4	
Vazão de suporte do canal	4,447185	Vazão de suporte do canal	5,702983
Vazão do sistema para 50 anos	5,644124	Vazão do sistema para 50 anos	7,230369
Vazão do sistema para 75 anos	6,170731	Vazão do sistema para 75 anos	7,904976
Vazão do sistema para 100 anos	6,573901	Vazão do sistema para 100 anos	8,421454

Fonte: O autor (2019)

Os parâmetros e métodos de cálculo que foram usados para chegar nesses valores, serão demonstrados mais detalhadamente no memorial de cálculo.

4. MEMORIAL DESCRITIVO

4.1. IDENTIFICAÇÃO

Esse projeto foi proposto para solucionar os problemas com enchentes no Ribeirão Santo Antônio, o qual é um canal natural que transporta grande parte da água pluvial da cidade de Campanha. O presente projeto irá detectar os devidos problemas e propor parâmetros de reparo para os mesmos, com enfoque na qualidade e custo benefício.

4.2. METODOLOGIA DE PROJETO

Para o projeto foram seguidas as seguintes etapas:

1. Levantamento topográfico do Ribeirão Santo Antônio.
2. Caracterização de seções e trechos específicos de estudo.
3. Determinação dos dados hidrológicos de cada seção como: área de contribuição, declividade, tempo de concentração, coeficiente de escoamento superficial, intensidade de chuva e comprimento do talvegue para cada trecho.
4. Cálculo das vazões de suporte das seções específicas a partir de suas áreas e seu coeficiente de rugosidade.
5. Diagnóstico dos dados calculados e comparativos de suporte.
6. Elaboração de soluções para o devido problema.
7. Especificações do projeto.
8. Estimativa de custo da obra.
9. Desenhos.

4.3. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

A princípio, foi realizado um levantamento planialtimétrico do Ribeirão Santo Antônio onde foi possível determinar seu perfil longitudinal e suas respectivas seções transversais. Além de determinados os perfis do mesmo, foi possível fazer uma análise de material composto pelo canal. O detalhe do levantamento foi feito com auxílio do software Google Mapper e algumas verificações in loco.

4.4. ANÁLISE HIDROLÓGICA

A fim de obter dados da bacia em si e de como ela se comporta na captação das águas pluviais é feita a análise hidrológica do sistema. Há vários métodos para se calcular as vazões de projeto, cada um conforme o tamanho da bacia em estudo.

4.4.1. Bacia hidrográfica

Finkler (2012, p. 5) estabelece que a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação da chuva que converge os escoamentos para um único ponto de saída. Este ponto de saída é denominado exutório.

Consoante com a Unidade de hidrologia básica da UNESP (p.12), a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente.

4.4.2. Vazão de projeto

Segundo TOMAZ (2012), o Método de I-PAI-WU é o método Racional que sofre algumas modificações, de maneira a permitir cálculos de bacias hidrográficas 2 km² até 200km². De acordo com o mesmo autor, a equação básica para o Método I-PAI-WU é conforme a equação 1:

$$Q = (0,278 \times C \times I \times A^{0,9}) \times K \quad - \text{Equação 1}$$

$$Q_{Pico} = Q_b + Q \quad - \text{Equação 2}$$

Em que:

Q= vazão de pico (m³/s);

Q_b= vazão base (m³/s). Se não houver informação adotar 0,1 x Q;

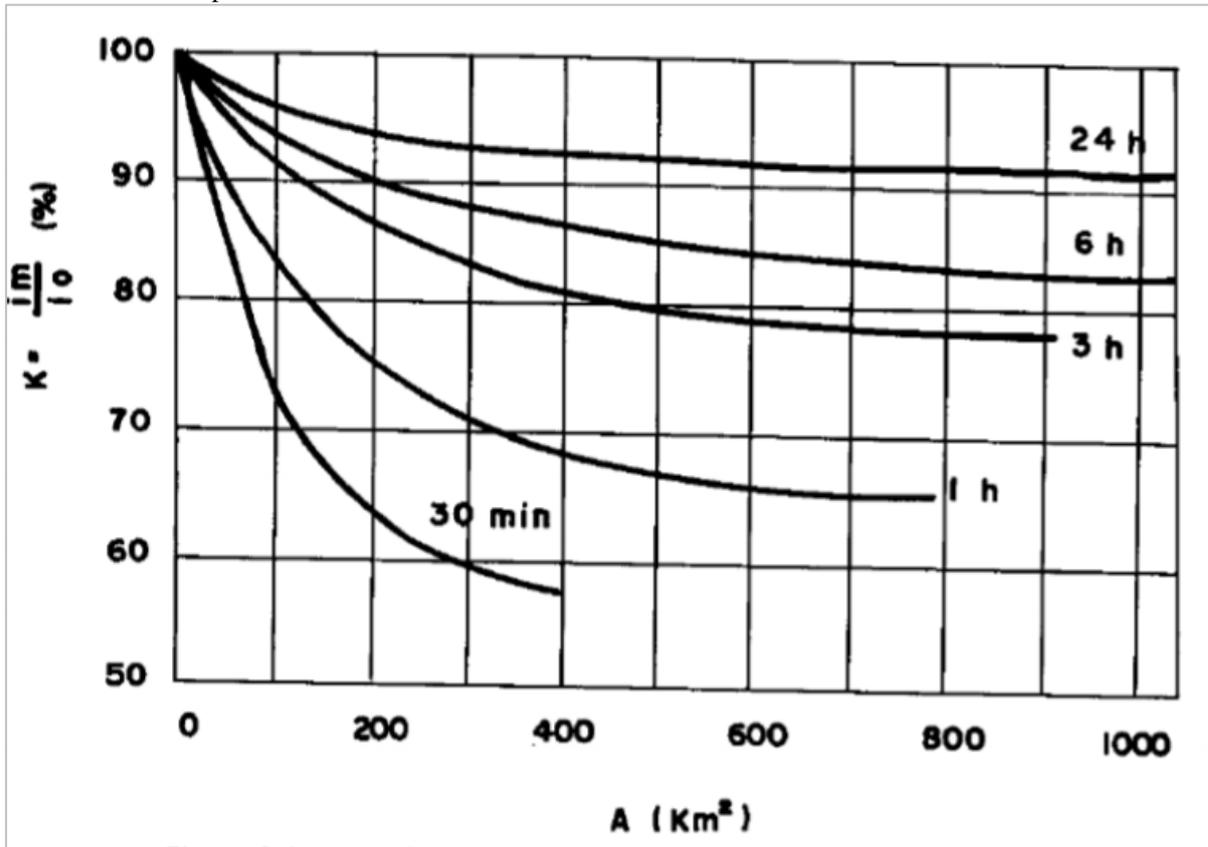
I= intensidade de chuva (mm/h);

C= coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A= área da bacia (km²);

K= coeficiente de distribuição espacial da chuva (adimensional) – Obtido por ábaco (gráfico 1);

Gráfico 1 - Ábaco para valores de K.



Fonte: TOMAZ (2012)

4.4.3. Fator de forma

De acordo com Tomaz (2014) o fator de forma da bacia é encontrado conforme a equação 3:

$$F = \frac{L}{\left[2 \times \left(\frac{A}{\pi} \right)^{0,5} \right]} \quad - \text{Equação 3}$$

Onde:

L= comprimento do talvegue (km);

A= área da bacia (km²);

F= fator de forma da bacia;

Morano (2006), estabelece algumas classificações para os valores resultantes do fator de forma, são eles:

- $F=1$ a bacia tem formato circular perfeito;
- $F<1$ a bacia tem forma circular para a elíptica e o seu dreno principal está na transversal da área;
- $F>1$ a bacia foge da forma circular para a elíptica e o seu dreno principal está na longitudinal da área;

4.4.4. Coeficiente de escoamento superficial

Segundo Tomaz (2014) o coeficiente de escoamento superficial (C) é calculado conforme a equação 3:

$$C = \left(\frac{C_2}{C_1}\right) \times \frac{2}{(1 + F)} \quad - \text{Equação 3}$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento superficial;

C_2 = coeficiente volumétrico de escoamento – Tabela 3;

C_1 = coeficiente de forma – equação 5;

F = fator de forma da bacia- equação 3;

O coeficiente de forma (C_1) é definido conforme a equação 4:

$$C_1 = \frac{4}{(2 + F)} \quad - \text{Equação 4}$$

O coeficiente volumétrico de escoamento (C_2) é determinado conforme a Tabela 3 ou 4.

Tabela 3 - Valores de C_2 conforme grau de impermeabilização

Grau de impermeabilidade da superfície	Coeficiente volumétrico de escoamento C_2
Baixo	0,30
Médio	0,50
Alto	0,80

Fonte: TOMAZ (2014)

Tabela 4 - Valores de C_2 conforme tipo de zoneamento

Tipo de zoneamento	Coefficiente volumétrico de escoamento C_2
Zona rural	0,25
Zona Suburbana	0,40
Zona Urbana	0,60
Zona Urbana Central	0,80

Fonte: TOMAZ (2012)

4.4.5. Tempo de concentração

Segundo TOMAZ (2013), “há duas definições básicas de tempo de concentração (TC)”, são elas:

- Tempo de concentração é o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada.
- Tempo de concentração é o tempo que leva uma gota de água mais distante até o trecho considerado na bacia.”

Ainda segundo TOMAZ (2013) existem várias fórmulas empíricas para determinar o valor do tempo de concentração. O tempo de concentração pode ser encontrado a partir de algumas equações. Para essa situação ele foi encontrado pela equação 5:

$$tc = 57 x \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad \text{— Equação 5}$$

Em que:

tc = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue (km);

S = declividade equivalente do talvegue (m/km);

4.4.6. Período de retorno

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a definição de período de retorno ou tempo de retorno (TR) é “O intervalo de tempo para que uma dada chuva de intensidade e duração definidas seja igualada ou superada é denominado período de retorno ou tempo de recorrência.” Para adotar determinado tempo de retorno deve-

se ter, segundo TOMAZ (2015) alguns parâmetros, como o custo da obra, seu prejuízo final e o bom senso do projetista.

Caso não haja uma base dados históricos sobre o local onde se trabalhará a bacia, o mesmo também pode ser adotado para estabelecer o tempo de retorno, através de análises de probabilidade. Novamente segundo o DNIT, segue alguns parâmetros de TR adotado:

Quadro 1 - Relação de chuvas de diferentes durações

OBRAS	TR ADOTADO	FUNCIONAMENTO
Drenagem profunda e subsuperficial	10 anos	
Dispositivos de drenagem superficial	5 anos	Canal
Bueiros tubulares e Celulares	15 anos	Canal
Verificação de Bueiros tubulares e celulares	25 anos	Orifício
Ponte, pontilhão	50 a 100 anos	Canal

Fonte: DNIT

4.4.7. Intensidade de chuva

A precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica e pode atuar sobre a erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, obras hidráulicas, entre outros (Bertoni e Tucci, 2015).

A formulação para a determinar a precipitação máxima é a seguinte:

$$i = \frac{K \times T^a}{(t + b)^c} \quad - \text{Equação 6}$$

Onde:

i: intensidade máxima média da chuva (mm/h);

T: período de retorno (anos);

t: tempo de concentração da chuva (min)

k, a, b, c: coeficientes de ajustamento específicos para cada localidade.

4.5. ANÁLISE HIDRÁULICA

Segundo TOMAZ (2011) “o escoamento em galerias, canais e sarjetas devem ser calculados pela fórmula de Manning, onde se calcula a velocidade e uma vez que já temos o comprimento, obteremos o tempo de escoamento da água de chuva também chamado de tempo de trânsito”. Ainda segundo TOMAZ (2011) essa é a fórmula mais utilizada no mundo para canais.

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad - \text{Equação 7}$$

Em que:

V= velocidade (m/s);

R= raio hidráulico (m), =A/P;

A= área molhada (m²);

P= perímetro molhado (m);

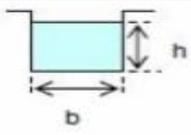
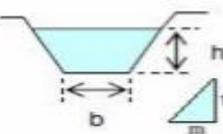
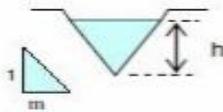
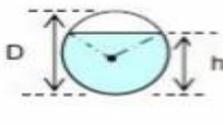
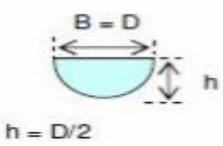
n= coeficiente de rugosidade de Manning – Tabela 8;

So= declividade (m/m);

Evangelista (2013), caracteriza como as formas mais usuais de canais as de formato trapezoidais, retangulares, triangulares ou em semicírculos. O mesmo ainda qualifica os seguintes elementos da seção de um canal:

- “Área (A) – é a seção plana do canal, normal a direção geral da corrente líquida;
- Seção molhada (A) - parte da seção transversal que é ocupada pelo líquido (Figura 5).
- Os elementos geométricos da seção molhada são:
 - - Profundidade (h) - altura do líquido acima do fundo do canal;
 - - Área molhada (Am): é a área da seção molhada;
 - - Perímetro molhado (P) - comprimento relativo ao contato com o conduto;
 - - Largura Superficial (B) - largura da superfície em contato com a atmosfera;
 - - Raio hidráulico (R) - relação entre a área molhada e perímetro molhado;
 - - Profundidade Hidráulica - relação entre a área molhada e a largura superficial.”

Figura 5 - Elementos geométricos das seções transversais.

Forma da seção	Área (A) (m ²)	Perímetro molhado (P) (m)	Raio hidráulico (R) (m)	Largura do Topo (B) (m)
	$b.h$	$b + 2.h$	$\left(\frac{A}{P}\right) = \frac{b.h}{b + 2.h}$	b
	$(b + m.h).h$	$b + 2.h.\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{A}{P}$	$b + 2.m.h$
	$m.h^2$	$2.h.\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{A}{P}$	$2.m.h$
	$\frac{1}{8} . (\theta - \text{sen } \theta) . D^2$ $\theta = \text{RAD}$	$\frac{\theta . D}{2}$	$\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta} \right) D$	$\left(\text{sen } \frac{\theta}{2} \right) D$
	$\frac{\pi . D^2}{8}$	$\frac{\pi . D}{2}$	$\frac{D}{4} = \frac{h}{2}$	$D = 2.h$

Fonte: EVANGELISTA (2013)

O próximo quesito que ele classifica é sobre a borda livre do canal. Ainda segundo o Prof. Adão, essa folga nas bordas dos canais tem como grandeza valores que diferem entre 20 e 30%. Tal percentual se deve ao fato de o acréscimo na medida caracterizar uma margem de segurança contra possíveis elevações do nível de água, como alagamentos e enchentes.

A declividade dos canais também é especificada. A estabilidade se dá em função do material que será construído o canal. A tabela seguinte relaciona as declividades usuais de canais não revestidos.

Tabela 5 - Inclinação de taludes para canais não revestidos

Material das paredes	Canais pouco profundos (h<1m)	Canais Profundos (h>1m)
Rochas em boas condições	0,00	0,25
Argilas Compactas	0,50	1 ou 0,75
Limo Argiloso	1,00	1 ou 1,50
Limo Arenoso	1,50	2,00
Areias Soltas	2,00	3,00

Fonte: EVANGELISTA (2013)

Ainda segundo Evangelista (2013), “nos canais o atrito entre a superfície livre e o ar e a resistência oferecida pelas paredes e pelo fundo originam diferenças de velocidades, tendo um valor mínimo, junto ao fundo do canal, e máximo, próximo à superfície livre da água” TOMAZ (2013) afirma que os limites de velocidades dos canais são importantes para evitar o depósito de materiais. As Tabelas 6 e 7 definem valores para as velocidades mínimas e máximas.

Tabela 6 - Velocidade mínima em função da água conduzida no canal

Tipo de água a ser conduzida	Velocidade média mínima (m/s)
Água com suspensões finas	0,30
Águas carregando areias finas	0,45
Águas de esgoto	0,60
Águas pluviais	0,75

Fonte: TOMAZ (2013)

Tabela 7 - Velocidades máximas permissíveis em canais sem revestimento.

Material	Água Limpa (m/s)	Água com siltes coloidais (m/s)
Areia fina coloidal	0,46	0,76
Argiloso-arenoso, não coloidal	0,53	0,76
Argilo-siltoso, não coloidal	0,61	0,91
Siltes aluvionais, não coloidais	0,61	1,07
Argiloso comum firme	0,76	1,07
Argila densa, muito coloidal	1,14	1,52
Siltes aluvionares, coloidais	1,14	1,52
Xistos e rochas estratificadas	1,83	1,83
Cascalho fino	0,76	1,52
Argila estabilizada com cascalho quando não coloidal	1,14	1,52
Silte estabilizado com cascalho quando coloidal	1,14	1,52
Cascalho grosso, não coloidal	1,22	1,83
Seixos e pedras soltas	1,52	1,68

Fonte: TOMAZ (2013)

Ainda de acordo com o Evangelista (2013), toda a caracterização dos regimes de escoamento quanto a energia é efetuada através de um número adimensional denominado Número de Froude (Fr). Esse número é estimado pela seguinte equação:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times Y}} \quad - \text{Equação 8}$$

Em que:

Fr= número de Froude (adimensional);

V= velocidade característica do escoamento (m/s);

Y= profundidade hidráulica (m);

g= aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

Assim, quando $Fr < 1$, tem-se o regime Subcrítico; para $Fr > 1$, tem-se o regime Supercrítico e, finalmente, $Fr = 1$ implica no regime crítico de escoamento.

A profundidade hidráulica pode ser definida segundo GRIBBIN (2014), como a relação entre a área da seção de escoamento pela largura superficial.

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{T^2 \times g}} \quad - \text{Equação 9}$$

Em que:

D= profundidade hidráulica (m);

Q= vazão de chuva (m³/s);

T= largura superficial do canal (m);

g= aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

Tomaz (2002) apresenta na Tabela 8, valores de coeficiente de Manning conforme o tipo de superfície:

Tabela 8 - Coeficiente de Manning para o tipo de superfície de escoamento.

(continua)

Superfície	Coef. de rugosidade de Manning
Plástico, vidro	0,009
Terra sem cultura	0,010
Areia	0,010
Superfície cascalhada ou coberta pedregulho	0,012

Superfície	Coef. de rugosidade de Manning
Concreto liso	0,011
Asfalto	0,012
Terreno argiloso	0,012
Revestimento comum de concreto	0,013
Madeira boa	0,014
Tijolos assentados com cimento	0,014
Madeira não aplainada	0,014
Argila vitrificada	0,015
Ferro fundido	0,015
Terra lisa	0,018
Tubos de metal corrugado	0,023
Superfície emborrachada	0,024
Terra cultivada sem resíduo	0,09
Terra cultivado com resíduo	0,19
Grama curta	0,15
Grama densa	0,40
Grama tipo Bermuda	0,41
Solo sem vegetação rasteira	0,20
Solo com pouco de vegetação rasteira	0,40
Solo com muita vegetação rasteira	0,80
Pastagem natural	0,13

Fonte: TOMAZ (2002)

Gribbin (2014) estipula que a vazão de um canal pode ser determinada pela equação da continuidade, apresentada na sequência.

$$Q = V \times A \quad - \quad \text{Equação 10}$$

Em que:

Q= vazão (m³/s);

V= velocidade de escoamento (m/s);

A= área da seção transversal (m²);

4.6. GABIÕES TIPO COLCHÃO RENO

Segundo Tomaz (2010), “Colchão Reno” ou “colchão de gabião”, são caixas de tela metálica revestida ou não e com enchimento de pedra. As malhas que compõem a caixa, são hexagonais com dupla torção com arames metálicos revestidos com liga de zinco e alumínio e

pode ou não ser revestido com material plástico. As pedras são colocadas dentro da caixa que possui índice de vazios de aproximadamente 30%.

Ainda segundo Tomaz (2010) os Colchões Reno são instalados em taludes que variam de 1:1,5 a 1:2 são assentados diretamente sobre o solo protegido desde que seja estável e instalado na direção perpendicular ao canal.

De acordo com a Maccaferri (2014) os Colchões Reno atuam na proteção e no revestimento das margens dos canais. Eles também podem ser usados para a rápida recuperação da vegetação integrando a canalização ao meio ambiente. A Tabela 9 fornece a espessura dos Colchões Reno bem como o diâmetro das pedras de enchimento e a velocidade crítica e limite.

Tabela 9 - Espessuras indicativas dos colchões Reno.

Espessura	Pedras de enchimento		Velocidade crítica	Velocidade de limite
(m)	Dimensões (mm)	D50 (m)	(m/s)	(m/s)
0,15 a 0,17	70 a 100	0,085	3,5	4,2
0,15 a 0,17	70 a 150	0,110	4,2	4,5
0,23 a 0,25	70 a 100	0,085	3,6	5,5
0,23 a 0,25	70 a 150	0,120	4,5	6,1
0,30	70 a 120	0,100	4,2	5,5
0,30	100 a 150	0,125	5,0	6,4
0,50	100 a 200	0,150	5,8	7,6
0,50	120 a 250	0,190	6,4	8,0

Fonte: Adaptado de TOMAZ (2010)

A Tabela 10 define os valores de coeficiente de rugosidade de Manning recomendados pela Maccaferri.

Tabela 10 - Coeficiente de Manning recomendados pela Maccaferri.

(continua)

Ordem	Natureza da Superfície	Rugosidade n de Manning
1	Canais revestidos com colchões Reno perfeitamente impermeabilizados com mastique de betume em superfície plana e bem lisa.	0,0158

(conclusão)		
2	Canais revestidos com colchões Reno perfeitamente impermeabilizados com mastique de betume aplicado diretamente.	0,0172
3	Canais revestidos com colchões Reno consolidados com mastique de betume hidráulico que envolva as pedras superficiais.	0,0200
4	Canais revestidos com colchões Reno consolidados com mastique de betume hidráulico que penetre em profundidade.	0,0215
5	Canais revestidos com colchões Reno com material bem selecionado e colocado na obra com muito cuidado.	0,022
6	Canais revestidos com colchões Reno com material bem selecionado e colocado na obra sem cuidado.	0,0250
7	Canais revestidos com colchões Reno enchidos com material de pedreira não selecionado e colocada na obra sem cuidado.	0,0270
8	Canais revestidos com colchões Reno enchidos com material de pedreira bem selecionado e colocado na obra com cuidado.	0,0260
9	Canais revestidos com gabiões enchidos com material não selecionado e colocado na obra sem cuidado.	0,0285
10	Canais em terra em más condições de manutenção, emaranhamento de vegetação no fundo e nas margens, ou depósitos irregulares de pedras e cascalhos, ou profundas erosões irregulares. Também em canais em terra executados com escavadeira mecânica e com manutenção descuidada.	0,0303

Fonte: TOMAZ (2010)

5. MEMORIAL DE CÁLCULO

5.1. LEVANTAMENTO DO PERFIL DE ELEVAÇÃO DO CANAL

Com auxílio do Google Earth, foi possível traçar o perfil elevação do canal e por sua vez a elaboração do levantamento planialtimétrico do mesmo e suas respectivas seções transversais ao longo de seu percurso. Além dos perfis foi possível o estudo das declividades do fundo do canal conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Resumo das declividades de cada seção

Seção	Cota de montante	Cota de jusante	Comprimento do trecho (km)	Declividade (m/m)
Seção 1	879,00	882,00	0,200	0,015
Seção 2	882,00	886,80	0,200	0,024
Seção 3	886,80	883,59	0,248	0,013
Seção 4	883,59	880,39	0,200	0,016
Seção 5	880,39	882,69	0,200	0,012
Seção 6	882,69	886,79	0,200	0,021
Seção 7	886,79	890,77	0,235	0,017
Seção 8	890,77	895,97	0,257	0,020
Seção 9	895,97	901,44	0,218	0,025
Seção 10	901,44	905,42	0,112	0,036

Fonte: O autor (2019)

O Google Earth também disponibiliza um gráfico próprio de como ele interpreta o perfil de elevação do traçado do canal. É a partir dessa ferramenta que foi retirada as cotas de cada seção e posteriormente calculado suas declividades. O gráfico disponibilizado se apresenta a seguir:

Gráfico 2 - Perfil de elevação disponibilizado do canal.



Fonte: Google Earth (2019)

Nesse gráfico, com enfoque mais específico nas seções que se apresentaram críticas, é possível perceber um gargalo no perfil natural do canal, o que ajuda a prejudicar o problema das enchentes em questão.

Figura 6 - Realce das seções críticas no perfil de elevação

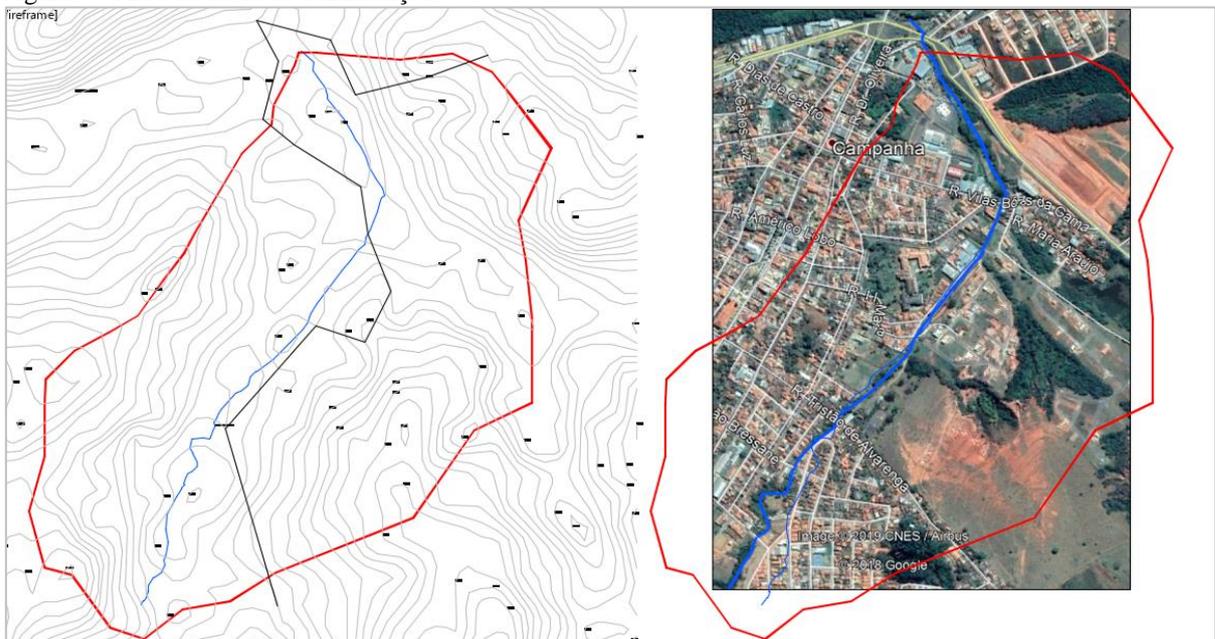


Fonte: O autor (2019)

5.2. ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO

Para a determinação das áreas de contribuições foram usados os seguintes softwares: Google Earth, Global Mapper e Auto Cad., conforme a Figura 7.

Figura 7 - Área da bacia de contribuição



Fonte: O autor (2019)

Com a finalidade de detalhar por seções o canal, cada pequeno trecho dele foi responsável por uma sub-bacia de área equivalente ao comprimento e planialtimetria das suas

curvas de níveis adjacentes. Mas posteriormente é relatado os valores coletados de cada área por segmento considerado do ribeirão.

5.3. TEMPO DE RETORNO

Foi calculado o tempo de retorno para os períodos sugeridos pelo DNIT, que são de 50,75 e 100 anos. Vale ressaltar que todas as vazões de suporte foram comparadas ao tempo máximo, 100 anos. Essa escolha se deve aos parâmetros de segurança adotados e também por recomendações da literatura.

5.4. FATOR DE FORMA E COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Determinado as áreas de contribuições, foi possível calcular os fatores de forma da bacia para cada seção e os coeficientes de escoamento superficial através das áreas apresentadas e os valores da Tabelas 3 e 4.

5.5. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Para a determinação do tempo de concentração foi adotado a equação de Kirpich (1940), indicada para áreas rurais maiores que 1 km², conforme os valores de declividades e comprimentos de trechos, encontrados no levantamento das curvas de nível feito no Global Mapper.

5.6. INTENSIDADE DE CHUVA

Os dados de intensidade de chuva para a cidade de Campanha foram calculados a partir da equação 6 e das informações retiradas do software Plúvio 2.1., conforme tabela 12.

Tabela 12 - Dados referentes a cidade de Campanha.

Cidade	Latitude	Longitude	K	a	b	c
CAMPANHA	21°50'10''	45°24'02''	6058,547	0,220	32,868	1,090

Fonte: Plúvio 2.1

5.7. VAZÃO DE PROJETO

Para o cálculo da vazão de projeto foi adotado o Método I-PAI-WU, pela equação 1, que segundo a CETESB (1980) é recomendado para áreas de mais de 1 km². Foram usados os valores calculados anteriormente e o coeficiente de distribuição espacial de chuva, através do ábaco do gráfico 1.

Com a utilização de diferentes intensidades, com seus respectivos tempos de retorno, foi possível retirar vazões de projeto com base em 50, 75 e 100 anos. Como foi considerado o maior tempo de retorno, para se obter a maior vazão de projeto, o hidrograma gerado também foi com base nessa mesma idade.

5.8. VAZÃO DE SUPORTE

Para a determinação da vazão de suporte do canal foi usada as equações 7 e 10, com a progressão dos parâmetros encontrados através do levantamento topográfico como a área, perímetro e raio hidráulico e declividade. O coeficiente de rugosidade de Manning “n” foi determinado através das análises feitas durante o levantamento em campo, seguindo os valores da Tabela 8.

Seguindo as medidas das seções transversais do canal já demonstradas, foi obtido a área da seção, perímetro e a largura superficial da mesma. O coeficiente de rugosidade do canal foi analisado como se fosse um solo de pastagem natural em todo seu trecho. Com isso foi adotado o valor de $n = 0,13$.

5.9. VERIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO

Com os dados abordados, surge a necessidade de averiguação do escoamento do canal e verificação da profundidade hidráulica do escoamento, conforme as equações 9 e 10.

5.10. VERIFICAÇÕES DOS SEGMENTOS DO CANAL

Para organizar melhor a situação de cada divisão segmentar do canal em análise, foram geradas 10 tabelas que tem a finalidade de compilar todos os dados e parâmetros já expostos. Todas as comparações da situação de escoamento foram com base nos tempos de retorno e

vazão de projeto para 100 anos, embora, os trechos que se apresentaram críticos, não suportam nem mesmo as vazões de projeto para tempos de projeto menores.

A seguir as tabelas 13 a 22 demonstram todos os dados obtidos por cada intervalo analisado do canal.

Tabela 13 - Verificações do sistema e do canal para seção 1.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,2	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	267,705	Área da seção (m)	7,14
Área do canal (km ²)	0,11031	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	292,682	Perímetro da seção (m)	11,9
H p/ declivi. (km)	0,003	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	311,805	Largura superficial (m)	4,8
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,579	Raio hidráulico	0,6
K	6058,547	C2	0,329	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,272	Vazão de suporte (m ³ /s)	4,7852
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,6702
C	1,09	Vazão (m ³ /s) PARA 50 ANOS	2,503	profundidade hidráulica (m)	0,4662
Fator de forma	0,534	Vazão (m ³ /s) PARA 75 ANOS	2,737	Declividade do trecho (m/m)	0,0150
Tempo de concentração (Kirpich)	5,659	Vazão (m ³ /s) PARA 100 ANOS	2,915	Número de Froude	0,3134
				Situação de escoamento	OK!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	311,805
Volume total de chuva (m ³)	1797,68
Tempo base de duração (h)	0,34
Fator F	1,30
Volume de ascensão (m ³)	1172,16
Tempo de pico (h)	0,22

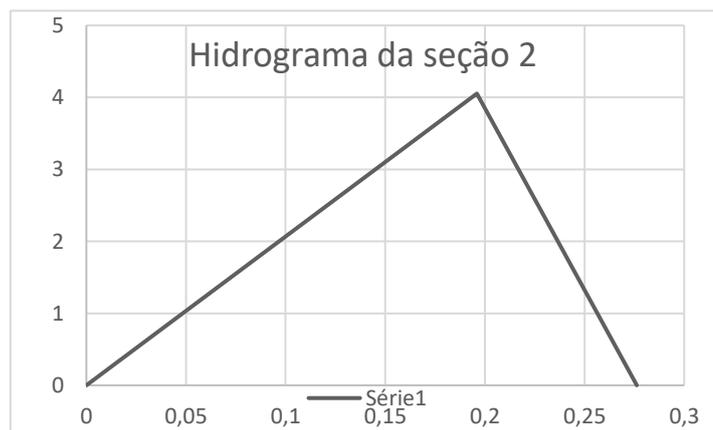
Fonte: O autor (2019)



Tabela 14 - Verificações do sistema e do canal para seção 2.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,2	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	274,984	Área da seção (m)	7,14
Área do canal (km ²)	0,18745	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	300,641	Perímetro da seção (m)	11,9
H p/ declivi. (km)	0,0048	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	320,283	Largura superficial (m)	4,8
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,660	Raio hidráulico	0,6
K	6058,547	C2	0,267	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,228	Vazão de suporte (m ³ /s)	6,0529
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,8477
C	1,09	Vazão (m ³ /s) PARA 50 ANOS	3,480	profundidade hidráulica (m)	0,5452
Fator de forma	0,409	Vazão (m ³ /s) PARA 75 ANOS	3,804	Declividade do trecho (m/m)	0,0240
Tempo de concentração (Kirpich)	4,722	Vazão (m ³ /s) PARA 100 ANOS	4,053	Número de Froude	0,3666
				Situação de escoamento	OK!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	320,283
Volume total de chuva (m ³)	2015,29
Tempo base de duração (h)	0,28
Fator F	1,42
Volume de ascensão (m ³)	1429,91
Tempo de pico (h)	0,20

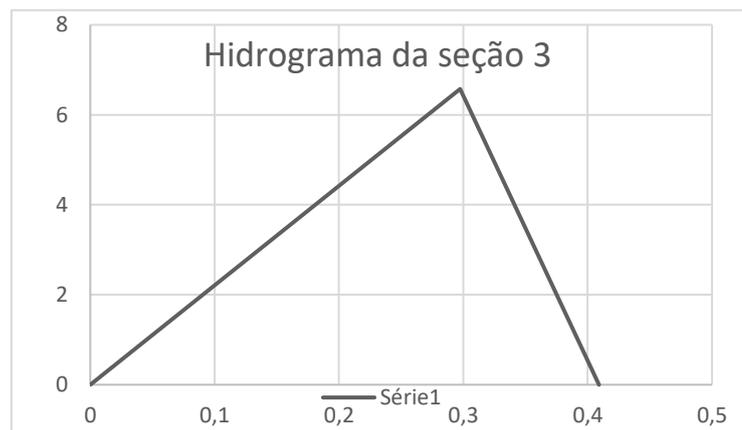


Fonte: O autor (2019)

Tabela 15 - Verificações do sistema e do canal para seção 3.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,248	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	257,440	Área da seção (m)	7,14
Área do canal (km²)	0,34315	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	281,460	Perímetro da seção (m)	11,9
H p/ declivi. (km)	0,003213	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	299,849	Largura superficial (m)	4,8
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,684	Raio hidráulico	0,6
K	6058,547	C2	0,2657	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,229	Vazão de suporte (m³/s)	4,4472
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,6229
C	1,09	Vazão (m³/s) PARA 50 ANOS	5,644	profundidade hidráulica (m)	0,4440
Fator de forma	0,375	Vazão (m³/s) PARA 75 ANOS	6,171	Declividade do trecho (m/m)	0,0130
Tempo de concentração (Kirpich)	7,066	Vazão (m³/s) PARA 100 ANOS	6,574	Número de Froude	0,2985
				Situação de escoamento	CRÍTICO!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	299,849
Volume total de chuva (m³)	4841,10
Tempo base de duração (h)	0,41
Fator F	1,45
Volume de ascensão (m³)	3520,32
Tempo de pico (h)	0,30

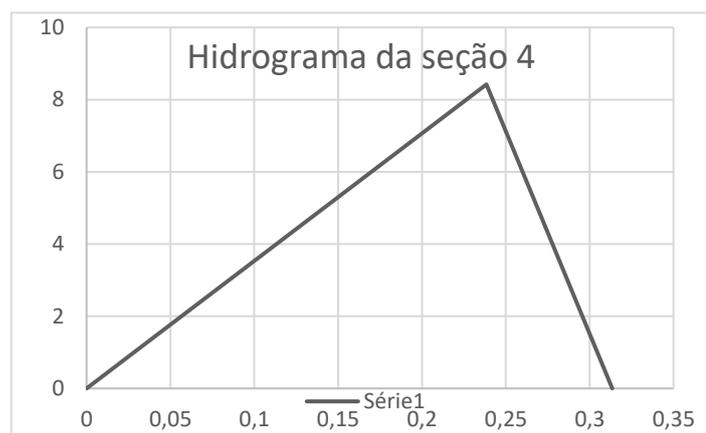


Fonte: O autor (2019)

Tabela 16 - Verificações do sistema e do canal para seção 4.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,2	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	268,761	Área da seção (m)	7,83
Área do canal (km ²)	0,3180735	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	293,836	Perímetro da seção (m)	12,09
H p/ declivi. (km)	0,0032	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	313,034	Largura superficial (m)	4,7
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,728	Raio hidráulico	0,64764268
K	6058,547	C2	0,3424	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,301	Vazão de suporte (m ³ /s)	5,7030
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,7284
C	1,09	Vazão (m ³ /s) PARA 50 ANOS	7,230	profundidade hidráulica (m)	0,5314
Fator de forma	0,314	Vazão (m ³ /s) PARA 75 ANOS	7,905	Declividade do trecho (m/m)	0,0160
Tempo de concentração (Kirpich)	5,520	Vazão (m ³ /s) PARA 100 ANOS	8,421	Número de Froude	0,3190
				Situação de escoamento	CRÍTICO!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	313,034
Volume total de chuva (m ³)	4752,16
Tempo base de duração (h)	0,31
Fator F	1,52
Volume de ascensão (m ³)	3615,81
Tempo de pico (h)	0,24

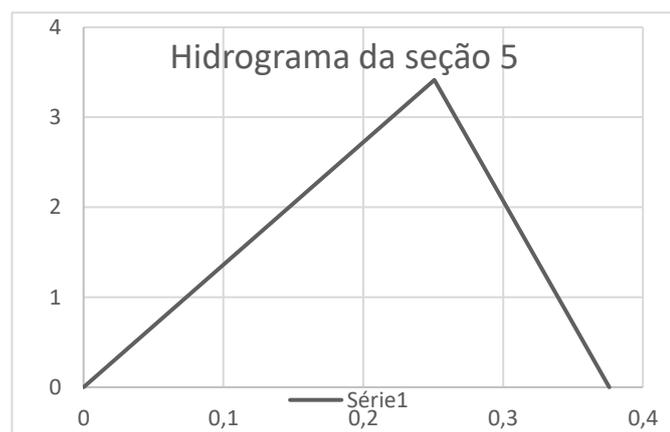


Fonte: O autor (2019)

Tabela 17 - Verificações do sistema e do canal para seção 5.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,2	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	263,163	Área da seção (m)	7,83
Área do canal (km ²)	0,126728	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	287,717	Perímetro da seção (m)	12,09
H p/ declivi. (km)	0,0023	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	306,515	Largura superficial (m)	4,7
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,601	Raio hidráulico	0,64764268
K	6058,547	C2	0,3427	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,286	Vazão de suporte (m ³ /s)	4,8349
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,6175
C	1,09	Vazão (m ³ /s) PARA 50 ANOS	2,931	profundidade hidráulica (m)	0,4760
Fator de forma	0,498	Vazão (m ³ /s) PARA 75 ANOS	3,205	Declividade do trecho (m/m)	0,0115
Tempo de concentração (Kirpich)	6,269	Vazão (m ³ /s) PARA 100 ANOS	3,414	Número de Froude	0,2857
				Situação de escoamento	OK!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	306,515
Volume total de chuva (m ³)	2310,25
Tempo base de duração (h)	0,38
Fator F	1,34
Volume de ascensão (m ³)	1542,34
Tempo de pico (h)	0,25

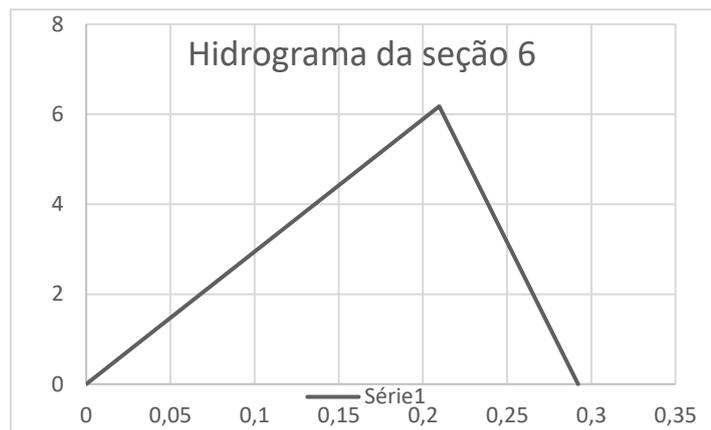


Fonte: O autor (2019)

Tabela 18 - Verificações do sistema e do canal para seção 6.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,2	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	272,647	Área da seção (m)	7,83
Área do canal (km ²)	0,20314	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	298,086	Perímetro da seção (m)	12,09
H p/ declivi. (km)	0,0041	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	317,562	Largura superficial (m)	4,7
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,671	Raio hidráulico	0,64764268
K	6058,547	C2	0,3798	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,326	Vazão de suporte (m ³ /s)	6,4553
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,8244
C	1,09	Vazão (m ³ /s) PARA 50 ANOS	5,301	profundidade hidráulica (m)	0,5772
Fator de forma	0,393	Vazão (m ³ /s) PARA 75 ANOS	5,796	Declividade do trecho (m/m)	0,0205
Tempo de concentração (Kirpich)	5,018	Vazão (m ³ /s) PARA 100 ANOS	6,175	Número de Froude	0,3465
				Situação de escoamento	OK!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	317,562
Volume total de chuva (m ³)	3246,76
Tempo base de duração (h)	0,29
Fator F	1,44
Volume de ascensão (m ³)	2330,35
Tempo de pico (h)	0,21

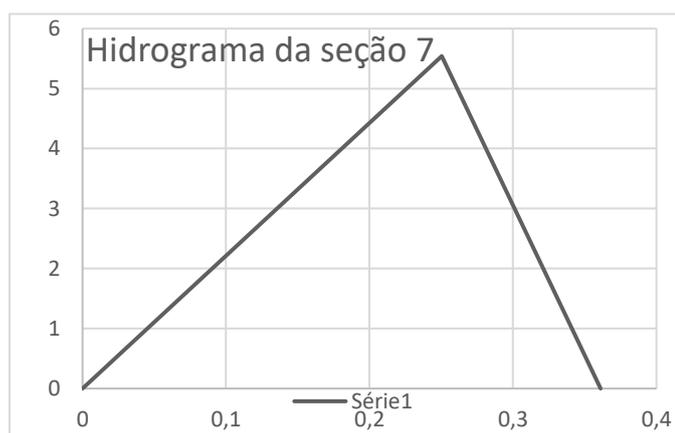


Fonte: O autor (2019)

Tabela 19 - Verificações do sistema e do canal para seção 7.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,235	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	264,296	Área da seção (m)	7,83
Área do canal (km²)	0,2222351	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	288,955	Perímetro da seção (m)	12,09
H p/ declivi. (km)	0,00398	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	307,834	Largura superficial (m)	4,7
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,638	Raio hidráulico	0,64764268
K	6058,547	C2	0,3289	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,279	Vazão de suporte (m³/s)	5,8675
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,7494
C	1,09	Vazão (m³/s) PARA 50 ANOS	4,757	profundidade hidráulica (m)	0,5416
Fator de forma	0,442	Vazão (m³/s) PARA 75 ANOS	5,201	Declividade do trecho (m/m)	0,0169
Tempo de concentração (Kirpich)	6,115	Vazão (m³/s) PARA 100 ANOS	5,541	Número de Froude	0,3251
				Situação de escoamento	OK!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	307,834
Volume total de chuva (m³)	3601,01
Tempo base de duração (h)	0,36
Fator F	1,39
Volume de ascensão (m³)	2497,62
Tempo de pico (h)	0,25

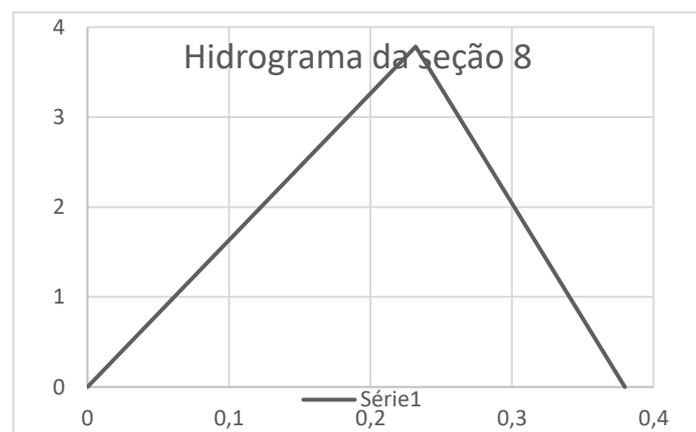


Fonte: O autor (2019)

Tabela 20 - Verificações do sistema e do canal para seção 8.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,257	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	264,277	Área da seção (m)	7,83
Área do canal (km ²)	0,127732	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	288,934	Perímetro da seção (m)	12,09
H p/ declivi. (km)	0,0052	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	307,812	Largura superficial (m)	4,7
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,517	Raio hidráulico	0,64764268
K	6058,547	C2	0,3887	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,313	Vazão de suporte (m ³ /s)	6,4132
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,8191
C	1,09	Vazão (m ³ /s) PARA 50 ANOS	3,248	profundidade hidráulica (m)	0,5747
Fator de forma	0,637	Vazão (m ³ /s) PARA 75 ANOS	3,551	Declividade do trecho (m/m)	0,0202
Tempo de concentração (Kirpich)	6,117	Vazão (m ³ /s) PARA 100 ANOS	3,783	Número de Froude	0,3450
				Situação de escoamento	OK!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	307,812
Volume total de chuva (m ³)	2586,22
Tempo base de duração (h)	0,38
Fator F	1,22
Volume de ascensão (m ³)	1579,59
Tempo de pico (h)	0,23

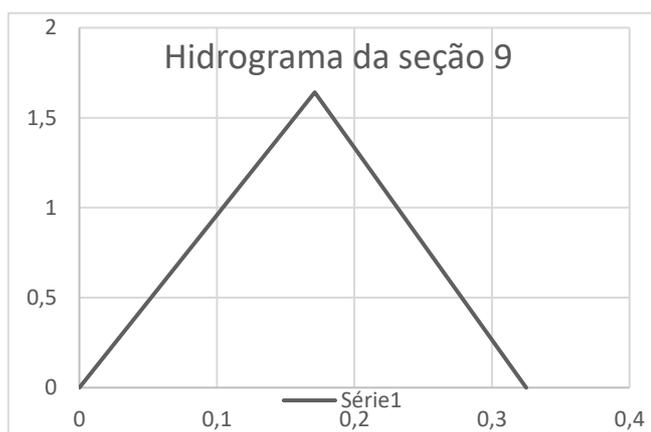


Fonte: O autor (2019)

Tabela 21 - Verificações do sistema e do canal para seção 9.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,218	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	273,097	Área da seção (m)	7,83
Área do canal (km²)	0,046317	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	298,577	Perímetro da seção (m)	12,09
H p/ declivi. (km)	0,00547	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	318,085	Largura superficial (m)	4,7
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,380	Raio hidráulico	0,64764268
K	6058,547	C2	0,4289	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,327	Vazão de suporte (m³/s)	7,1418
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,9121
C	1,09	Vazão (m³/s) PARA 50 ANOS	1,409	profundidade hidráulica (m)	0,6174
Fator de forma	0,898	Vazão (m³/s) PARA 75 ANOS	1,541	Declividade do trecho (m/m)	0,0251
Tempo de concentração (Kirpich)	4,961	Vazão (m³/s) PARA 100 ANOS	1,641	Número de Froude	0,3706
				Situação de escoamento	OK!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	318,085
Volume total de chuva (m³)	959,71
Tempo base de duração (h)	0,32
Fator F	1,05
Volume de ascensão (m³)	505,73
Tempo de pico (h)	0,17

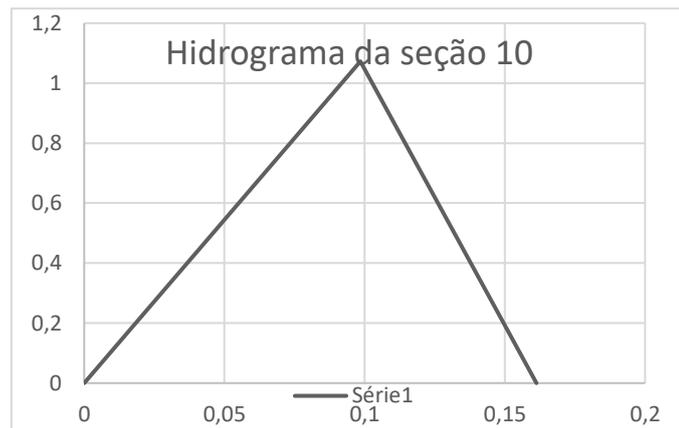


Fonte: O autor (2019)

Tabela 22 - Verificações do sistema e do canal para seção 10.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,112	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	292,985	Área da seção (m)	7,83
Área do canal (km²)	0,024296	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	320,322	Perímetro da seção (m)	12,09
H p/ declivi. (km)	0,00398	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	341,250	Largura superficial (m)	4,7
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,517	Raio hidráulico	0,64764268
K	6058,547	C2	0,4426	Coefficiente de rugosidade	0,13
A	0,22	C	0,357	Vazão de suporte (m³/s)	8,4991
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	1,0855
C	1,09	Vazão (m³/s) PARA 50 ANOS	0,921	profundidade hidráulica (m)	0,6934
Fator de forma	0,637	Vazão (m³/s) PARA 75 ANOS	1,007	Declividade do trecho (m/m)	0,0355
Tempo de concentração (Kirpich)	2,598	Vazão (m³/s) PARA 100 ANOS	1,073	Número de Froude	0,4162
				Situação de escoamento	OK!

PARAMETROS PARA 100 ANOS	341,250
Volume total de chuva (m³)	311,34
Tempo base de duração (h)	0,16
Fator F	1,22
Volume de ascensão (m³)	190,22
Tempo de pico (h)	0,10



Fonte: O autor (2019)

5.11. DIAGNÓSTICO DOS RESULTADOS OBTIDOS E SOLUÇÕES PARA O DEVIDO PROBLEMA

A partir dos dados levantados verifica-se que o canal estudado suporta, em sua maioria, a vazão de contribuição. Com relação as velocidades de escoamento verificaram-se que essas estão de acordo, pois, estão em estado subcrítico de escoamento, o que não gera consequências a montante do canal.

Várias são as medidas que podem ser adotadas para solução do problema, no entanto, modificações como a alteração ou alargamento da seção transversal do canal, estão fora de questão. Não espaço disponível para esse tipo de remanejamento, as áreas onde apresenta-se criticidade são áreas já totalmente ocupada pela população. Para tal consideração deveria haver uma desapropriação de terra e vários processos para que o alargamento dessa seção ocorresse.

Uma alternativa válida é a alteração das paredes das seções, com a alteração da rugosidade, aumenta-se a velocidade e com isso aumenta-se o suporte a vazão. Outra medida viável é a criação de um reservatório de acumulação, a montante desse trecho, para que ele detenha a água excedida e retenha essa água pós ocupação da bacia.

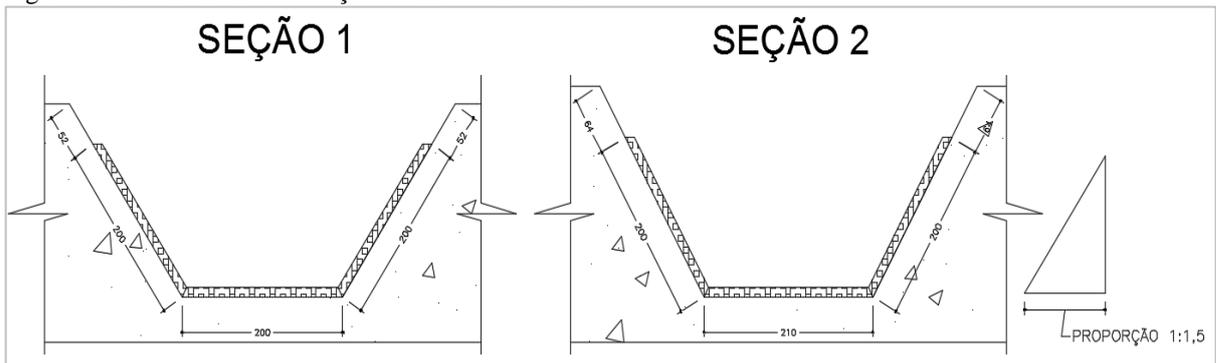
A proposta abordada para a solução dos problemas do canal, foi a alteração da rugosidade do canal, onde o canal que era de pastagem natural de $n = 0,13$, alterou-se para um canal de Colchão Reno com rugosidade de $n = 0,0303$. A escolha desse coeficiente também se deve a descrição da natureza de superfície apresentada na tabela 10, que é de “canais em terra executados com escavadeira mecânica e com manutenção descuidada”.

Para ter menores escavações e alterações na essência do canal, ele teve sua declividade preservada e suas seções alteradas. A inclinação da seção transversal do canal já se encontra na razão de 1:1,5, portanto não é preciso a alteração, e com isso, a possibilidade da instalação do Colchão Reno já é existente. Com a mudança da rugosidade desses trechos, as velocidades de escoamento iriam aumentar significativamente, por isso, a adoção de faixas de transição de material foi adotada em projeto.

Para a determinação das seções de Colchão Reno foram verificadas as peças disponíveis no mercado, onde destacou-se que as larguras de todas as peças são medidas com cerca de dois metros, com a alteração apenas os comprimentos e alturas.

A base das seções em questão, conta com essa medida padrão do Colchão Reno, por isso a instalação do mesmo no local seria facilitada. O esquema de como ficaria as seções com a instalação desse elemento segue-se na figura 8.

Figura 8 - Detalhamento das seções com Colchão Reno



Fonte: O autor (2019)

Com a alteração da rugosidade dessas seções, foram feitas novas verificações das velocidades e vazões comportadas. Segue resultados nas tabelas 23 e 24, com demonstração dos segmentos 3 e 4, respectivamente.

Tabela 23 - Verificações do sistema e do canal para seção 3 com rugosidade alteradas.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,248	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	257,440	Área da seção (m)	7,14
Área do canal (km ²)	0,34315	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	281,460	Perímetro da seção (m)	11,9
H p/ declivi. (km)	0,003213	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	299,849	Largura superficial (m)	4,8
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,684	Raio hidráulico	0,6
K	6058,547	C2	0,2657	Coefficiente de rugosidade	0,0303
A	0,22	C	0,229	Vazão de suporte (m ³ /s)	19,0803
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,9207
C	1,09	Vazão (m ³ /s) PARA 50 ANOS	5,644	profundidade hidráulica (m)	1,1722
Fator de forma	0,375	Vazão (m ³ /s) PARA 75 ANOS	6,171	Declividade do trecho (m/m)	0,0130
Tempo de concentração (Kirpich)	7,066	Vazão (m ³ /s) PARA 100 ANOS	6,574	Número de Froude	0,2715
				Situação de escoamento	OK!

Fonte: O autor (2019)

Tabela 24 - Verificações do sistema e do canal para seção 4 com rugosidade alteradas.

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,2	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	268,761	Área da seção (m)	7,83
Área do canal (km²)	0,3180735	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	293,836	Perímetro da seção (m)	12,09
H p/ declivi. (km)	0,0032	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	313,034	Largura superficial (m)	4,7
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,728	Raio hidráulico	0,64764268
K	6058,547	C2	0,3424	Coefficiente de rugosidade	0,0303
A	0,22	C	0,301	Vazão de suporte (m³/s)	24,4682
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	1,0755
C	1,09	Vazão (m³/s) PARA 50 ANOS	7,230	profundidade hidráulica (m)	1,4032
Fator de forma	0,314	Vazão (m³/s) PARA 75 ANOS	7,905	Declividade do trecho (m/m)	0,0160
Tempo de concentração (Kirpich)	5,520	Vazão (m³/s) PARA 100 ANOS	8,421	Número de Froude	0,2899
				Situação de escoamento	OK!

Fonte: O autor (2019)

É possível verificar que após a mudança do material, a capacidade de transporte do canal aumentou substancialmente, de tal maneira que o escoamento não fica mais comprometido. No entanto, com essa alteração, a velocidade também teve um ganho em seu valor. Esse dado é alarmante visto que uma velocidade superior pode causar erosão no próximo trecho a jusante. Com o confrontamento da tabela 24 com a tabela 17, é possível notar que a seção 5 só comporta uma velocidade máxima de 0,6175 m/s, e a seção 4, com a alteração da rugosidade, ficou com uma velocidade de 1,0755 m/s.

Para que os trechos subsequentes não tenham problemas com esse fato, a seção 5 também teve seu material alterado para proporcionar uma faixa de transição de tal modo que a sua rugosidade aumente a fim de proporcionar uma redução gradual da velocidade. Para tal foi adotado um material com coeficiente de rugosidade intermediário aos já usados em projeto. Nesse caso foi utilizado margens espriadas com vegetação em boas condições $n=0,100$. Para

garantir essa condição o uso de areia e vegetação nativa desse solo foi adotada. Esse valor de rugosidade foi encontrado na tabela 25, disponibilizada por PORTO (1998).

Tabela 25 - Coeficientes de rugosidade de Manning

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual anterior, porém c/ pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espreiadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espreiadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: Porto (1998) e Cirilo et al. (2001)

Com essa alteração, a velocidade de suporte do segmento 5 fica com o resultado expresso na tabela 26. Essa mudança possibilitou que a seção comportasse uma velocidade de até 0,8027 m/s, por conseguinte, superior ao trecho anterior e inferior ao sucessivo, portanto, com essa análise as variações de velocidade não causam prejuízo no fluxo do canal. O detalhamento e indicações da mudança de material nas seções está apresentado no apêndice.

Tabela 26 - Verificação da seção 5, a jusante das seções críticas

Verificação sistema				Verificação canal	
Comprimento canal (Km)	0,2	Intensidade (mm/h) p/ 50 anos	263,163	Área da seção (m)	7,83
Área do canal (km²)	0,126728	Intensidade (mm/h) p/ 75 anos	287,717	Perímetro da seção (m)	12,09
H p/ declivi. (km)	0,0023	Intensidade p/ (mm/h) 100 anos	306,515	Largura superficial (m)	4,7
DADOS DO PLÚVIO 2.1.		C1	1,601	Raio hidráulico	0,64764268
K	6058,547	C2	0,3427	Coefficiente de rugosidade	0,1
A	0,22	C	0,286	Vazão de suporte (m³/s)	6,2854
B	32,868	K ABACO	0,9	Velocidade média(m/s)	0,8027
C	1,09	Vazão (m³/s) PARA 50 ANOS	2,931	profundidade hidráulica (m)	0,5670
Fator de forma	0,498	Vazão (m³/s) PARA 75 ANOS	3,205	Declividade do trecho (m/m)	0,0115
Tempo de concentração (Kirpich)	6,269	Vazão (m³/s) PARA 100 ANOS	3,414	Número de Froude	0,3404
				Situação de escoamento	OK!

Fonte: O autor (2019)

6. ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS E SERVIÇOS

6.1. OBJETIVOS

A especificação tem por objetivo definir o redimensionamento do canal, verificação do controle de materiais e serviços para a execução do mesmo.

6.2. REDIMENSIONAMENTO DO CANAL

O canal terá suas seções regularizadas e seu revestimento em Colchão Reno.

6.2.1 Equipamentos e serviços

Para a colocação, enchimento, arrumação e fechamento dos gabiões é necessário a utilização de:

- - Escavadeira hidráulica;
- - Luvas;
- - Alicates normal;
- - Alicates de corte;
- - Alicates e cortadora tipo "telegrafista";
- - Pequena alavanca;
- - Marreta de 1,0kg;
- - Caminhão basculante;

a) Arames:

Todo arame utilizado na fabricação do colchão Reno e nas operações de amarração e atirantamento deve ser de aço doce recozido, de acordo com as especificações NBR 8.964, ASTM A641M-98 e NB 709-00, e deverá ter: tensão de ruptura média de 38 kg/mm² a 48 kg/mm²; revestimento de liga zinco-5% alumínio (Zn 5 Al MM), de acordo com as especificações da ASTM A856M-98; de acordo com as especificações NBR 8.964 e ASTM A641M-98, o alongamento não deverá ser menor do que 12%; e recobrimento plástico à base de PVC, com características iniciais de acordo com as especificações da NBR 10.514, NB 710-00 e NP 17 055 00.

b) Telas:

Devem ser em malha hexagonal de dupla torção, de acordo com as especificações da NBR 10.514, NB 710-00 e NP 17 055 00. As dimensões da malha são do tipo 6 x 8. O diâmetro do arame utilizado na fabricação da malha deve ser de 2 mm e de 2,4 mm para as bordas.

c) Colchão:

Base, tampa, diafragmas e paredes laterais e das extremidades devem ser formadas a partir de um único pano de tela. Cada diafragma de parede dupla, formado a partir de dobras no pano da base, deve apresentar, em sua parte inferior, quatro espirais de união em arame de diâmetro 2 mm recoberto com PVC.

Para a execução do plantio de grama na seção considerada do talude, será necessário a utilização de:

- Gramas do tipo batatais.
- Estacas
- Marreta de 1,0kg.

6.2.2 Execução

a) Colchão Reno: A implantação do Colchão Reno será feita conforme especificação da Maccaferri, informadas no anexo.

b) Plantio da grama e colocação de areia: O plantio da grama no talude, na seção considerada, será feito por equipe especializada, com o espalhamento os tapetes de gramas. Para a fixação dos tapetes no talude será utilizado estacas de no máximo 20 cm que servirá como apoio até que a grama brote e crie suas raízes no talude. A areia deve ser colocada na base, isso ajuda na rugosidade do trecho, a fixação da areia será garantida por meio de jateamento do material no talude juntamente com o plantio da vegetação.

7. ORÇAMENTO

Os dados para o orçamento da obra foram retirados das tabelas do SINAPI de outubro de 2019. Para o orçamento prévio da obra não será adotado o uso de BDI.

Tabela 27 - Estimativas de custo com base na SINAPI

Código	Descrição	Unidade	Preço Unit.	Quantidade	Preço Total
92756	PROTEÇÃO SUPERFICIAL DE CANAL EM GABIÃO TIPO COLCHÃO, ALTURA DE 23 CENTÍMETROS, ENCHIMENTO COM PEDRA DE MÃO TIPO RACHÃO - FORNECIMENTO E EXECUÇÃO. AF_12/2015	M ²	R\$ 128,94	3.225,92	R\$ 415.950,12
73788/001	PLANTIO ARBUSTO DE H=0.5 A 0.7M COM 12 UNID/M2, APENAS MÃO DE OBRA	M ²	R\$ 3,87	1.566,00	R\$ 6.060,42
74236/001	GRAMA BATATAIS	M ²	R\$ 10,48	1.566,00	R\$ 16.411,68
370	AREIA MEDIA	M ²	R\$ 70,00	1.566,00	R\$ 109.620,00
ORÇAMENTO TOTAL DA OBRA S/BDI					R\$ 438.422,22

Fonte: O autor (2019)

8. CONCLUSÃO

Após realizados os estudos foi comprovado que o canal estudado, comportava, em partes, a vazão de contribuição da região. Porém, havia pontos críticos de escoamento e com isso, problemas de cheia, justamente em locais onde há residentes e pessoas que ali habitam. Foram analisados os possíveis fatores que contribuem com as enchentes locais, como os entulhos e o tamanho das seções transversais. Os dados de chuva e caracterização da bacia foram feitos segundo o que a literatura recomenda. O canal foi segmentado em dez seções e cada uma delas foi analisada quanto a sua situação de escoamento, para isso foi comparado a vazão de suporte do canal e a vazão de contribuição da bacia para cada seção.

Depois de vários métodos estudados para correção dos problemas, destacou-se o uso do Colchão Reno como revestimento do canal. Com o uso do Colchão Reno a velocidade de escoamento será maior e, conseqüentemente, a capacidade de suporte para a vazão será maior. Junto a ele optou-se pelo uso de areia e vegetação, a fim de criar a condição de margem espriada com muita vegetação, na seção a jusante dos trechos críticos, para acontecer a frenagem da velocidade de escoamento e não causar erosão no canal durante seu caminhamento.

O Colchão deverá ser instalado de forma que compreenda apenas as seções em que a vazão de suporte foi menor que a vazão de contribuição do sistema, de tal forma que garanta a facilidade de mão-de-obra e maior custo-benefício para o problema abordado. Com a adoção do método busca-se melhorias para a população e desenvolvimento da cidade, que não vivenciará enchentes nos dias de grandes precipitações.

REFERÊNCIAS

CETESB. **Drenagem Urbana**. 2ª edição, São Paulo: DAFE/CETESB, 1980.

EVANGELISTA, Adão Wagner Pêgo. **Condutos Livres ou Canais**. Disponível em: < <https://www.passeidireto.com/arquivo/37639417/3-1-condutos-livres>> Acesso em: 14/08/2019

FRANCO, Eduardo José. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional**. Disponível em: < https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/085-Edu_Jose_Franco.pdf>. Acesso em: 23/03/2019

GRIBBIN, John E. **Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. 4ª edição, São Paulo: Cengage Learning, 2014.

Infraestrutura Urbana – Soluções técnicas – Colchão Reno. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/31/1-colchao-reno-as-recomendacoes-para-a-montagem-do-296606-1.aspx>>. Acesso em 04 de outubro de 2019

MACCAFERRI - **Revestimentos flexíveis em colchões Reno e gabiões nos canais e cursos de água canalizados. Critérios de projeto e cálculo dos revestimentos em Colchões Reno e Gabiões nos canais a céu aberto**. Capítulo III, 1985.

MELO, Aline, SIMÃO, Izolda, BARROS, Karina e CARVALHO, Neiza. **Comparativo do Tempo de Concentração no Resultado da Vazão de uma Bacia Hidrográfica, Através do Método Racional**. 2010. 48p.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. 1.ed. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540 p.

RIGHETTO, Antônio M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 1ª edição, Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: Aspectos Tecnológicos, Fundamentos**. Volume 2, São Paulo: SMDU, 2012.

SINAPI – Índices da Construção Civil. Disponível em: < <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>> . Acesso em: 23/10/2019.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. 2002. 452p.

TOMAZ, Plínio. **Fórmula de Manning e Canais**. Cap.50. 2013. 70p.

TOMAZ, Plínio. **Método de I-PAI-WU**. Cap.66. 2014. 10p.

TOMAZ, Plínio. **Período de Retorno**. Cap.3. 2015. 9p.

TOMAZ, Plínio. **Revestimento de canais com gabião colchão reno**. Cap.63. 2010. 16p.

TUCCI, Carlos. **Drenagem Urbana**. 1ª edição, Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

TUCCI, Carlos. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª edição, Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 1993.

APÊNDICE
DESENHOS DE PROJETO

ANEXO
ESPECIFICAÇÕES MACCAFERRI

De acordo com a Maccaferri as especificações de serviço de Colchão Reno são conforme:

1) Montagem:

Deve-se retirar a base de cada peça do fardo e transportá-la ainda dobrada ao local da montagem, onde então deve ser desdobrada sobre uma superfície rígida e plana. Em seguida, todas as irregularidades dos painéis são retiradas até que se obtenha o comprimento nominal da peça. Na dobra, os cortes servem como guias para a definição da altura do colchão. As paredes dos diafragmas que ficarem abertas devem ser unidas, e as paredes laterais e os diafragmas, posicionados em vertical. É aconselhável a utilização de um sarrafo de madeira para o perfeito alinhamento da dobra. Uma vez posicionadas as paredes longitudinais na vertical, formam-se abas a partir das paredes transversais, que devem ser dobradas e amarradas às paredes longitudinais, usando os arames de maior diâmetro. As partes dobradas das paredes longitudinais devem ser amarradas aos diafragmas, usando o arame enviado junto com os colchões, de tal maneira que essas dobras coincidam e se fixem aos diafragmas. Assim, o colchão ficará separado por células a cada metro.

2) Instalação:

Depois de montados, os colchões devem ser transportados até o local definido em projeto, posicionados apropriadamente e costurados entre si. Caso o talude seja muito inclinado, a instalação dos colchões deve ser feita com o auxílio de elementos que garantam sua estabilidade, como estacas de madeira e grampos. O talude deve ser geotecnicamente estável, previamente preparado e nivelado. Por isso, devem ser extraídas raízes, pedras e qualquer material que se sobressaia e preencha eventuais depressões. Durante a montagem dos colchões, devem ser colocados tirantes verticais que unem a tampa à base dos elementos, auxiliando o confinamento do material de enchimento e minimizando a possibilidade de deformações durante a vida de serviço do revestimento. Os tirantes são obtidos a partir do atravessamento da parte central de um pedaço de arame de amarração - cujo comprimento deve ser de aproximadamente quatro vezes a espessura do colchão - por duas torções (quatro arames) da base, deixando as extremidades na posição vertical.

3) Enchimento:

Quando instalado em terrenos inclinados, os colchões devem ser preenchidos a partir da parte inferior do talude. As pedras devem ser colocadas apropriadamente para reduzir ao máximo o índice de vazios, assim como previsto em projeto, entre 25% e 30%. O tamanho das pedras deve ser mais homogêneo e levemente superior às aberturas das malhas do colchão, a fim de garantir, no mínimo, duas camadas de pedras, melhor acabamento e facilitar o enchimento. O preenchimento de cada célula deve exceder sua altura em aproximadamente 3 cm.

4) Fechamento:

Depois de completado o preenchimento dos colchões, devem ser trazidas até o local de instalação as tampas ainda dobradas. Cada tampa deve ser dobrada e estendida sobre o respectivo colchão. Depois de amarrada em uma das bordas, a tampa é puxada e amarrada ao longo das outras bordas, sendo unida também aos diafragmas e aos tirantes verticais. A amarração deve, sempre que possível, unir a borda do colchão vizinho.