

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG

ENGENHARIA CIVIL

MAIKON COSTA BROGI

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM URBANA DO RIBEIRÃO
SANTA MARIA E SEUS AFLUENTES EM VARGINHA - MG**

Varginha

2019

MAIKON COSTA BROGI

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM URBANA DO RIBEIRÃO
SANTA MARIA E SEUS AFLUENTES EM VARGINHA - MG**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS/MG) como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação da Professora Esp. Luana Ferreira Mendes.

Varginha

2019

MAIKON COSTA BROGI

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM URBANA DO RIBEIRÃO
SANTA MARIA E SEUS AFLUENTES EM VARGINHA - MG**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS/MG) como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação da Professora Esp. Luana Ferreira Mendes.

Aprovado em / /

Professora Esp. Luana Ferreira Mendes (Orientadora)

Professor:

Professor:

OBS:

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus pais, a minha família e a minha namorada pelo apoio dado durante todos esses anos na graduação. Agradeço também aos amigos que fiz durante a faculdade, que me apoiaram e me incentivaram durante toda essa jornada, juntamente de todos professores que contribuíram no conhecimento que adquiri, e em especial à minha orientadora Prof^a. Esp. Luana Ferreira Mendes, por todo suporte dado na realização deste trabalho.

“A persistência é o caminho do êxito.”
Charles Chaplin

RESUMO

Eventos de alagamentos e enchentes, são fenômenos naturais que ocorrem com frequência nos cursos d'água devido a ocupação desordenada da população, ou seja, por alterações antrópicas e isso geralmente ocorrem nas épocas de grandes precipitações. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar e identificar as principais causas de enchentes e inundações nos trechos do ribeirão Santa Maria, localizado na cidade de Varginha-MG e propor soluções para saná-las. Com o intuito de corrigir os devidos erros utilizou-se pesquisa bibliográfica, foi feito o levantamento planialtimétrico por meio do software Global Mapper e Google Earth Pro onde foi possível analisar que a bacia tem um fator de compacidade próximo a 1,27 representando risco de alagamento. Os dados pluviométricos foram coletados na estação meteorológica do Procafé. O Levantamento em campo utilizou-se as ferramentas trena a laser e trena métrica para obtenção da capacidade dos dispositivos de drenagem. Concluiu-se que o sistema de macrodrenagem local é ineficiente quando há uma alta intensidade de chuva, ocasionando alagamentos e enchentes que são causados principalmente pela não capacidade de transporte da vazão recebida no canal e a falta de manutenção que gera grande volume de vegetação, obstruindo o mesmo.

Palavra-chave: Alagamentos urbanos. Drenagem urbana. Macrodrenagem e microdrenagem.

ABSTRACT

Overflow and floods events are natural phenomena that occur frequently in water courses due to disorderly occupation of the population, that is due to anthropic alterations, and this usually occurs during times of great precipitation. Therefore, the present work has as main objective to analyze and identify the main causes of floods and flooding in the stretches of Santa Maria stream, located in Varginha-MG and to propose solutions to remedy them. In order to correct the errors due to bibliographic research, a planialtimetric survey was performed using the Global Mapper software where the level curves showed that the basin has a compactness close to 1,27 representing a risk of flooding. The rainfall data were collected at the Procafé weather station. The field survey used the tools laser tape measure and tape measure to obtain the capacity of drainage devices. It was concluded that the local macrodrainage system is inefficient when there is a high rainfall intensity, causing flooding and flooding that are mainly caused by the inability to transport the flow received in the channel and the lack of maintenance that generates large volume of vegetation, obstructing the same.

Keywords: *Urban flooding. Urban drainage, Macrodrainage and microdainage.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|-----------|
| Figura 1: Mecanismo do ciclo hidrológico | 17 |
| Figura 2: Geometria do escoamento | 18 |
| Figura 3: Alagamento no ponto 12 | 20 |
| Figura 4: Alagamento no ponto 13 | 20 |
| Figura 5: Configuração dos elementos de drenagem..... | 23 |
| Figura 6: Corte transversal de elementos da microdrenagem..... | 23 |
| Figura 7: Canal na cidade de Varginha-MG..... | 25 |
| Figura 8: Localização de Varginha-MG..... | 27 |
| Figura 9: Ribeirão Santa Maria acompanhado pela Avenida Miguel Alves | 28 |
| Figura 10: Vista das bacias de contribuição | 28 |
| Figura 11: Alagamento no ponto 12 | 29 |
| Figura 12: Ruas alagadas no ponto 12..... | 30 |
| Figura 13: Fluxograma metodológico | 31 |
| Figura 14: Equipamentos de medição | 32 |
| Figura 15: Ábaco para valores de coeficiente especial da chuva | 33 |
| Figura 16: Elementos geométricos das seções transversais..... | 39 |
| Figura 17: Borda livre | 42 |
| Figura 18: Ponte rompida entre os pontos 11 e 12 | 51 |
| Figura 19: Ruas alagadas no ponto 12..... | 51 |
| Figura 20: Ruas alagadas no ponto 13..... | 52 |
| Figura 21: Volume de vegetação entre os pontos 2” e 3” | 53 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| Tabela 1: Tempos de retorno para microdrenagem | 24 |
| Tabela 2: Valores de C2 em função da impermeabilidade do solo | 35 |
| Tabela 3: Períodos de retorno para diferentes ocupações de área | 37 |
| Tabela 4: Coeficiente de Manning para o tipo de superfície de escoamento | 40 |
| Tabela 5: Área de contribuição por seção | 43 |
| Tabela 6: Declividade das seções | 44 |
| Tabela 7: Dados referentes a cidade de Varginha | 46 |
| Tabela 8: Vazões de pico para cada seção..... | 47 |
| Tabela 9: Vazão de suporte das seções..... | 48 |
| Tabela 10: Verificação de escoamento do canal | 49 |
| Tabela 11: Comparativo de vazões..... | 50 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|-----------|
| Equação 1: Vazão de projeto | 32 |
| Equação 2: Fator de compacidade | 33 |
| Equação 3: Fator de forma | 34 |
| Equação 4: Coeficiente de escoamento superficial | 35 |
| Equação 5: Coeficiente de forma C_1 | 35 |
| Equação 6: Coeficiente de escoamento superficial para tempo de retorno T anos | 35 |
| Equação 7: Intensidade de chuva..... | 36 |
| Equação 8: Tempo de retorno | 36 |
| Equação 9: Probabilidade em % | 37 |
| Equação 10: Tempo de concentração | 38 |
| Equação 11: Velocidade de escoamento | 38 |
| Equação 12: Equação da continuidade..... | 40 |
| Equação 13: Número de Froude..... | 41 |
| Equação 14: Profundidade hidráulica..... | 41 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----------|
| Quadro 1: Terminologia em sistemas de microdrenagem urbana | 22 |
|---|-----------|

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 OBJETIVOS | 16 |
| 2.1 Objetivo geral | 16 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 16 |
| 3 REFERENCIAL TEÓRICO | 17 |
| 3.1 Hidrologia urbana | 17 |
| 3.1.1 Bacia Hidrográfica | 17 |
| 3.1.2 Chuvas intensas | 18 |
| 3.1.3 Inundações | 19 |
| 3.2 Drenagem urbana..... | 21 |
| 3.2.1 Microdrenagem..... | 22 |
| 3.2.2 Macrodrenagem | 24 |
| 3.3 Canais de Drenagem..... | 26 |
| 3.3.1 Definições para canais | 26 |
| 4 DIAGNÓSTICO | 27 |
| 5 METODOLOGIA..... | 31 |
| 5.1 Pesquisa bibliográfica..... | 31 |
| 5.2 Atividade de campo | 31 |
| 5.3 Vazão de projeto | 32 |
| 5.4 Fator de compacidade..... | 33 |
| 5.5 Fator de forma | 34 |
| 5.6 Coeficiente de escoamento superficial | 34 |
| 5.7 Intensidades de chuva | 36 |
| 5.8 Critérios para o Tempo de retorno..... | 36 |
| 5.9 Tempo de concentração | 38 |
| 5.10 Análise hidráulica | 38 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 43 |
| 6.1 Área de drenagem | 43 |
| 6.2 Declividade do canal | 44 |
| 6.3 Tempo de retorno..... | 44 |
| 6.4 Fator de compacidade..... | 45 |
| 6.5 Fator de forma e coeficiente de escoamento superficial..... | 45 |
| 6.6 Tempo de concentração | 45 |
| 6.7 Intensidade de chuva | 45 |
| 6.8 Vazão de projeto | 46 |
| 6.9 Vazão de suporte do canal | 47 |
| 6.10 Verificação do escoamento..... | 49 |
| 7 INDICATIVOS DE SOLUÇÕES..... | 52 |
| 8 CONCLUSÃO..... | 54 |
| REFERÊNCIAS | 55 |
| APÊNDICE A | 58 |

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de inundações, enchentes em zonas urbanas acontecem pelo acúmulo do escoamento superficial natural, que sofre mudanças substanciais em ação do crescimento da população, como consequência da impermeabilização do solo. E este crescimento acelerado está relacionado em âmbito mundial, em que, segundo Cristo (2002, p. 211), muitas cidades desenvolveram suas malhas urbanas ao longo dos leitos dos rios colocando em risco populações que periodicamente, em consequência de chuvas intensas e concentradas, sofrem problemas com as inundações e/ou com acúmulo de águas pluviais nas vias urbanas.

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise sobre o atual sistema de macrodrenagem do ribeirão Santa Maria e de seus dois afluentes, localizado em Varginha-MG. Trata-se de um canal que recebe uma vazão de águas pluviais superior a sua capacidade de transporte, agravado pela inexistência de manutenção, com alta quantidade de vegetação. Tem-se portanto nos períodos chuvosos as ocorrências de enchentes e alagamentos no local.

Por isso será realizada uma análise do sistema atual, com base nos estudos adquiridos durante o curso de engenharia civil, desse modo, no capítulo 3 foi feito um estudo conceitual de forma que possa ser entendido como funciona a drenagem. No capítulo 4, apresenta o local de estudo detalhadamente. No capítulo 5, mostra as atividades em campo e as fórmulas para os cálculos. Já no capítulo 6, demonstra os resultados e discussões seguido do capítulo 7 onde apresenta os indicativos de soluções.

Sob um ponto de vista profissional, capacitar-se na solução de problemas de drenagem urbana como os que os municípios têm enfrentado é de grande importância, pois o tema abordado não é apenas uma realidade da região, já que vários lugares no país têm enfrentado problemas correlacionados e decorrentes dos altos índices de impermeabilização do solo, da falta de planejamento da ocupação do solo e ainda da inexistência de um Plano de Saneamento.

Neste sentido, a experiência vivenciada durante toda a pesquisa, foi de grande valia no que se refere ao campo de estudo. Pode se adiantar, por exemplo, que o Município de Varginha apresenta diversas situações que influenciam no seu sistema de drenagem, incluindo fatores estruturais e não estruturais, desde ocupação desordenada de áreas próximas ao canal à incapacidade da prefeitura não realizar limpeza dentro do canal. Este conhecimento prévio, com certeza, subsidiou desenvolvimento dessa pesquisa.

Quanto ao aspecto social, a pesquisa não foi menos importante, pois a própria resolução do problema poderá trazer benefícios à comunidade local. Evitar alagamentos, disseminação de doenças e outras questões de saneamento básico no eixo da drenagem urbana.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos geral

Este trabalho tem por objetivo analisar o sistema de macrodrenagem urbana do ribeirão Santa Maria e seus afluentes no município de Varginha, MG.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar visitas “*in loco*” para detectar os problemas existentes no sistema de macrodrenagem.
- Caracterizar a bacia de contribuição;
- Caracterizar o sistema de drenagem existente;
- Analisar diferentes trechos do canal;
- Calcular vazão da bacia;
- Verificar por meio de cálculos a eficiências dos dispositivos de drenagem atuais;
- Verificar a capacidade de vazão do ribeirão.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Hidrologia urbana

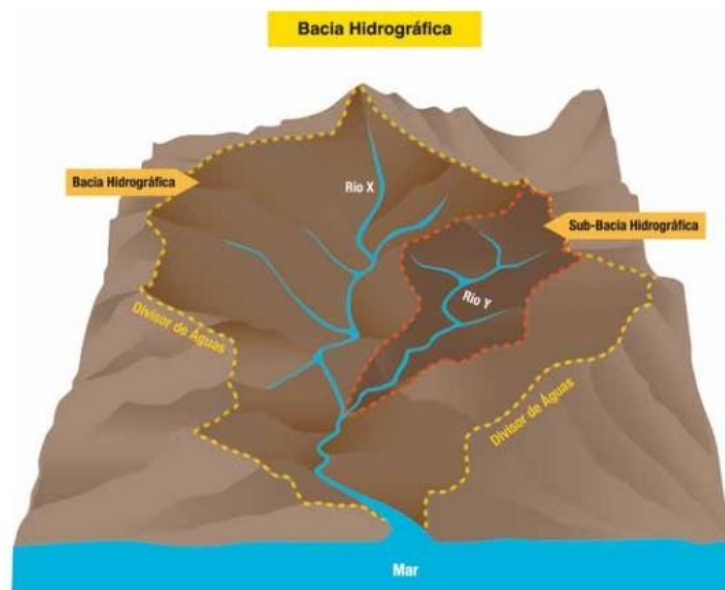
De acordo com Martins et al. (2010), a hidrologia urbana é o ramo da hidrologia voltado ao estudo dos impactos dos desenvolvimentos urbanos sobre o ciclo da água, dando ênfase, na maioria das vezes, a análise do escoamento superficial, visando minimizar e prevenir os fenômenos catastróficos por este gerados.

O monitoramento de uma bacia hidrográfica urbana depende de dados confiáveis de chuvas e características físicas da bacia, o que permitirá implementar com segurança, um modelo hidrológico que simule o comportamento da bacia mais próximo da realidade (MARTINS et al, 2010).

3.1.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é a área ou região de drenagem natural da precipitação, definida topograficamente, que converge os escoamentos provenientes da chuva em razão da força da gravidade para um único ponto de saída, chamado de exutório, sempre do ponto mais alto em direção aos pontos com menores altitudes. Deste modo, conclui-se que as localidades mais elevadas são os divisores de água, ou seja, as sub-bacias e os pontos menos elevados costumam abrigar o leito dos rios, como mostra a imagem abaixo (Figura 1). (MARCIANO, 2011)

Figura 1 – Mecanismo do ciclo hidrológico



Fonte: Atlas ambiental da bacia hidrográfica do rio Macaé

De acordo com Tucci (2007), o acúmulo de água decorrente do escoamento superficial é devido as grandes áreas impermeabilizadas que podem gerar vários impactos, tais como: aumento de sedimentos transportados devido à ausência de proteção das superfícies, aumento das vazões máximas, o contato com a água contaminada das enchentes colocam em perigo a saúde da população devido ao risco de contaminação e proliferação de doenças contagiosas, sendo necessária uma correspondência entre a o espaço urbano e a adequação dos sistemas coletores existentes, como mostra na imagem abaixo (Figura 2), em uma análise mais crítica, o pico de cheia em uma bacia urbanizada pode ser até seis vezes maior do que este pico em condições naturais e com a baixa ocorrência de grandes enchentes, a população se alastra sobre essas áreas e acaba sofrendo com as consequências dessas inundações.

Figura 2- Geometria do escoamento



Fonte : Manual de drenagem urbana (2017).

3.1.2 Chuvas intensas

O monitoramento das chuvas é fundamental para a compreensão do regime de precipitação em bacias hidrográficas, principalmente nas urbanizadas, entretanto, a disponibilidade de postos hidrométricos (fluviométricos e pluviométricos), no Brasil, encontra-se bastante defasada com uma distribuição média de 1 posto a cada 4000 km², sendo que a maioria destes estão próximos aos grandes cursos d'água devido a prioridade de governo na produção de energia hidroelétrica, de modo que em Israel, essa distribuição de postos hidrométricos é de 1 a cada 200 km², situação lamentável para cidades brasileiras, pois a riqueza de dados hidrológicos contribui de forma eficiente para a qualidade no planejamento, seja para o aproveitamento dos recursos hídricos, concepção de obras hidráulicas e gerenciamento de áreas de risco (TOMAZ, 2013).

Tais dados são disponibilizados na forma de séries históricas, onde a quantidade e a qualidade desses dados dependem da disponibilidade de postos hidrométricos presentes na bacia, tendo em vista que, quando esses dados são insuficientes, recorre-se a análises probabilísticas, através de equações empíricas para suprir esta falta de informação, onde para este fim, pode-se aplicar o método de Bell (1969) para a determinação dos parâmetros: intensidade, duração e frequência; ou utilizar o método das relações de duração, baseando-se na hipótese de que as curvas geradas pelas precipitações para diferentes durações, tendem a se tornarem paralelas entre si (TUCCI,2012).

É de grande interesse a determinação das precipitações máximas, pois é através desta que se torna possível calcular precipitações de durações ainda menores, dessa forma, tal procedimento conta com técnicas de distribuição probabilísticas como a de Pearson, Weibull, Log-Normal e Gumbel, sendo a última, bastante utilizada para este fim, entretanto, para a determinação de chuvas máximas horários, esse trabalho pode ser poupado pelo projetista se a região analisada dispôr de uma curva i-d-f , a qual relaciona intensidade, duração e frequência das tormentas de uma bacia hidrográfica (TUCCI,2012).

3.1.3 Inundações

Segundo Tucci (2007), o autor diz que a ocorrência de inundações em centros urbanos é tão antiga quanto às cidades ou qualquer aglomerado urbano. A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a população utiliza para moradia, transporte, recreação, comércio, indústria, entre outros.

O autor ainda explica que tais eventos podem ser ocasionados devido ao comportamento natural dos rios e também ampliados pelo efeito de alteração produzida pelo homem na urbanização, como, a impermeabilização das superfícies e canalização de córregos (TUCCI, 2007).

As imagens abaixo (Figura 3 e 4), relatam a ocorrência de inundações no canal de estudo.

Figura 3 – Alagamento no ponto 12



Fonte: Blog do madeira – data 28/02/2018

Figura 4 – Alagamento no ponto 13



Fonte: Blog do madeira – data 28/02/2018

3.2 DRENAGEM URBANA.

A drenagem urbana envolve geralmente o estudo de cursos d'água de pequeno e médio porte presentes no meio urbano, analisando se estes necessitam de melhoramentos ou de obras hidráulicas que visão livrar a população dos transtornos e prejuízos gerados pelas chuvas intensas, convertidas em escoamento superficiais, que desenvolvem grandes vazões devido a crescente impermeabilização do solo, provocado pelo constante processo de urbanização (MARQUES et al. 2013).

Existem sistemas de drenagem configurados para receberem simultaneamente, contribuições de águas pluviais, esgotos domésticos e afluentes industriais. Tsutiya e Sobrinho (2011, p.3), enfatiza três possíveis configurações presentes na infraestrutura urbana, são eles:

- a) Sistema esgotamento unitário, ou sistema combinado, em que as águas residuárias (domesticas e industriais), águas de infiltração (água de subsolo que penetram no sistema através de tubulações e órgãos acessórios) e águas pluviais veiculam por um único sistema.
- b) Sistema de esgotamento separador parcial, em que uma parcela das águas de chuva, proveniente de telhados e pátios das economias são encaminhados juntamente com as águas residuárias e águas de infiltração do subsolo para um único sistema de coleta e transporte de esgoto.
- c) Sistema separador absoluto, em que as águas residuárias (domesticas e industriais) e as águas de infiltração (água de subsolo que penetram no sistema através de tubulações e órgãos acessórios), que constituem o esgoto sanitário, veiculam em um sistema independente, denominado sistema de esgoto sanitário. As águas pluviais são coletadas e transportadas em um sistema de drenagem pluvial totalmente independente.

O sistema de esgotamento unitário foi implantado em cidade importantes como: Paris(1880),Boston(1833) e Rio de Janeiro(1857); obtendo bom desempenho nas duas primeiras cidades, que estão situadas em regiões frias e subtropicais com baixo índice de pluviosidade, já no Rio de Janeiro, esse sistema foi posteriormente substituído pelo sistema separador parcial, devido os grandes volumes de água gerados pelas fortes chuvas características de climas tropicais como o que acontece no Brasil (TSUTIYA; SOBRINHO, 2011).

Atualmente no Brasil, utiliza-se o sistema separador absoluto, devido ao clima tropical predominante no país que tem como características um alto índice pluviométrico,

inviabilizando economicamente, a implantação do sistema unitário, que para esse cenário, demandaria grandes dimensões para tubulações, galerias e estações de tratamento de esgoto (TSUTIYA; SOBRINHO, 2011).

Afluentes de esgoto sanitário sendo lançado de forma irresponsável nas redes de micro e macrodrenagem pluvial, é uma realidade de muitas cidades brasileiras e em cidade de outros países em desenvolvimento, situação que pode ser atribuída a deficiência de investimentos do governo em obras de sistemas de esgotamento sanitário, desencadeando sérios problemas, visto que o escoamento dessas redes converge para os rios urbanos e o sistema fluvial a jusante, gerando impactos na qualidade da água, e comprometendo a população à doenças de veiculação hídrica(TUCCI,2012).

O sistema de drenagem é dividido em dois subsistemas conhecidos com sistema inicial ou microdrenagem, e macrodrenagem, que atuam em conjunto para conduzir o escoamento das águas das chuvas nos espaços urbanos.

3.2.1 Microdrenagem

Segundo Tomaz (2012), microdrenagem é um tema difícil de se definir, pois não há nenhuma norma da ABNT ou um consenso entre os profissionais da área a respeito deste assunto, porém, podendo assim dizer, que tal sistema é constitui pelo sistema viário, condutos pluviais e seus órgãos acessórios, no entanto, serão apresentados a seguir algumas terminologias e suas funcionalidades, usuais em projetos de microdrenagem (Quadro 1).

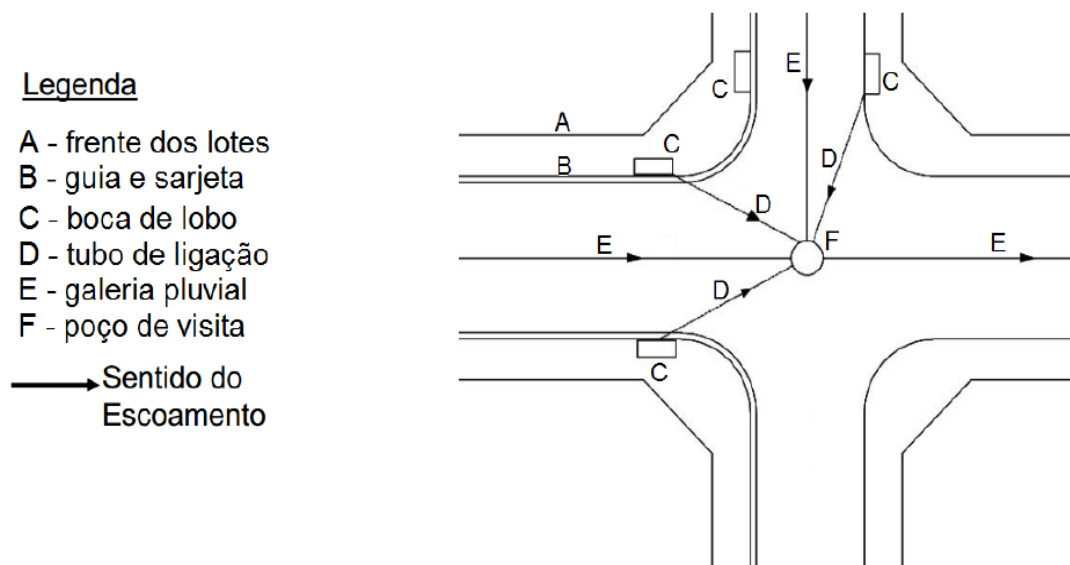
Quadro1: Terminologia em sistemas de microdrenagem urbana

| |
|--|
| Sarjeta: Faixas de via pública paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas; |
| Guias ou Meios-fios: Elementos de pedra ou concreto colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio; |
| Boca-de-lobo: Dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação das águas pluviais; |
| Tubo de ligação: São tubulações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para as galerias ou poço de visita. |
| Galerias: Canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas de lobo e das ligações privada, entendendo-se por trecho, a parte das galerias compreendidas ente dois poços de visita; |
| Poço de visita: Dispositivo localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem mudanças de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro, inspeção e limpeza das canalizações; |

Fonte: Adaptado de TOMAZ, 2012

Basicamente, o funcionamento do sistema de microdrenagem inicia-se pela captação das chuvas por pavimentos e telhados, conduzindo as águas por meio de condutos e sarjetas até alcançar as bocas de lobo, onde por meio de tubos de ligação, lança essa vazão de água nas galerias, as quais conduzirão este fluxo para os receptores como rios, canais ou galerias de grandes dimensões pertencentes ao sistema de macrodrenagem (RAMOS et al, 2012). A figura 6 mostra a disposição usual desses elementos.

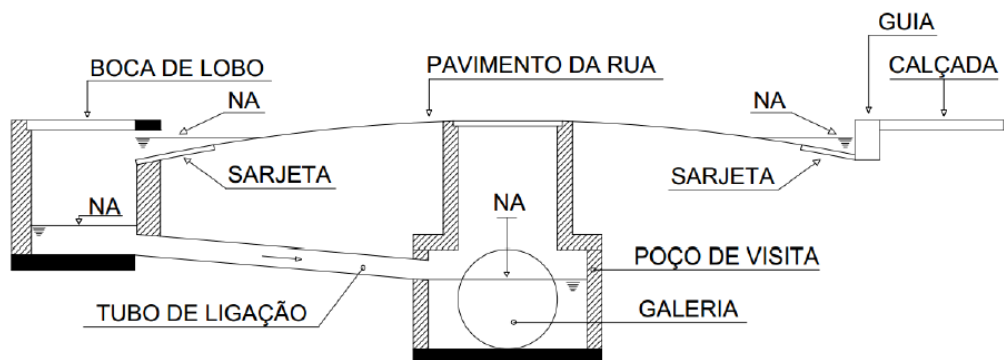
Figura 5: Configuração dos elementos de drenagem



Fonte: Adaptado de RAMOS et al, 2012

Tomando a configuração da figura 5, pode-se reproduzir um corte transversal ao eixo longitudinal da via para obter uma melhor visualização da interação entre diferentes elementos presentes num típico de microdrenagem urbana, como mostra a figura 6.

Figura 6: Corte transversal de elementos da microdrenagem



Fonte: Adaptado RAMOS et al, 2012

Para projetos de sistemas deste tipo, recomenda-se um período de retorno de 2 a 10 anos, retirado da tabela abaixo (Tabela 1), sendo que pode variar em função da importância do empreendimento. Esses dispositivos são dimensionados considerando um período de retorno de 2 a 10 anos. (RAMOS et al,2012)

Tabela 1: Tempos de retorno para microdrenagem

| Tipo de obra | Tipo de ocupação da área | Período de retorno |
|---------------|--|--------------------|
| Microdrenagem | Residenciais | 2 |
| | Comerciais | 5 |
| | Áreas com edifícios de serviços públicos | 5 |
| | Aeroportos | 2-5 |
| | Áreas comerciais e arteriais de tráfego | 5-10 |

Fonte: RAMOS et al, 2012

O bom funcionamento do sistema de microdrenagem depende essencialmente da execução cuidadosa das obras (pavimentos das ruas, guias e sarjetas, e galerias de águas pluviais, além de manutenção permanente, com limpeza e desobstrução das bocas de lobo e das galerias antes das épocas chuvosas.

3.2.2 Macrodrenagem

De modo geral a macrodrenagem urbana é um sistema que compreende um conjunto de ações destinadas a controlar cheias para evitar inundações e suas consequências, e para tal propósito, são essenciais os dispositivos de escoamento como cursos d'águas naturais: rios, riachos e demais redes de drenagens; ou artificiais como: canais (Figura 7) e galerias de grandes dimensões nas mais variadas geometrias e traçados, onde ambos os sistemas são responsáveis por receberas águas vindas do sistema microdrenagem e do escoamento superficial em seu entorno (RAMOS et al, 2012).

Segundo Tomas (2013), em projetos de sistema de macrodrenagem urbana, a adoção de canais abertos é sempre uma solução que deve ser cogitado como primeira possibilidade, pois tal dispositivo apresenta várias vantagens como: facilidade de manutenção e limpeza, versatilidade como adoção de seções mistas, economia de investimentos e maior facilidade para ampliações futuras.

Figura 7: Canal na cidade de Varginha-MG



Fonte: Autoria Própria

O dimensionamento desse tipo de sistema deve atender a um período de retorno entre 25 e 100 anos, pois seus dispositivos de drenagem devem ser dimensionados para suportar os grandes picos de vazão desenvolvidos nas cheias (RAMOS et al,2012)

3.3 Canais de drenagem

Segundo Gribbin (2014), o movimento de volumes de água num determinado conduto onde sua superfície está exposta à atmosfera e sujeita à ação da gravidade determina-se então escoamento livre em canal aberto.

Seja ele natural ou artificial, “[...] a hidráulica de canais abertos é o estudo das leis que regem o escoamento da água em condutos livres.”(GRIBBIN, 2014). Este estudo no entanto não é menos complexo que o de condutos forçados.

3.3.1 Definições para Canais

Canais são usados para conduzir cursos d'água em áreas de contribuição. Para dimensionar um canal é necessário definir certos conceitos.

O primeiro é a declividade do canal, geralmente atribuída a sigla „S“ oriunda segundo Tomaz (2011) da palavra inglesa *Slope* que quer dizer declividade. É definida como sendo a razão entre o desnível vertical e o comprimento horizontal do curso, expresso em metros de declive por metro de comprimento ou em porcentagem (GRIBBIN, 2014).

Depois tem dois conceitos relacionados, importantes na hidráulica de condutos livres, que são o perímetro molhado e a área da seção de fluxo ou simplesmente área molhada. O perímetro molhado, é a distância ao longo da seção transversal em contato com o escoamento (GRIBBIN, 2014). A área molhada nada mais é que a área, em seção, do escoamento. Geralmente considera a largura do canal e a altura do mesmo subtraída a borda livre.

A razão entre a área molhada e o perímetro molhado resulta em outro parâmetro importante, o raio hidráulico (TOMAZ, 2011). O raio hidráulico, segundo Gribbin (2014), não é um raio geométrico, e sim uma medida de eficiência hidráulica das seções. Quanto maior o raio hidráulico, mais eficiente é a seção.

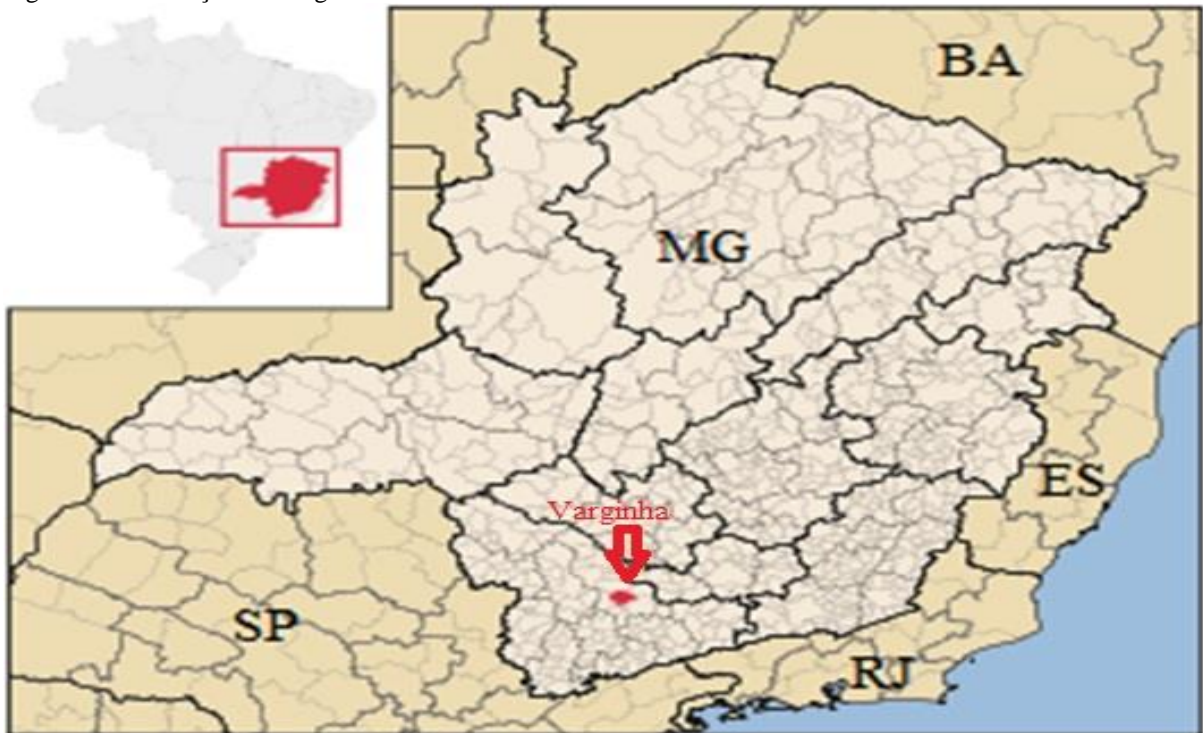
Há também a correlação fundamental para descrever fluxos ou deslocamento de água, que segundo Gribbin (2014) são velocidade e vazão. Considerando a equação da continuidade, onde relacionando e razão da vazão pela velocidade média, se encontra a seção de água deslocada.

3 DIAGNOSTICO

3.1 Local de estudo

A área estudada encontra-se no município de Varginha (Figura 8), localizado na região sul do estado de Minas Gerais. Ocupando uma área territorial de 395,369 km² e possui uma população estimada, segundo IBGE (2019), de aproximadamente 135.558 habitantes.

Figura 8: Localização de Varginha



Fonte: pt.wikipedia.org/wiki/Varginha (2019)

O ribeirão Santa Maria cruza o bairro vila Ipiranga, na cidade de Varginha-MG onde é o trecho mais crítico (Figura 9) em todo o percurso de estudo.

Para a determinação das áreas de contribuições foram usados os softwares Google Earth, Global Mapper e Auto Cad, que somadas obteve uma área total de contribuição de 2,87 km² e perímetro de 8,1 km em toda a bacia.

A bacia foi dividida em 17 sub-bacias (SB) que estão contidas em 15 bairros, são eles: Bairro Campo Elísios, Parque retiro, Vila Mendes, Vila Flamengo, Jardim Zinoca, Jardim Europa, Vila Dona Josefina, Vila Limborco, Vila Registanea, Parque Illeana, Vila Belmiro, Santa Maria, São Sebastião, Jardim Itália e Vila Ipiranga. Dentre todos os bairros há apenas uma área de APP localizada no Bairro Campo Elísios onde se localiza uma nascente, os demais bairros são todos residenciais e pavimentados contendo pouca área permeável. Os dispositivos de drenagem

de toda a área de estudo estão operando conforme previsto sem causar danos a pavimentação e alagamentos nas ruas, exceto naquelas que acompanham o ribeirão que são alagadas devido ao transbordamento do canal.

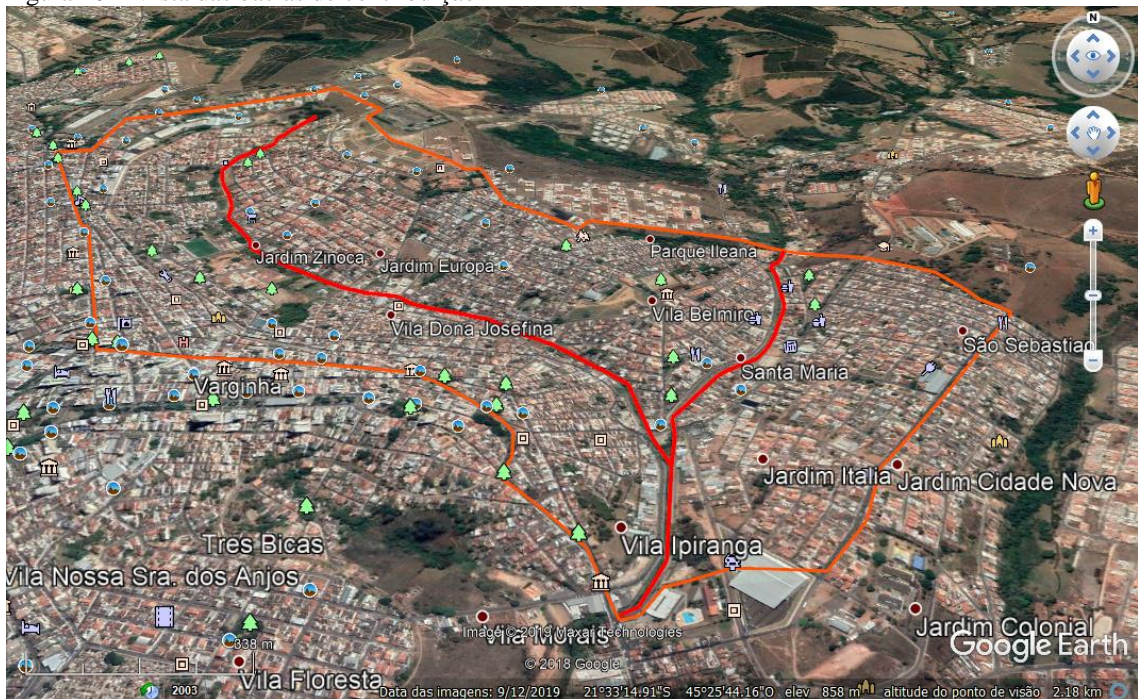
Figura 9: Ribeirão Santa Maria acompanhado pela Avenida Miguel Alves



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor.

A figura 10 mostra a direção do fluxo da água pela linha vermelha, juntamente da área de contribuição da bacia delimitada pela linha laranja.

Figura 10 – Vista das bacias de contribuição



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor.

O trecho de estudo, onde a avenida Miguel Alves está em sua margem, é a via principal de ligação entre os vários bairros ao centro da cidade, por esse motivo encontra-se uma movimentação intensa de veículos.

As enchentes e os alagamentos nesta avenida comprometem com o deslocamento dos usuários da mesma.

As figuras 11 e 12 evidenciam os históricos de inundações ocorridos na Avenida Oswaldo Cruz, devido às intensas precipitações.

Figura 11 – Alagamento no ponto 12



Fonte: Blog do madeira (2018)

Figura 12 – Ruas alagadas no ponto 12

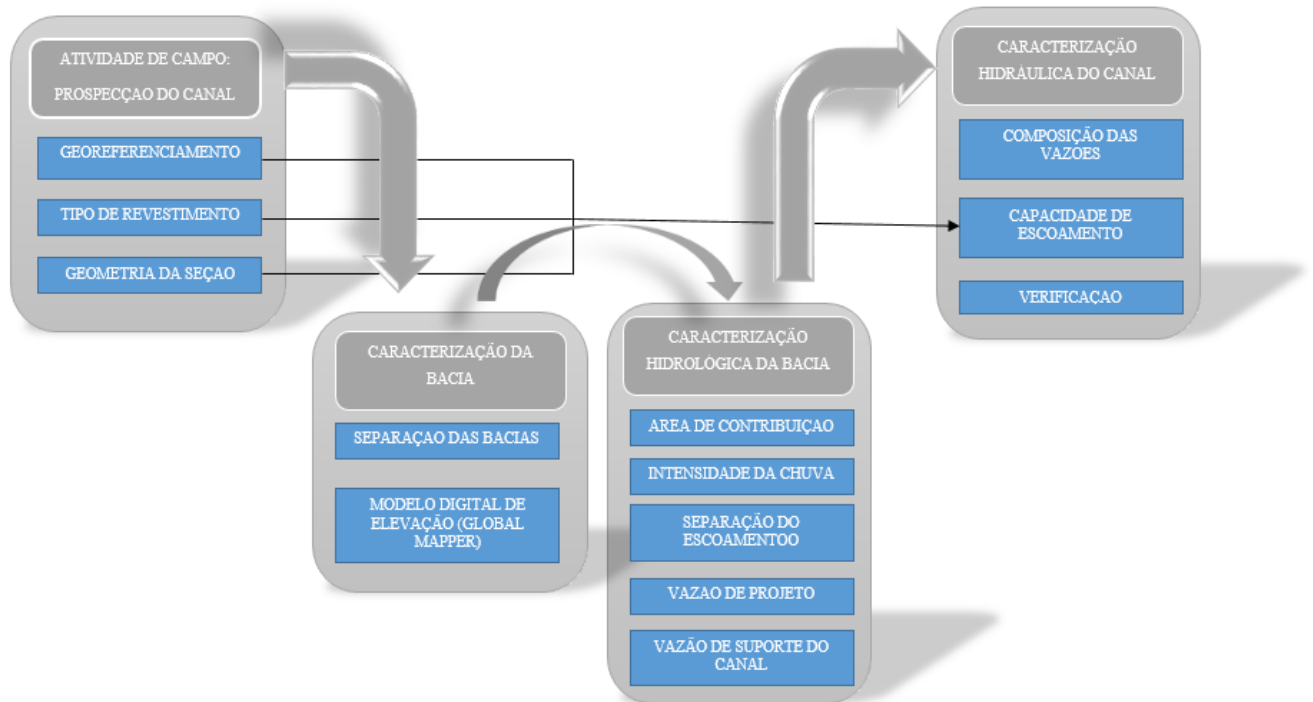


Fonte: Blog do madeira – data 28/02/2018

4 METODOLOGIA

De antemão ao desenvolvimento da metodologia, foi criado um fluxograma representativo das etapas investigativas do objeto estudado, afim de instruir o leitor sobre a linha de raciocínio empregada, disposta na figura 13.

Figura 13 – Fluxograma metodológico



Fonte: Autoria Própria

5.1 Pesquisa bibliográfica

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, através conhecimentos adquiridos em sala, livros de saneamento e hidráulica.

5.2 Atividade de campo

Após os estudos bibliográficos, realizou-se uma prospecção de dados quantitativos e qualitativos em toda a extensão do canal utilizando os seguintes equipamentos:

Trena a Laser BOSCH modelo GLM 40 com um alcance de 40 metros e precisão de mais ou menos 2 mm, foi empregada para verificar as dimensões da seção transversal nos locais de interesse, principalmente nos locais de difícil acesso.

Trena métrica da marca ECCOFER, com fca metálica de 5m x 10', empregada em medições consideráveis inviáveis com a trena a laser. Os equipamentos citados, podem ser visualizados na figura 14.

Figura 14: Equipamentos de medição



Fonte: Autoria Própria

Em posse dos equipamentos supracitados, foram visitados 17 pontos ao longo do talvegue, e anotados em caderneta de campo informações como: largura e profundidade do canal, tipo e integridade da parede do canal e a presença de sólidos e/ou vegetação na seção do mesmo.

5.1 Vazão de projeto

Segundo a CETESB (1980) quando a área excede 1 km², o Método de I-PAI-WU é a melhor técnica a ser utilizada, para projetos de galerias principais, respectivos pontos de despejo e para projetos de canais. Este método fornece um alto índice de confiança, baseando-se em coeficientes da região.

De acordo com Tomaz (2014) o para o cálculo da vazão seguindo o Método I-PAI-WU é conforme a equação 1:

$$Q = (0,278 \times C \times I \times A^{0,9}) \times K$$

(Equação 1)

Onde:

Q= vazão de pico (m³/s);

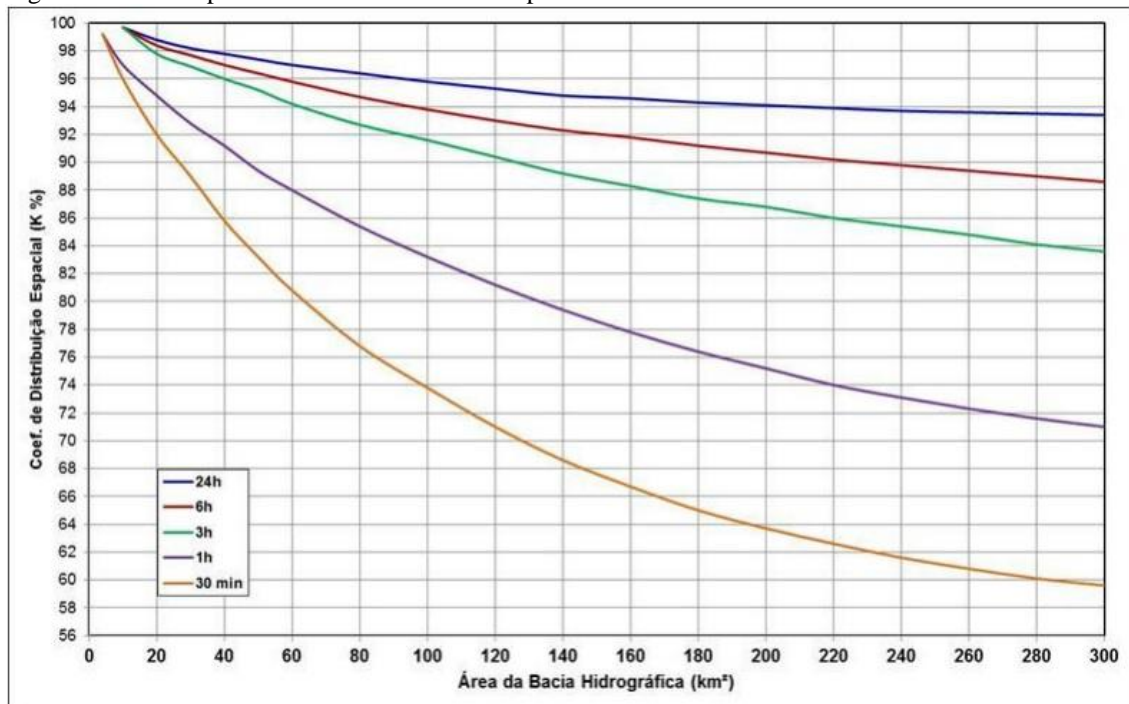
I= intensidade de chuva (mm/h);

C= coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A= área da bacia (km²);

K= coeficiente de distribuição espacial da chuva (adimensional) – Figura 15;

Figura 15 - Ábaco para valores de Coeficiente espacial da chuva



Fonte: Tomaz (2014)

5.2 Fator de compacidade

Fator de compacidade é a relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo com a mesma área da bacia (VILLELA e MATTOS, 1975, p.13). É um número adimensional que varia de acordo com a forma da bacia; quanto maior o coeficiente, mais longa é a bacia. Quanto mais próximo de 1, mais circular é a bacia e maior é a sua tendência a gerar enchentes rápidas e acentuadas (VILLELA e MATTOS, 1975, p.13). É definido pela seguinte equação:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

(Equação 2)

Onde:

P= é o perímetro da bacia em Km;

A= é a área da bacia em Km;

5.2 Fator de forma

De acordo com Tomaz (2014) o fator de forma da bacia é encontrado conforme a equação 2:

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

(Equação 3)

Onde:

L= comprimento do talvegue (km);

A= área da bacia (km²);

F= fator de forma da bacia;

Conforme Morano (2006) quando:

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;

5.3 Coeficiente de escoamento superficial

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

$$C = \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \times \frac{2}{(1 + F)}$$

(Equação 4)

Sendo:

C= coeficiente de escoamento superficial;

C2= coeficiente volumétrico de escoamento, determinado pela Tabela 1;

C1= coeficiente de forma, determinado pela equação 4;

F= fator de forma da bacia, determinado pela equação 2;

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

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

(Equação 5)

O coeficiente volumétrico de escoamento é determinado conforme a Tabela 2.

Tabela 2- Valores de C_2 em função da impermeabilidade do solo.

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

Fonte: Tomaz (2014)

De acordo com Tucci (1995) em estudos com tempo de retorno maior que 10 anos o coeficiente de escoamento superficial necessita de uma correção em relação ao período de retorno estudado, conforme a equação 5:

$$C_T = 0,8 \times T^{0,1} \times C$$

(Equação 6)

Em que:

C_T = coeficiente de escoamento superficial para tempo de retorno T anos;

T= período de retorno superior a 10 anos;

C= coeficiente de escoamento superficial;

5.4 Intensidade de chuva

Segundo Carvalho e Silva (2006) a precipitação máxima é a ocorrência limite, com determinada duração e distribuição para uma determinada área ou bacia hidrográfica. A equação para a determinação da precipitação máxima pode ser expressa da seguinte forma, utilizando os dados do Plúvio 2.1 para inserir na equação.

$$i = \frac{KT^a}{(t + b)^c}$$

(Equação 7)

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;

5.5 Critérios para o Tempo de retorno

O tempo de retorno é o tempo médio para que um evento seja igualado ou superado. A vazão máxima para 10 anos de tempo de retorno é excedida em média 1 vez a cada 10 anos, mas isso não significa que essa cheia não possa ocorrer nenhuma vez durante esse tempo, ou mesmo ocorrer mais de uma vez nesse mesmo intervalo de tempo.

O período de retorno, portanto é calculado da seguinte forma:

$$Tr = \frac{1}{P}$$

(Equação 8)

Onde:

Tr = Tempo de retorno (anos);

P = probabilidade (%).

A probabilidade é obtida usando a seguinte equação:

$$P = \frac{m}{n + 1}$$

(Equação 9)

Onde:

P = probabilidade (porcentagem);

m = o número da ordem do evento na série histórica;

n = o número de anos de registro considerado (para série anual coincide com o número de eventos da amostra).

Para se estabelecer o período de retorno de uma obra, são necessários três itens de acordo com TOMAZ (2011): Avaliar o custo da obra, os prejuízos envolvidos e ter bom senso. Escolher um tempo de retorno trata-se, portanto, de escolher qual o “risco aceitável” pela comunidade.

Níveis altos de segurança implicam em custos elevados e grandes interferências no ambiente urbano. Minimizar custos e interferências são objetivos de um bom projetista, mas jamais devem ser alcançados se colocando a segurança em risco. (TUCCI, 1995)

A tabela abaixo (Tabela 3) define os períodos de retorno mais utilizados em função do tipo de ocupação, de acordo com TUCCI (1995).

Tabela 3 - Períodos de retorno para diferentes ocupações de área

| Tipo de obra | Tipo de ocupação da área | Tempo de retorno |
|---------------------|--|-------------------------|
| Microdrenagem | Residencial | 2 |
| Microdrenagem | Comercial | 5 |
| Microdrenagem | Áreas com edifícios de serviços ao público | 5 |
| Microdrenagem | Aeroportos | 2-5 |
| Microdrenagem | Áreas comerciais e artérias de tráfego | 5-10 |
| Macro-drenagem | Áreas comerciais e residenciais | 50-100 |
| Macro-drenagem | Áreas de importância específica | 500 - Indeterminado |

Fonte: Adaptado de TUCCI (1995) e SUDERHSA (2002).

5.6 Tempo de concentração

O Tempo de concentração é definido como “o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada. É o tempo que leva uma gota de água mais distante até o trecho considerado na bacia (TOMAZ, 2011). Segundo Tucci (1995), para a chuva crítica de uma pequena bacia hidrográfica, adota-se uma duração igual ao tempo de concentração da bacia. O tempo de concentração é influenciado basicamente pela declividade da bacia, tempo de escoamento e pela porcentagem de cobertura vegetal.

Segundo a Secretária Municipal de Desenvolvimento Urbano (2012) existem diversas fórmulas para determinar o tempo de concentração, em função de características físicas da bacia. O tempo de concentração pode ser encontrado conforme a equação 6:

$$tc = 57 \times \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385}$$

(Equação 10)

Sendo:

tc= tempo de concentração (min);

L= comprimento do talvegue (km);

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

5.7 Análise hidráulica

Segundo Gribbin (2014) em 1889, o engenheiro irlandês Robert Manning apresentou uma equação que se tornou a mais usada nos Estados Unidos, a equação é usada para determinar a velocidade de escoamento quando conhecida a seção do canal.

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

(Equação 11)

Onde:

V= velocidade (m/s);

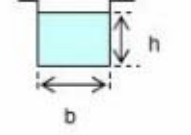
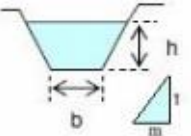
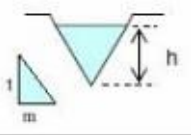
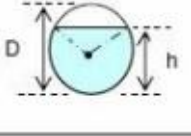
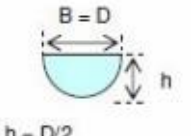
R= raio hidráulico (m);

n = coeficiente de rugosidade de Manning – Tabela 3;

S_0 = declividade (m/m);

De acordo com Gribbin (2014) os canais são construídos com diferentes tipos de materiais, pois afeta no escoamento do canal, aumenta ou diminui a velocidade na superfície. O raio hidráulico é calculado conforme a forma da seção do canal, como mostra a Figura 16.

Figura 16 - 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) |
|---|--|----------------------------------|--|---|
|  | bh | $b + 2h$ | $\left(\frac{A}{P}\right) = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$ | b |
|  | $(b + m \cdot h)h$ | $b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}$ | $\frac{A}{P}$ | $b + 2 \cdot m \cdot h$ |
|  | $m \cdot h^2$ | $2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$ | $\frac{A}{P}$ | $2 \cdot m \cdot h$ |
|  | $\frac{1}{8} \cdot (\theta - \text{sen } \theta) \cdot D^2$ $\theta = \text{RAD}$ | $\frac{\theta \cdot D}{2}$ | $\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right) D$ | $\left(\text{sen } \frac{\theta}{2}\right) D$ |
|  | $\frac{\pi \cdot D^2}{8}$ | $\frac{\pi \cdot D}{2}$ | $\frac{D}{4} = \frac{h}{2}$ | $D = 2h$ |

Fonte: Adaptado Tomaz (2013)

Tomaz (2002) apresenta na Tabela 4, valores de coeficiente de Manning conforme o tipo de superfície:

Tabela 4 - Coeficiente de Manning para o tipo de superfície de escoamento.

| Superfície | Coeficiente de rugosidade de Manning |
|-------------------|--------------------------------------|
| Plástico, vidro | 0,009 |
| Terra sem cultura | 0,010 |

| | |
|---|-------|
| Areia | 0,010 |
| Superfície cascalhada ou coberta com pedregulho | 0,012 |
| 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 cultivada com resíduo | 0,19 |
| Gramma curta | 0,15 |
| Gramma densa | 0,4 |
| Gramma tipo bermuda | 0,41 |
| Solo sem vegetação rasteira | 0,2 |
| Solo com pouco de vegetação rasteira | 0,4 |
| Solo com muita vegetação rasteira | 0,8 |
| Pastagem natural | 0,13 |

Fonte: Tomaz (2002)

Segundo Gribbin (2014) como a vazão de um canal pode ser determinada pela equação da continuidade:

$$Q = V \times A$$

(Equação 12)

Sendo:

Q= vazão (m³/s);

V= velocidade de escoamento (m/s);

A= área da seção transversal (m²);

Segundo a CETESB (1980) o canal mais adequado é aquele escavado pela própria natureza, onde aparece alguns aspectos favoráveis como:

- Velocidades baixas, com isso o tempo de concentração de cheias é maior e os picos de descarga na jusante são menores.

- O armazenamento no canal favorece a redução dos picos de cheias.
- As necessidades de manutenção são pequenas, pois o canal é bastante estável.

De acordo com Gribbin (2014) para o escoamento livre, o número de Froude é um parâmetro para definir se o escoamento é crítico, subcrítico e supercrítico, este é definido por:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \times D}}$$

(Equação 13)

Onde:

F= número de Froude (adimensional);

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

D= profundidade hidráulica (m);

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

Gribbin (2014) define a profundidade hidráulica como a relação entre a área da seção de escoamento pela largura superficial.

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{T^2 \times g}}$$

(Equação 14)

Em que:

D= profundidade hidráulica (m);

Q= vazão de chuva (m³/s);

T= largura superficial do canal (m);

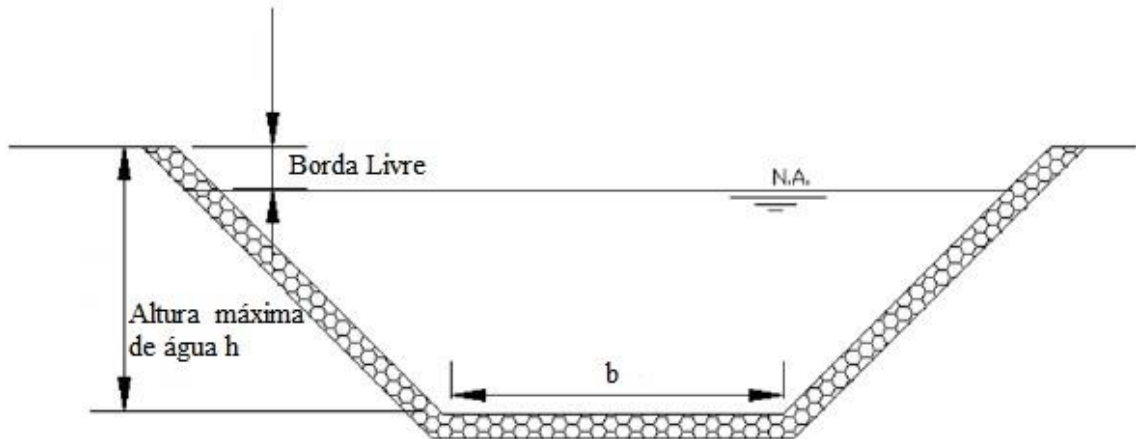
g= aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

Segundo Tucci (1995) se o valor de F=1, o canal está em estado crítico, onde as forças de inercia e gravitacionais estão em equilíbrio, se F<1, então o escoamento se encontra em estado subcrítico, onde as forças gravitacionais predominam e se F>1, o canal encontra-se em estado supercrítico, onde as forças de inércia predominam.

De acordo com Porto (2010) em canais abertos deve-se deixar uma folga de 20 a 30% da altura de água, acima do nível de água máximo de projeto. Essa folga é como fator de segurança para possíveis superações de vazões devido ao período de retorno e as possíveis variações de impermeabilidade da bacia.

A borda livre é definida conforme a Figura 17.

Figura 17 - Borda livre



Fonte: Autoria própria

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Área de drenagem

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

A bacia foi dividida em 17 sub-bacias (SB) com o intuito de setorizar as análises do escoamento superficial e a resposta de cada trecho do canal. Logo, essa divisão pode ser verificada no apêndice A.

Com base no apêndice A, a sigla “SB” significa SUB-BACIA, e os pontos estão na posição do exutório de cada uma delas, onde: SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7, SB8, SB9, SB10, SB11, SB12, SB13, SB1’,SB2’,SB3’,SB4’ coincidem respectivamente com os pontos P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P2’, P3’,P4’, P12. (Apêndice B)

Com o software Google Earth Pro, determinou-se manualmente as áreas de solo permeável e solo impermeável.

Para a área de drenagem, calculou-se as cotas de fundo e as áreas de solo permeável e solo impermeável que estão evidenciadas na tabela 7.

Tabela 5 - Área de contribuição por seção.

| Sub-bacia | Cota de Fundo | Área (Km ²) | Área permeável (Km ²) | Área impermeável (Km ²) |
|-----------|---------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| SB1 | 886,50 | 0,1865 | 0,0407 | 0,1458 |
| SB2 | 875,30 | 0,1838 | 0,0276 | 0,1562 |
| SB3 | 865,00 | 0,1887 | 0,0283 | 0,1604 |
| SB4 | 855,00 | 0,2102 | 0,0315 | 0,1787 |
| SB5 | 851,80 | 0,2263 | 0,0339 | 0,1924 |
| SB6 | 845,70 | 0,1641 | 0,0146 | 0,1395 |
| SB7 | 845,00 | 0,1964 | 0,0295 | 0,1669 |
| SB8 | 844,00 | 0,1937 | 0,0291 | 0,1646 |
| SB9 | 840,00 | 0,1798 | 0,0270 | 0,1528 |
| SB10 | 835,00 | 0,1190 | 0,0179 | 0,1012 |
| SB11 | 826,00 | 0,1222 | 0,0183 | 0,1039 |
| SB1” | 833,00 | 0,1455 | 0,0218 | 0,1236 |
| SB2” | 832,00 | 0,1538 | 0,0230 | 0,1307 |
| SB3” | 831,50 | 0,1933 | 0,0290 | 0,1643 |
| SB4” | 826,00 | 0,1592 | 0,0238 | 0,1353 |
| SB12 | 825,00 | 0,1636 | 0,0245 | 0,1390 |
| SB13 | 824,80 | 0,0743 | 0,0111 | 0,0631 |

Fonte: Autoria própria

6.2 Declividade do canal

Além dos perfis foi possível o estudo das declividades do fundo do canal conforme Tabela 6. Além dos dados descritos foi feito um diagnóstico do material que compõe sua estrutura.

Tabela 6 - Declividade das seções.

| Ponto | Sub-bacia | Cota M | Cota J | Comprimento (m) | Declividade (m/m) |
|----------|-----------|--------|--------|-----------------|-------------------|
| Ponto 1 | SB1 | 896,00 | 886,50 | 2331,71 | 0,00407 |
| Ponto 2 | SB2 | 886,50 | 875,30 | 2228,84 | 0,00503 |
| Ponto 3 | SB3 | 875,30 | 865,00 | 2152,82 | 0,00478 |
| Ponto 4 | SB4 | 865,00 | 855,00 | 1970,57 | 0,00507 |
| Ponto 5 | SB5 | 855,00 | 851,80 | 1771,34 | 0,00181 |
| Ponto 6 | SB6 | 851,80 | 845,70 | 1577,91 | 0,00387 |
| Ponto 7 | SB7 | 845,70 | 845,00 | 1397,26 | 0,00050 |
| Ponto 8 | SB8 | 845,00 | 844,00 | 1220,43 | 0,00082 |
| Ponto 9 | SB9 | 844,00 | 840,00 | 1343,17 | 0,00298 |
| Ponto 10 | SB10 | 840,00 | 835,00 | 910,49 | 0,00549 |
| Ponto 11 | SB11 | 835,00 | 826,00 | 749,96 | 0,01200 |
| Ponto 1" | SB1" | 833,50 | 833,00 | 1650,69 | 0,00030 |
| Ponto 2" | SB2" | 833,00 | 832,00 | 1483,86 | 0,00067 |
| Ponto 3" | SB3" | 832,00 | 831,50 | 1321,63 | 0,00038 |
| Ponto 4" | SB4" | 831,50 | 826,00 | 850,50 | 0,00647 |
| Ponto 12 | SB12 | 826,00 | 825,00 | 452,44 | 0,00221 |
| Ponto 13 | SB13 | 825,00 | 824,80 | 252,69 | 0,00079 |

Fonte: Autoria própria

Com essa determinação verificou-se um comprimento total de curso igual a 2864,93 m e declividade média de 0,0032 m/m.

6.3 Tempo de retorno

O período de retorno foi adotado para 50 anos, sendo o valor mínimo para projetos de macrodrenagem como mostra a Tabela 3 e como a cidade segundo o IBGE possui cerca de 134.477 habitantes, adotou-se período mínimo de retorno.

6.4 Fator de compacidade

Após determinar a área total da bacia, assim como o seu perímetro, foi possível obtermos o fator de compacidade.

$$Kc = 0,28 \frac{8,1}{\sqrt{3,16}} = 1,27$$

O resultado informa que a bacia tem tendência mediana a grandes enchentes.

6.5 Fator de forma e coeficiente de escoamento superficial

Determinado as áreas de contribuições foram determinados os fatores de forma da bacia para cada seção e os coeficientes de escoamento superficial através das áreas apresentadas e os valores da Tabela 6.

Para a determinação foi usado como exemplo os valores da seção 1 e os métodos se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela

$$F = \frac{2,331}{\left[2 \times \left(\frac{0,1865}{\pi} \right)^{0,5} \right]} \cong 4,784$$

$$C_1 = \frac{4}{(2 + 4,784)} \cong 0,589$$

$$C_2 = \frac{(0,0407 \times 0,3 + 0,1458 \times 0,5)}{0,1865} \cong 0,456$$

$$C = \left(\frac{0,456}{0,589} \right) \times \frac{2}{(1 + 4,784)} \cong 0,267$$

$$C_T = 0,8 \times 50^{0,1} \times 0,267 = 0,316$$

6.6 Tempo de concentração

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

Para a determinação foi usado como exemplo os valores da seção 1 e os métodos se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 12.

$$t_c = 57 \times \left(\frac{2,331^2}{4,074} \right)^{0,385} \cong 69,69 \text{ min}$$

6.7 Intensidade de chuva

A intensidade de chuva para a cidade de Varginha foi calculada a partir de dados retirados do Plúvio 2.1, software desenvolvido pela universidade federal de viçosa, conforme a Tabela 8.

Tabela 7 - Dados referentes a cidade de Varginha.

| Cidade | Latitude | Longitude | K | A | b | c |
|---------------|-----------|-----------|----------|-------|--------|-------|
| Varginha - MG | 21°33'05" | 45°25'49" | 5987,104 | 0,218 | 32,694 | 1,087 |

Fonte: UFV (2019)

Para a determinação foi usado como exemplo os valores da seção 1 e os métodos se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 12.

$$i = \frac{5987,10 \times 50^{0,218}}{(63,696 + 32,694)^{1,087}} = 97,937 \text{ mm/h}$$

6.8 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 da Figura 1.

Para a determinação foi usado como exemplo os valores da seção 1 e os métodos se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 9.

$$Q = (0,278 \times 0,316 \times 97,937 \times 0,186^{0,9}) \times 0,98 \cong 1,863 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabela 8 - Vazões de pico para cada seção.

| Sub-bacia | Período de retorno | Coefficiente de escoamento | Tempo de concentração (min) | Intensidade de chuva (mm/h) | Vazão de projeto (m ³ /s) |
|-----------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| SB1 | 50 | 0,317 | 63,696 | 97,937 | 1,864 |
| SB2 | 50 | 0,328 | 63,696 | 97,937 | 3,575 |
| SB3 | 50 | 0,330 | 63,696 | 97,937 | 5,210 |
| SB4 | 50 | 0,336 | 63,696 | 97,937 | 7,075 |
| SB5 | 50 | 0,343 | 63,696 | 97,937 | 9,106 |
| SB6 | 50 | 0,340 | 63,696 | 97,937 | 9,379 |
| SB7 | 50 | 0,351 | 63,696 | 97,937 | 12,328 |
| SB8 | 50 | 0,358 | 63,696 | 97,937 | 14,185 |
| SB9 | 50 | 0,351 | 63,696 | 97,937 | 15,335 |
| SB10 | 50 | 0,361 | 63,696 | 97,937 | 16,756 |
| SB11 | 50 | 0,374 | 63,696 | 97,937 | 18,367 |
| SB1” | 50 | 0,336 | 63,696 | 97,937 | 1,579 |
| SB2” | 50 | 0,342 | 63,696 | 97,937 | 3,080 |
| SB3” | 50 | 0,354 | 63,696 | 97,937 | 4,993 |
| SB4” | 50 | 0,374 | 63,696 | 97,937 | 6,793 |
| SB12 | 50 | 0,418 | 63,696 | 97,937 | 36,379 |
| SB13 | 50 | 0,431 | 63,696 | 97,937 | 38,186 |

Fonte: Autoria própria

6.9 Vazão de suporte do canal

Para a determinação da vazão de suporte do canal foi usada as equações 8 e 9, seguindo os parâmetros encontrados através do levantamento topográfico como a área, perímetro e raio hidráulico calculados no software AutoCad enquanto o coeficiente de rugosidade “n” foi determinado através das análises feitas durante o levantamento topográfico, seguindo os valores da Tabela 8.

Como as seções transversais do canal são muito irregulares, os parâmetros de área, perímetro e raio hidráulico da seção foram calculados a partir do topo do talude de menor cota, devido este ter maior tendência a transbordar.

Os cálculos de base foram feitos para a seção 1 e se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 10.

- Seção 4:

Área molhada = 19,76 m²

Perímetro molhado = 12,8 m

Raio hidráulico = 1,54 m

O coeficiente de rugosidade do canal foi analisado como sendo um solo de pastagem natural em todo seu trecho. Com isso foi adotado o valor de $n = 0,13$.

As declividades das seções já foram abordadas anteriormente para as análises hidrológicas. Com isso determinou-se:

$$V = \frac{1}{0,13} \times 1,54^{\frac{2}{3}} \times 0,00457^{\frac{1}{2}} \cong 0,694 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,694 \times 19,76 = 13,72 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabela 9 - Vazão de suporte das seções.

| Sub-bacia | Raio Hidráulico (m) | Coefficiente de Rugosidade | Declividade (m/m) | Velocidade de Escoamento (m/s) | Vazão da seção (m ³ /s) |
|-----------|---------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| SB1 | - | 0,13 | 0,0041 | - | - |
| SB2 | - | 0,13 | 0,0050 | - | - |
| SB3 | - | 0,13 | 0,0048 | - | - |
| SB4 | 1,544 | 0,13 | 0,0046 | 0,694 | 13,721 |
| SB5 | 1,499 | 0,13 | 0,0024 | 0,491 | 9,227 |
| SB6 | 1,566 | 0,13 | 0,0039 | 0,555 | 9,598 |
| SB7 | 2,099 | 0,13 | 0,0005 | 0,282 | 10,061 |
| SB8 | 2,038 | 0,13 | 0,0008 | 0,354 | 11,822 |
| SB9 | 1,807 | 0,13 | 0,0030 | 0,623 | 16,305 |
| SB10 | 1,876 | 0,13 | 0,0055 | 0,867 | 24,406 |
| SB11 | 1,914 | 0,13 | 0,0120 | 1,299 | 38,054 |
| SB1'' | 2,188 | 0,13 | 0,0003 | 0,226 | 8,850 |
| SB2'' | 2,172 | 0,13 | 0,0007 | 0,335 | 12,905 |
| SB3'' | 2,355 | 0,13 | 0,0015 | 0,530 | 24,915 |
| SB4'' | 2,134 | 0,13 | 0,0047 | 0,874 | 32,325 |
| SB12 | 2,616 | 0,13 | 0,0011 | 0,485 | 30,975 |
| SB13 | 2,672 | 0,13 | 0,0012 | 0,510 | 34,908 |

Fonte: Autoria própria

6.10 Verificação do escoamento

Após levantados todos os dados da pesquisa, necessita-se a análise do verificação da profundidade hidráulica do escoamento e do escoamento do canal, conforme as equações 10 e 11.

Os cálculos de base foram feitos para a seção 4 e se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 11.

$$D = \sqrt[3]{\frac{13,721^2}{5,2^2 \times 9,81}} \cong 0,892 \text{ m}$$

$$F = \frac{0,694}{\sqrt{9,81 \times 0,892}} \cong 0,235$$

Com isso verifica-se que o estado de escoamento está no estado subcrítico, onde as forças gravitacionais predominam e não geram problemas a jusante do canal.

Tabela 10 - Verificação de escoamento do canal.

| Sub-bacia | Comprimento Superficial (m) | Prof. De escoamento (m) | Número de Froude | Estado de escoamento | Verificação |
|-----------|-----------------------------|-------------------------|------------------|----------------------|-------------|
| SB1 | - | - | - | - | - |
| SB2 | - | - | - | - | - |
| SB3 | - | - | - | - | - |
| SB4 | 5,20 | 0,892 | 0,235 | Subcrítico | ok |
| SB5 | 4,95 | 0,708 | 0,186 | Subcrítico | ok |
| SB6 | 5,25 | 0,900 | 0,237 | Subcrítico | ok |
| SB7 | 9,38 | 0,489 | 0,129 | Subcrítico | ok |
| SB8 | 8,79 | 0,569 | 0,150 | Subcrítico | ok |
| SB9 | 6,89 | 0,830 | 0,218 | Subcrítico | ok |
| SB10 | 7,41 | 1,034 | 0,279 | Subcrítico | ok |
| SB11 | 6,10 | 1,354 | 0,356 | Subcrítico | ok |
| SB1'' | 10,32 | 0,422 | 0,111 | Subcrítico | ok |
| SB2'' | 10,14 | 0,549 | 0,144 | Subcrítico | ok |
| SB3'' | 12,38 | 0,745 | 0,196 | Subcrítico | ok |
| SB4'' | 9,73 | 1,040 | 0,274 | Subcrítico | ok |
| SB12 | 16,79 | 0,703 | 0,185 | Subcrítico | ok |
| SB13 | 18,00 | 0,726 | 0,191 | Subcrítico | ok |

Fonte: Autoria própria

Depois de levantados os dados foi feito o comparativo das vazões de contribuição, já acrescido a vazão do manancial de 154 l/s obtida pelo relatório da ARSAE-MG em 2013 e das vazões de suporte das seções do canal conforme a Tabela 12.

Tabela 11 - Comparativo de vazões.

| Sub-bacia | Vazão da seção (m³/s) | Vazão de contribuição (m³/s) | Comparativo |
|-----------|-----------------------|------------------------------|-------------|
| SB1 | - | 1,864 | Suporta |
| SB2 | - | 3,575 | Suporta |

| | | | |
|------|--------|--------|-------------|
| SB3 | - | 5,210 | Suporta |
| SB4 | 13,721 | 7,075 | Suporta |
| SB5 | 9,227 | 9,106 | Suporta |
| SB6 | 9,598 | 9,379 | Suporta |
| SB7 | 10,061 | 12,328 | Não Suporta |
| SB8 | 11,822 | 14,185 | Não Suporta |
| SB9 | 17,979 | 15,335 | Suporta |
| SB10 | 20,461 | 16,756 | Suporta |
| SB11 | 18,146 | 18,367 | Não Suporta |
| SB1” | 8,850 | 1,579 | Suporta |
| SB2” | 12,905 | 3,080 | Suporta |
| SB3” | 24,915 | 4,993 | Suporta |
| SB4” | 32,325 | 6,793 | Suporta |
| SB12 | 30,975 | 36,379 | Não Suporta |
| SB13 | 34,908 | 38,186 | Não Suporta |

Fonte: Autoria própria

Foram capturadas fotografias de enchentes nas seções na qual não suportou a vazão de contribuição conforme a tabela acima. A figura 22 e 23 mostra que nos pontos 12 e 13 respectivamente não suportou toda a vazão e transbordou, já na figura 21 mostra que com o aumento do nível da água na seção 11, houve o rompimento na estrutura da ponte em que não suportou toda a vazão.

Figura 21 – Ponte rompida entre os pontos 11 e 12



Fonte: Blog do madeira – data 28/02/2018

Figura 22 – Ruas alagadas no ponto 12



Fonte: Blog do madeira – data 28/02/2018

Figura 23 – Ruas alagadas no ponto 13



Fonte: Blog do madeira – data 28/02/2018

7 INDICATIVOS DE SOLUÇÕES

Baseados em dados levantados verifica-se que o canal estudado não suporta a vazão de contribuição que estão contidas nas sub-bacias SB7, SB8 , SB11, SB12 e SB13. Com isso necessita-se propor soluções adequadas para que o sistema de macrodrenagem funcione sem causar transtorno à população.

Uma das alternativas seria realizar o revestimento da parede de concreto não acabado para concreto liso, reduzindo o coeficiente de Manning, visando aumentar a capacidade hidráulica. E também a importância da limpeza no local devido aos lixos jogado no local e a grande vegetação que cresce dentro canal conforme a imagem 24, diminuindo a seção adequada de serviço no canal.

Figura 24 – Volume de vegetação entre os pontos 2” e 3”



Figura : Autoria própria

Uma outra alternativa seria alteração ou alargamento da seção transversal do canal, onde haverá a necessidade de escavação das paredes laterais, controle topográfico para os devidos alargamento e cotas e o controle da inclinação do talude, caso permanecer em seção trapezoidal.

8 CONCLUSÃO

Diante de todos os estudos realizado sobre a macrodrenagem, perceber-se o quão importante é um Plano Diretor elaborado por profissionais competentes que dominem as ferramentas tecnológicas adequadas a cada caso, sendo nele citado todas as informações necessárias para a elaboração e implantação das estruturas de macrodrenagem das águas pluviais, abordando todas as medidas que devem ser adotadas, bem como sua divulgação para toda a população.

Através da ocupação do solo com áreas residenciais, comerciais e com a construção de sistemas de drenagem, tende-se a ter alterações no sistema da bacia hidrográfica devido ao aumento de impermeabilização.

Dessa forma, o sistema estrutural existente, não suporta toda estas bacias impermeáveis que contribuem para o canal de estudo, além disso, outros fatores que contribui para a ocorrência destes eventos são as dimensões que variam ao longo do canal, como pode ser visto na tabela 15 na coluna vazão da seção, e também o grande volume de vegetação no local, isso faz com que o sistema não opere conforme foi planejado, pois diminui a área por seção, ocasionando remanso hidráulico neste local. Com a declividade baixa, gera o acúmulo de detritos e lixos no fundo do canal, reduzindo o fluxo da água.

É possível concluir que o canal e seus afluentes analisado não comporta a vazão calculada. Dessa forma, foram propostas algumas medidas que serão analisadas no TCC 2 visando solucionar o problema.

As propostas serão o revestimento das paredes laterais do canal de concreto não acabado e maior parte de solo com muita vegetação rasteira para concreto liso, reduzindo o coeficiente de Manning que para o cálculo foi considerado superfície de pastagem natural, aumentando assim a capacidade hidráulica.

Por conseguinte, o trabalho poderá contribuir com soluções para os eventos de cheia na época de grandes precipitações, onde evitará transtorno e passará segura para a população.

REFERÊNCIAS

AUTOCAD. Autodesk. Disponível para download em: Último acesso em: 11/11/2019.

ARSEA-MG, Relatório de Fiscalização. Sistema de abastecimento de Água de sede do Município de Varginha. Belo Horizonte 2013. 7 p.

AZEVEDO NETTO et al. **Manual de hidráulica.** 8ª ed. São Paulo: Blucher, 1998. 669 p.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades.** 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 297 p.

CARVALHO, Daniel F. e SILVA, Leonardo D. B. **Bacia Hidrográfica.** Cap.3. 2006. 18p.

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

COELHO, Marcia Maria Lara Pinto; LIMA, José Geraldo de Araújo. **Eficiência Hidráulica de Bocas de lobo situadas em sarjetas de greide contínuo.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 16. 2011.

CRISTO, S.S.V. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados à enchentes e deslizamentos do setor leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina.** Florianópolis, 2002. 211 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina.

DAEE / CETESB – **Drenagem Urbana - Manual de Projeto.** 2ª Edição. 1980. São Paulo - SP.

Global Mapper. Blue Marble Geographics. Disponível para download em: <<https://www.blumaplegeo.com/products/global-mapper.php>> Acesso em 25/05/2019.

Google Earth. Google. Disponível para download em: < <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/download/gep/agree.html>> Acesso em: 25/05/2019.

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

Inundação na Santa Maria – Varginha – Disponível em: <<https://www.blogdomadeira.com.br/2018/01/chuva-provoca-alagamentos-e-estragos-em-varginha/>>

MARCIANO, Antônio da silva. **Conceituação, aplicação e ciclo hidrológico**. Capítulo 1. UFLA.2011.<http://deg.ufla.br/site/adm/upload/file/Hidrologia%20I/Introducao_HIDROLOGIA_2.pdf>. Acesso em: 15/04/2019 .

MARTINS, S.G.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; NORTON, L.D.; FONSECA, S. **Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the coastal plain of Espírito Santo, Brazil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.34, n.3, p.999-1004, 2010.

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.

NETO, Antônio Cardoso. **Sistemas Urbanos de Drenagem**, Apostila de Drenagem Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, R. C. de. **Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em área urbanas, como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo: estudo de caso: bacia do córrego do Gregório – São Carlos (SP)**. Dissertação (mestrado) EESC-USP, São Carlos, 1998.

Plúvio 2.1 - Software. Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos - GPRH da Universidade Federal de Viçosa - UFV. Disponível para download em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em 22/10/2019.

PROCAFÉ, - COCAPEC - **Cooperativa de Cafeicultores e Agropecuaristas**. Disponível para download em: <https://cocapec.com.br/dept_tecnico/>. Acesso em 05/09/2019.

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

PORTO Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. 4ª edição, São Carlos: EESC- USP, 2006.

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

TOMAZ, Plínio. **Fórmula de Manning e Canais**. Cap.50. 2011. 70p.

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

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

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.

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

SUDERHSA, Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Manual de drenagem Urbana.** Versão 1.0. 2002.

APÊNDICE A – DIVISÃO DAS SUB-BACIAS

APÊNDICE B – PONTOS AO LONGO DO CURSO D'ÁGUA