

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

ENGENHARIA CIVIL

THADEU BASTOS DOS SANTOS

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MICRODRENAGEM DA AVENIDA DOUTOR
RENATO AZEREDO NO MUNICÍPIO DE MACHADO – MG**

Varginha – MG
2016

THADEU BASTOS DOS SANTOS

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MICRODRENAGEM DA AVENIDA DOUTOR
RENATO AZEREDO NO MUNICÍPIO DE MACHADO – MG**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, para obtenção de grau de bacharel sob orientação da Prof.^a Msc. Ivana Prado de Vasconcelos

Varginha – MG
2016

THADEU BASTOS DOS SANTOS

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MICRODRENAGEM DA AVENIDA DOUTOR
RENATO AZEREDO NO MUNICÍPIO DE MACHADO – MG**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / / 2016

Prof.: Msc. Ivana Prado de Vasconcelos (orientador)

Prof.: Marina Bedeschi Dutra

Eng^a.: Marina Tavares

OBS.:

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado para a microdrenagem da Avenida Doutor Renato Azeredo localizada no município de Machado - MG. O objetivo geral deste trabalho é propor medidas técnicas para melhoria e/ou solução para os eventuais problemas a serem identificados no sistema de microdrenagem local. Para isso foi necessária à utilização de pesquisas bibliográficas, levantamento de dados junto aos órgãos responsáveis, visitas *in loco* e utilização de softwares. Diante dos cálculos realizados e resultados obtidos do sistema de microdrenagem instalado na área de estudo, foi possível comprovar que o conjunto de dispositivos não correspondem às reais necessidades de precipitação da área de estudo. Fato este recorrente do sub dimensionamento do conjunto de bocas de lobo implantadas e da baixa declividade longitudinal de trechos da avenida em estudo, agravada pela obstrução de elementos que fazem parte do conjunto do sistema de drenagem, resultando em constantes alagamentos nas áreas viárias e calçadas, gerando grandes transtornos a população local.

Palavras-chave: Microdrenagem. Machado - MG. Drenagem urbana

ABSTRACT

This paper presents a case study for microdrainage of Avenida Doutor Renato Azeredo, located in Machado - MG. The goal of this paper is to propose technical measures for improvement and/or solution for many problems that will be identified at the local microdrainage system. For it was necessary the use of bibliographic research, data collection of the responsible agencies, in loco visits and the use of softwares. Before the calculation done and the results obtained of micro drainage system installed in the study area, it was possible to prove that the set of devices do not correspond to the real needs of precipitation of the study area. This fact is recurrent of gullies and low longitudinal declivity of the avenue in study, made worse by the obstruction of elements that are part of the drainage system, resulting in constant flooding on roads areas and sidewalks, creating great inconvenience to local people.

Keywords: microdrainage . Machado - MG . urban drainage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ciclo hidrológico.....	12
Figura 2: Delimitação de uma bacia hidrográfica	13
Figura 3: Valores de K para equações DNOS	15
Figura 4: Pluviômetro.....	16
Figura 5: Escoamento superficial em relação a impermeabilização da superfície	17
Figura 6: Ábaco para determinação do coeficiente K.	19
Figura 7: Sarjeta tipo triangular.....	21
Figura 8: Sarjetão	22
Figura 9: Hipóteses de cálculo de transporte de água pluvial em sarjetas.	22
Figura 10: Bocas de lobo	24
Figura 11: Poços de visita.....	26
Figura 12: Galeria.....	27
Figura 13: Geometria da seção para galerias.....	28
Figura 14: Avenida e ruas de influência à Av. Dr. Renato Azeredo	31
Figura 15: Boca de lobo tipo caixa com grelha em aço.....	35
Figura 16: Disposição das bocas de lobo	36
Figura 17: Tubulação de galeria pluvial	38
Figura 18: Dados de precipitação do município de Machado – MG (Software Pluvio 2.1).....	39
Figura 19: Boca de lobo obstruída.....	44
Figura 20: Empoçamento de água pluvial	45
Figura 21: Voçorocas na pavimentação da Av. Dr. Renato Azeredo.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de deflúvio	18
Tabela 2: Coeficiente de rugosidade “n” de <i>manning</i>	23
Tabela 3: Dimensões das bocas de lobo	36
Tabela 4: Relações de Y/D	40
Tabela 5: Vazão de engolimento das bocas de lobo de ponto baixo nas sarjetas.....	42
Tabela 6: Vazão de engolimento das bocas de lobo de ponto intermediário nas sarjetas	43
Tabela 7: Cronograma de atividades TCC II.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo Geral	10
1.2 Objetivos Específicos	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Hidrologia básica	12
2.1.1 Ciclo hidrológico	12
2.1.2 Bacia hidrográfica.....	12
2.1.3 Delimitação da bacia topográfica	13
2.1.4 Tempo de concentração (tc)	14
2.1.5 Precipitação	15
2.1.6 Escoamento superficial.....	16
2.2 Drenagem e inundações urbanas	19
2.2.1 Sistemas de drenagem urbana.....	20
2.2.1.1 Sistema de microdrenagem.....	21
2.2.1.1.1 Sarjetas e Sarjetões	21
2.2.1.1.2 Bocas de lobo	23
2.2.1.1.3 Poços de visita	25
2.2.1.1.4 Galerias.....	26
2.2.2 Principais problemas relacionados à microdrenagem	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 Delimitação da área da bacia hidrográfica de contribuição.....	30
3.2 Verificações do sistema de microdrenagem implantados	31
3.2.1 Intensidade de precipitações	31
3.2.2 Período de retorno (T)	32
3.2.3 Tempo de concentração	32

3.2.4 Coeficiente de escoamento superficial	32
3.2.5 Cálculo da estimativa de vazão	33
3.2.6 Método de cálculo para capacidade de transporte de sarjetas	33
3.2.7 Método de cálculo para capacidade de engolimento da boca de lobo.....	33
3.2.8 Capacidade de transporte das galerias	33
3.2.9 Apresentação de resultados	34
4. DIAGNÓSTICO	35
4.1 Caracterizações do local de estudo.....	35
4.2 Caracterizações do sistema existente	35
4.2.1 Dados obtidos através de entrevista referentes às galerias e poços de visita	37
4.3 Verificações da capacidade do sistema atual	38
4.3.1 Verificação da vazão pluvial para o ponto mais desfavorável da bacia	38
4.3.2 Verificação da capacidade de engolimento das bocas de lobo	42
4.4 Análise dos resultados	43
5. INDICATIVOS DE SOLUÇÃO.....	47
6. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXO A – ENTREVISTA.....	53

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades e o aumento da impermeabilização dos solos, fez-se necessário resolver as questões relacionadas às águas pluviais, surgindo assim o conceito de drenagem urbana, processo o qual tem por objetivo escoar as águas precipitadas em uma determinada bacia, através do auxílio de sarjetas, valas, tubos, canais, entre outros elementos, tendo estes a função de proteger e propiciar um desenvolvimento urbano.

A cidade de Machado - MG, assim como tantas outras no Brasil, sofre com os problemas associados à drenagem urbana. O município passa por um processo de urbanização intenso, onde impactos deste processo podem ser observados nos dias de precipitações mais intensas. Fato este decorrente da expansão sem planejamento adequado e sem ajustes e/ou melhorias nos sistemas de microdrenagem existentes que, por vezes, recebem acréscimos em suas vazões das expansões da rede de drenagem.

Este trabalho apresenta um estudo de caso da Avenida Doutor Renato Azeredo, situada no município de Machado – MG, na qual o sistema de microdrenagem apresenta falhas, gerando prejuízos e diminuição da qualidade de vida da população local, assim como propõe indicativos de melhoria e/ou solução para estes eventuais problemas.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor medidas técnicas para melhoria e/ou solução para os eventuais problemas a serem identificados no sistema de microdrenagem da Avenida Doutor Renato Azeredo, localizada na cidade de Machado – MG.

1.2 Objetivos Específicos

Para a realização deste trabalho se fez necessário:

- elaborar uma pesquisa bibliográfica através de livros, artigos científicos, normas técnicas e sites afim de obter os subsídios necessários para a fundamentação do estudo;
- delimitar as áreas de contribuição das bacias que influenciam a Avenida em questão;
- caracterizar topografia do local;

- obter a intensidade de chuvas no município;
- levantar e obter dados do sistema de microdrenagem existente e projetos, através de entrevistas a serem realizadas com o setor de engenharia da Prefeitura Municipal de Machado;
- realizar visitas *in loco*, tanto para levantamento de dados, quanto para a obtenção de imagens necessárias para ilustração deste trabalho;
- utilizar softwares para auxílio e realização de projetos e cálculos, como AutoCAD, Plúvio, Excel, etc.;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

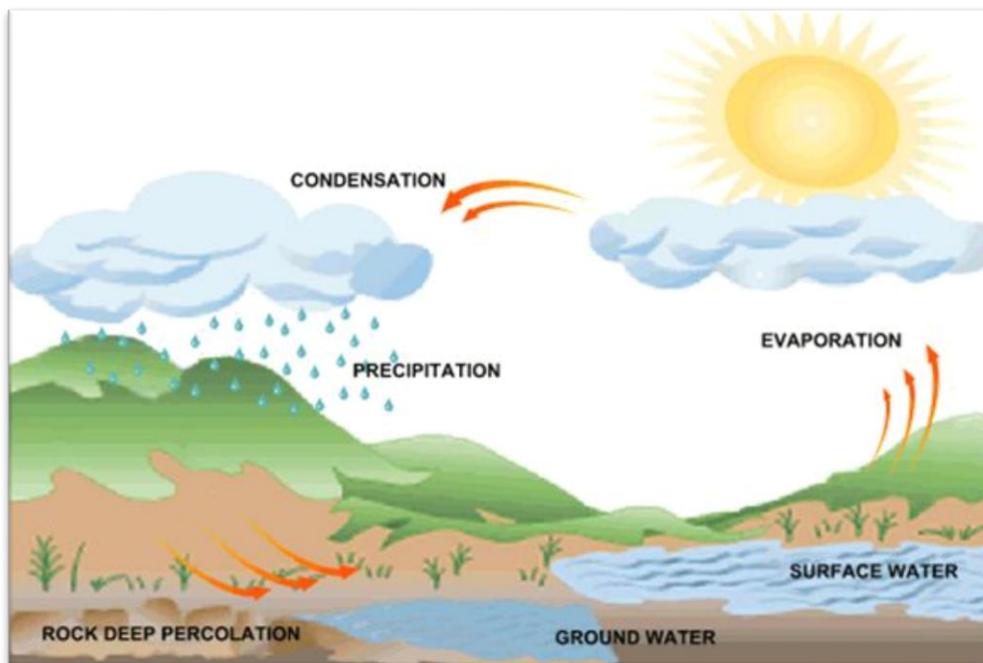
2.1 Hidrologia básica

2.1.1 Ciclo hidrológico

De acordo com o Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo, DAAE (2005), o ciclo hidrológico pode ser definido como o fenômeno de circulação fechada da água, sendo este entre a superfície terrestre, a atmosfera e o solo.

A energia do sol provoca o aquecimento do ar e da água superficial, gerando a circulação de massas de ar e evaporações. O vapor que se condensa através de múltiplos processos e, volta ao solo através da precipitação, conforme ilustrado na Figura 1. (COLLISCHONN & TASSI, 2008)

Figura 1: Ciclo hidrológico.



Fonte: (Collischonn & Tassi, 2008, p. 6)

Ainda segundo Collischonn & Tassi (2008), o estudo do ciclo hidrológico é realizado com maior interesse na fase terrestre, onde o seu elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica.

2.1.2 Bacia hidrográfica

Segundo Rolim (2004), bacia hidrográfica, de contribuição ou de drenagem, é a área de captação natural de água de precipitação que faz convergir os escoamentos para

um único ponto de saída, denominado exutório e, é expressa normalmente em hectares (ha) ou quilômetros quadrados (km²).

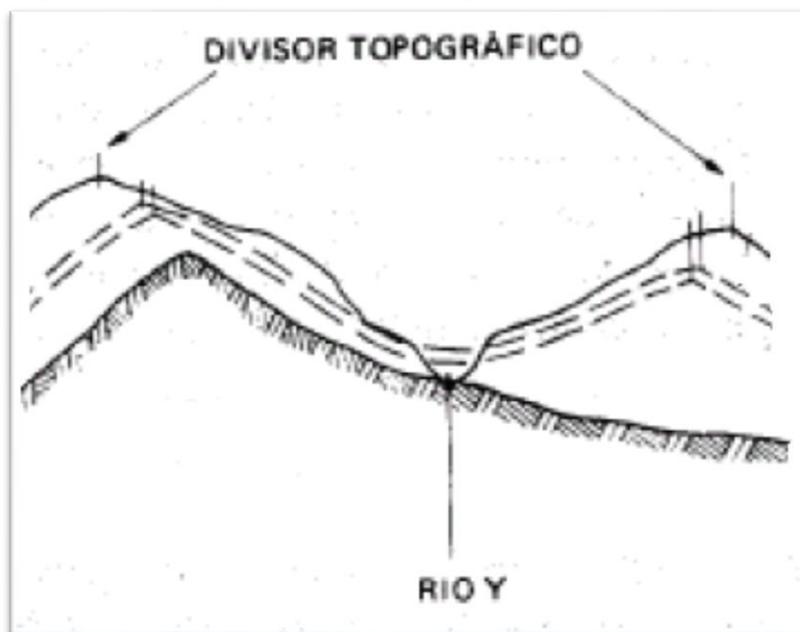
2.1.3 Delimitação da bacia topográfica

De acordo com Rolim (2004), existem três tipos de divisores para a delimitação de bacias, sendo estes o divisor topográfico, baseado no relevo; o divisor geológico, baseado nas características geológicas; e o divisor freático, baseado na posição do lençol freático. Porém, devido à praticidade, o tipo mais empregado é o divisor topográfico.

Com a ajuda de mapas impressos ou eletrônicos, a bacia hidrográfica é delimitada levando em consideração as áreas de maior cota, que constituem os chamados divisores topográficos, conforme se pode notar na Figura 2. (ROLIM, 2004)

“A linha delimita a bacia hidrográfica pode ser definida como a que separa as águas pluviais entre duas vertentes. Numa carta topográfica, é a linha imaginária que passa pelos pontos altos e cotados, que corta perpendicularmente as curvas de nível e não cruzam nenhum curso de água, a não ser na seção que define o limite de jusante da bacia de contribuição.” (DAAE, 2005, p. 12)

Figura 2: Delimitação de uma bacia hidrográfica



Fonte: (Adaptado Villela, 1976)

Segundo Silva *et. al.* (2011, apud PORTO *et. al.* 1999), os principais fatores físicos que caracterizam uma bacia hidrográfica são: área; comprimento da drenagem principal, relacionado com o tempo de concentração da bacia; e a declividade.

2.1.4 Tempo de concentração (tc)

Para Tomaz (2002), tempo de concentração é o tempo em que uma gota de água leva para percorrer do ponto mais distante até o exutório da bacia hidrográfica.

De acordo com Collischonn & Tassi (2008), o tempo de concentração é diretamente influenciado pela declividade da bacia e do curso d'água, de forma que quando se há um aumento da declividade, o tempo de concentração diminui.

Ainda conforme Collischonn & Tassi (2008), para o cálculo do tempo de concentração, podem ser utilizadas as fórmulas de Kirpich, George Ribeiro, DNOS e Picking, respectivamente apresentadas abaixo:

$$T_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

$$T_c = 0,222 \cdot (1,05 - 0,2 \cdot p)^{-1} \cdot L \cdot S^{-0,04}$$

$$T_c = 0,419 \cdot K^{-1} \cdot A^{0,5} \cdot L^{0,2} \cdot S^{-0,4}$$

$$T_c = 0,0883 \cdot L^{-0,667} \cdot S^{-0,333}$$

onde, T_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do curso d'água principal em km; Δh é a diferença de altitude em metros ao longo do curso principal; A é a área da bacia em km²; p é a fração de área permeável da bacia; S é a declividade média do curso dada em m/m; K é o coeficiente adotado através da tabela especificada na Figura 3.

Figura 3: Valores de K para equações DNOS

Características do terreno da bacia	k
Areno-argiloso, vegetação intensa, elevada absorção	2,0
Comum, coberto de vegetação, absorção apreciável	3,0
Argiloso, coberto de vegetação, absorção média	4,0
Com vegetação média, pouca absorção	4,5
Em rocha, escassa vegetação, baixa absorção	5,0
Rochoso, vegetação rala, reduzida absorção	5,5

Fonte: (Silveira, 2005 apud Mello 1973)

2.1.5 Precipitação

Precipitação é toda água que provém do meio atmosférico e atinge a superfície de uma bacia, sendo as chuvas sua forma mais comum. (DAEE, 2005)

“A precipitação, por ser a única forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica, fornece subsídios para a quantificação do abastecimento de água, irrigação, controle de inundações e erosão do solo, além de ser fundamental para o adequado dimensionamento de obras hidráulicas.” (SILVA, 2011 apud COLLISCHONN & TASSI, 2008)

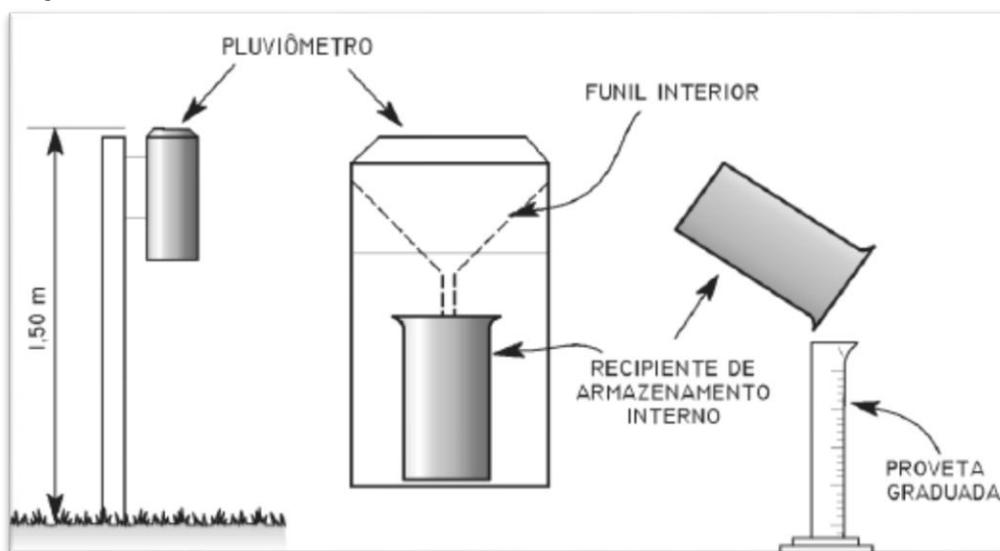
De acordo com Rolim (2004), a precipitação é caracterizada pelas seguintes grandezas:

- altura pluviométrica (P): representa a altura da lamina de água precipitada, dada em milímetros (mm);
- duração (t): período de tempo em que ocorreu a precipitação, dado em horas ou minutos;
- intensidade (i): relação entre a altura pluviométrica e a duração, gerando um resultado em mm/h ou mm/min;
- tempo de recorrência (Tr): número médio em anos em que uma determinada precipitação é igualada ou superada, podendo esta estar entre 2 e 10 anos;

“A relação entre intensidade, duração e frequência varia entre largos limites, de local para local e só pode ser determinada empiricamente através da análise estatística de uma longa série de observações pluviográficas locais, não havendo possibilidade de estender os resultados obtidos em uma região para regiões diversas.” (TUCCI, 1993)

Ainda segundo Rolim (2004), o instrumento mais utilizado para se medir a precipitação de chuvas é o pluviômetro, Figura 4, o qual é constituído de um recipiente metálico dotado de um funil com anel receptor, geralmente com uma proveta graduada, na qual é possível fazer a leitura da altura pluviométrica (P).

Figura 4: Pluviômetro



Fonte: (DAAE, 2005)

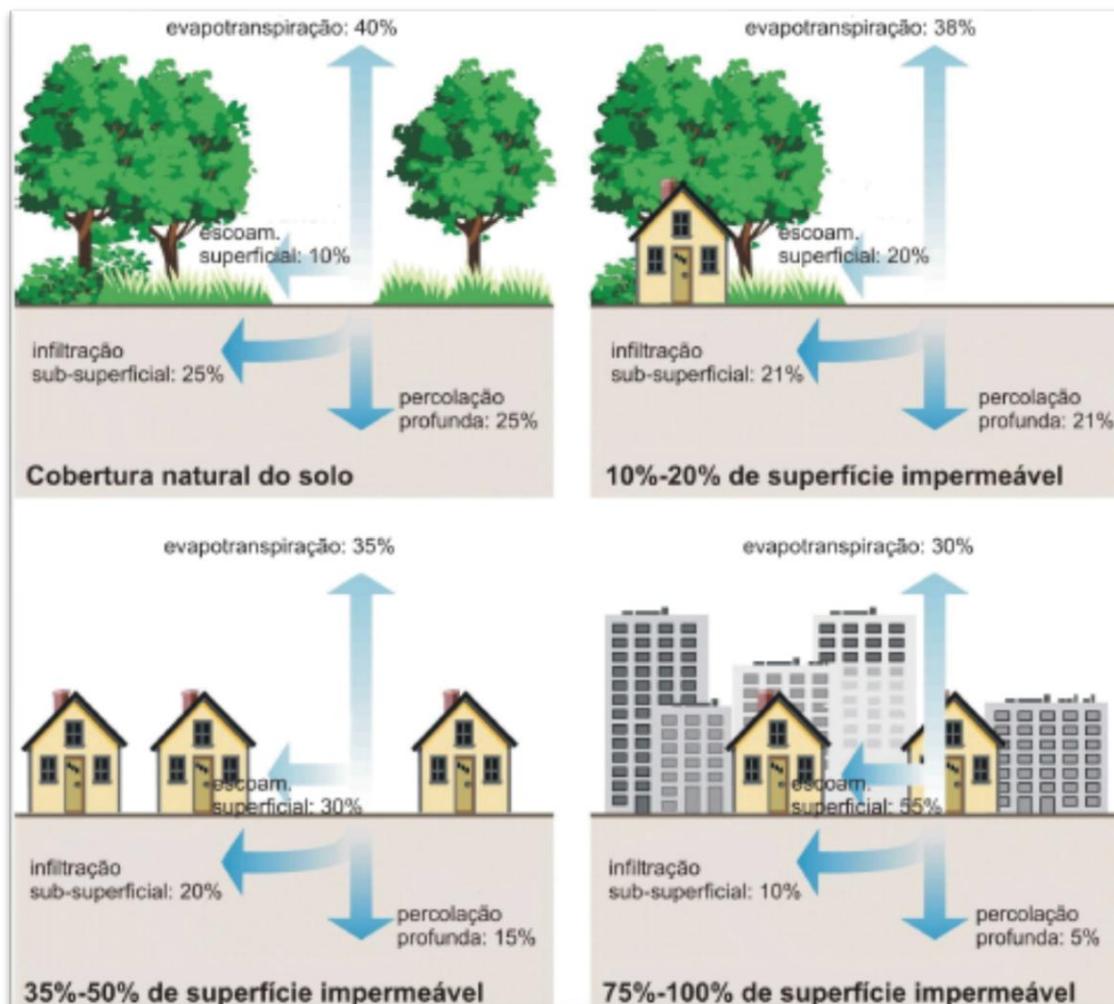
2.1.6 Escoamento superficial

Grande parte da vazão que passa por um curso d'água é resultado da contribuição das águas de chuva que não penetrou no solo, aumentando e formando os picos de vazão e as enchentes, sendo o escoamento rápido, que ocorre em consequência direta das chuvas, chamado de escoamento superficial. (COLLISCHONN & TASSI, 2008)

Para Tucci (1993), o escoamento superficial é a somatória da vazão de um fluxo d'água na superfície com o escoamento em pequenos canais existentes na bacia.

De acordo com Cardoso Neto (1998), o comportamento do escoamento superficial sofre alterações em decorrência do processo de urbanização de uma determinada bacia, sendo sua principal causa a impermeabilização da superfície, conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5: Escoamento superficial em relação a impermeabilização da superfície



Fonte: (Rolim, 2004 apud EPA, 1998)

Conforme citado por Collischonn & Tassi (2008), o método mais utilizado para o dimensionamento das redes de drenagem urbana é conhecido como Método Racional, por se tratar de um método simples, no qual engloba todos os processos em apenas um coeficiente de escoamento (C), o *runoff*, ou deflúvio. O método em questão é aplicado pela fórmula a seguir:

$$Q_p = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

onde, Q_p é a vazão máxima dada em m^3/s ; C é o coeficiente de *runoff*; representado na Tabela 1; i é a intensidade de precipitação dada em mm/h ; A é a área da bacia dada em km^2 ; e, 0,278 é o coeficiente de homogeneização das unidades.

Tabela 1: Coeficientes de deflúvio

Uso do solo	Coeficientes de deflúvio (C)		
	Mínimo	Médio	Máximo
Vegetação baixa	0,05	0,08	0,10
Vegetação alta	0,05	0,13	0,20
Solo exposto	0,05	0,13	0,20
Área urbana	0,75	0,80	0,85
Asfalto	0,70	0,83	0,95

Fonte: (Junior, 2010 apud Assis, 2007)

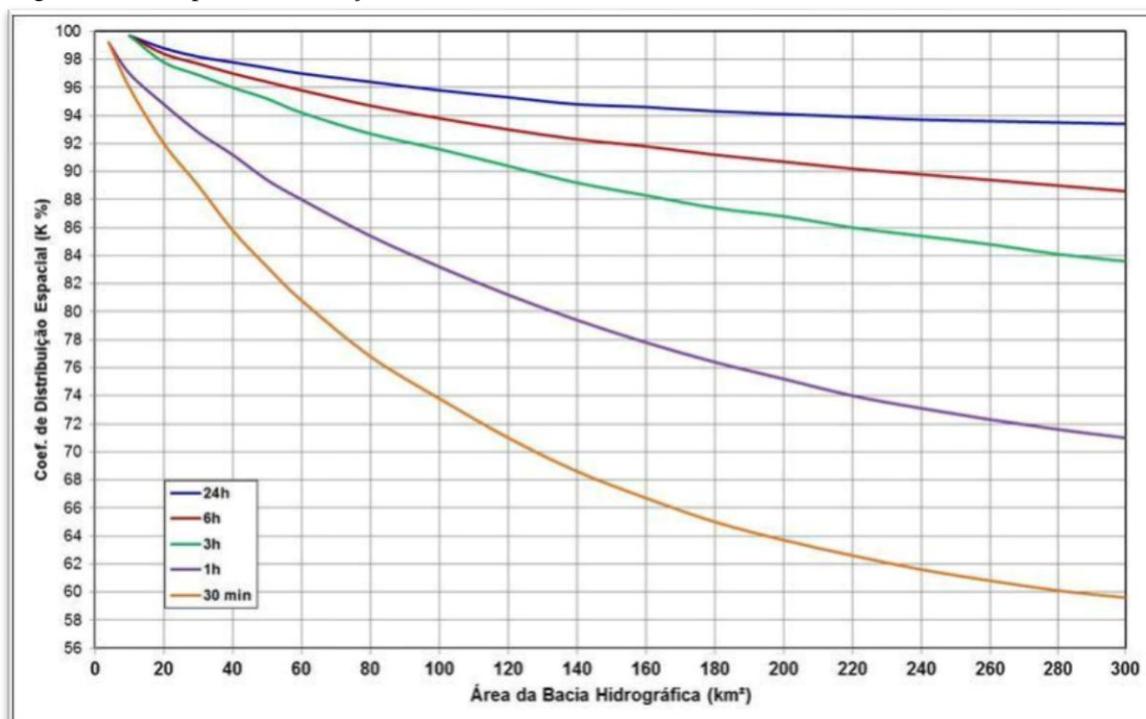
De acordo com Fritsch (2013), temos ainda para o cálculo das vazões o Método I-Pai-Wu, o qual se deriva do Método Racional e, possui como fatores intervenientes a forma, área e declividade da bacia, a intensidade e distribuição da chuva crítica, as características superficiais da bacia, o tempo de escoamento superficial, o tempo de concentração e o tempo de pico.

Ainda segundo Fritsch (2013), o cálculo é gerado utilizando a seguinte expressão:

$$Q_p = (0,278 \cdot C \cdot i \cdot A^{0,9}) \cdot K$$

onde, K é o coeficiente de distribuição espacial da chuva, determinado através do ábaco representado na Figura 6; Q_p é a vazão máxima dada em m³/s; C é o coeficiente de escoamento superficial; i é a intensidade de precipitação dada em mm/h; A é a área da bacia dada em km; e, 0,278 é o coeficiente de homogeneização das unidades.

Figura 6: Ábaco para determinação do coeficiente K.



Fonte: (Fritsch, 2013 apud DAEE 1994)

Ainda de acordo com Tucci (1995) e Gribbin (2010), além dos métodos supracitados, ainda temos o Método NRCS (Natural Resources Conservation Service), também baseados em fatores empíricos, onde os parâmetros a serem seguidos para a geração de um hidrograma são o local, as características de cobertura do solo e o tempo de concentração da bacia.

Segundo Tomaz (2002), para o cálculo da vazão neste método utiliza-se a seguinte expressão:

$$Q_p = 2,08 \cdot \left(\frac{A}{ta}\right)$$

onde, Q_p é a vazão de pico em m^3/s ; A é a área da bacia em km^2 , ta é o tempo de ascensão em horas que vai do início da chuva até a vazão de pico do hidrograma e; 2,08 é o coeficiente de homogeneização das unidades.

2.2 Drenagem e inundações urbanas

Conforme Teixeira (2014 apud UFSC 2014) e Tucci (2000), drenagem é um procedimento no qual possui como objetivo escoar as águas provenientes das precipitações em uma bacia, através do auxílio de sarjetas, valas, tubos, canais, etc.

Podendo estes canais serem naturais ou artificiais, de modo a proteger e propiciar um desenvolvimento urbano.

“O processo de 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 ocupam áreas onde a população utiliza para moradia, transporte, recreação, comércio, indústria e outros. Estes eventos podem ocorrer devido ao comportamento natural dos rios ou ampliados pelo efeito da alteração produzida pelo homem na urbanização pela impermeabilização das superfícies e a canalização dos rios. Na medida em que a população impermeabiliza o solo e acelera o escoamento através de condutos e canais, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta produzindo inundações.” (BARBOSA, 2006)

De acordo com Tucci (2008), os sistemas de drenagem de águas pluviais podem provocar inundações e impactos nas áreas urbanizadas por dois processos, que podem ocorrer simultaneamente ou isoladamente. Estes processos são as inundações de áreas ribeirinhas, que ocorrem de forma natural, tendo como causa principal a variabilidade temporal e espacial da precipitação e o escoamento da bacia; e as inundações em razão da urbanização, nas quais ocorrem devido à impermeabilização do solo, à canalização do escoamento ou pela obstrução do escoamento.

Tucci (2008), ainda salienta que as inundações urbanas ocorrem devido a alguns fatores, como a não especificação e/ou restrição quanto à ocupação das áreas de risco de inundações (ribeirinhas) no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano das cidades, à invasão de áreas ribeirinhas que pertencem ao poder público, geralmente pela população de baixa renda e, a ocupação de áreas de médio risco, de frequência menor, mas, que sofrem prejuízos significativos quando ocorrem enchentes e/ou inundações.

Machado & Silva (2005) ressalta ainda, que falta controle, planejamento e infraestrutura básica urbana, por parte do poder público, de modo a prevenir estes problemas.

2.2.1 Sistemas de drenagem urbana

De acordo com Teixeira (2014), Fernandes (2002) e Botelho (2011), a drenagem urbana é composta por dois sistemas, sendo estes: a microdrenagem, sistema de captação e direcionamento de águas de escoamento superficial, através do perfil do solo, sarjetas, canais, galerias, etc, para um curso d'água; e a macrodrenagem, sistema no qual recebem as vazões provenientes dos sistemas de microdrenagem, com a responsabilidade de se controlar enchentes, inundações, etc.

2.2.1.1 Sistema de microdrenagem

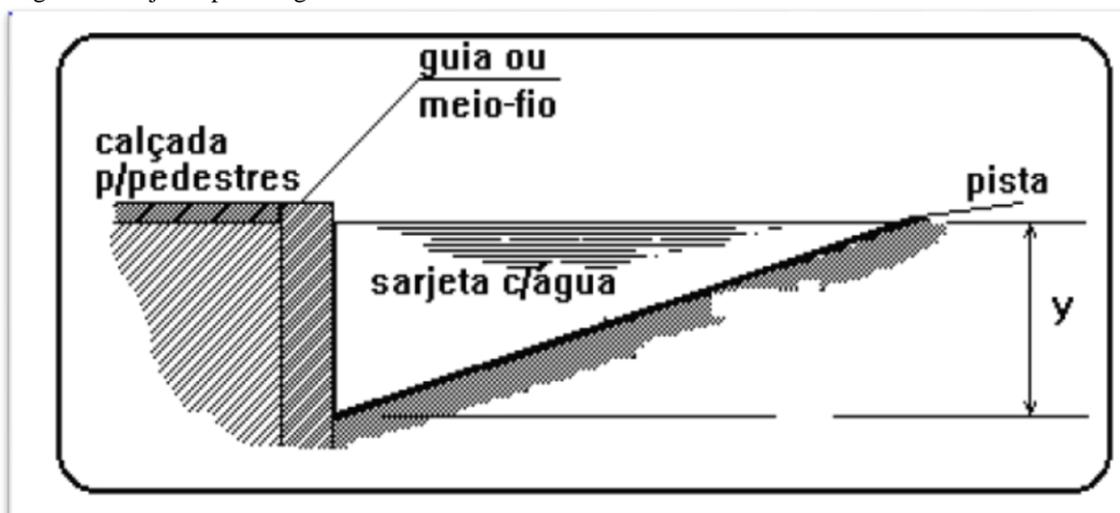
Segundo Kamura *et. al.* [200-] um sistema de microdrenagem possui funções que vão além de coletar e conduzir a água pluvial até um sistema de macrodrenagem, como retirar a água pluvial dos pavimentos das vias públicas, evitar alagamentos, oferecer segurança aos pedestres e motoristas e evitar e/ou reduzir danos.

Conforme citado por Teixeira (2014), os sistemas de microdrenagem são compostos por uma série de unidades e dispositivos hidráulicos, como sarjetas, sarjetões, bocas de lobo e caixas com grelha, condutos de ligação, poços de visita e galerias. Tais dispositivos supracitados, assim como seus respectivos cálculos hidráulicos são apresentados a seguir.

2.2.1.1.1 Sarjetas e Sarjetões

As sarjetas são canais longitudinais responsáveis por captar e direcionar as águas pluviais de escoamento superficial, geralmente em formato triangular conforme ilustrada na Figura 7, situadas entre a guia e a pista de rolamento. Já os sarjetões, conforme ilustrado na Figura 8, são situados nos pontos baixos ou nos encontros dos leitos viários das vias públicas, destinados a conectar sarjetas ou encaminhar as águas para os pontos de coleta. (TEIXEIRA, 2014).

Figura 7: Sarjeta tipo triangular



Fonte: (Teixeira, 2014)

Figura 8: Sarjetão

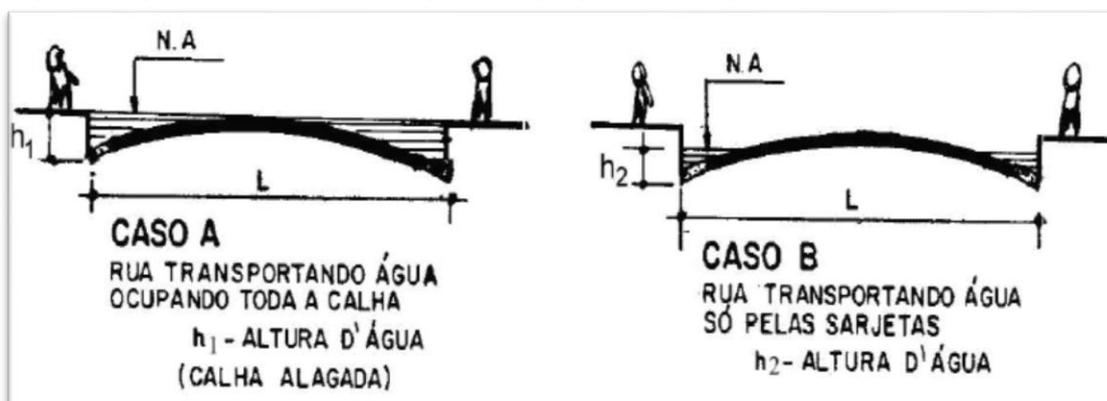


Fonte: (Téchné, 2011)

Segundo Botelho (2011), os sarjetões possuem uma capacidade hidráulica limite de transportar a água, que depende diretamente da largura da rua, declividade longitudinal da rua e a altura que será considerada limite, obtida pela equação de Manning. O autor ainda salienta que estes dispositivos não são indicados para ruas de grande fluxo de veículos, como avenidas.

De acordo com Silva *et. al.* (2011, apud FCTH, 1999), a capacidade de condução de água pluvial das sarjetas, pode ser calculada partindo-se de duas hipóteses, como apresentado na Figura 9. Para ambas as hipóteses, a declividade da rua fica em torno de 3% e, já em relação a altura de água na sarjeta, no primeiro caso, esta deve ser de 15 cm e, no segundo caso de 10 cm.

Figura 9: Hipóteses de cálculo de transporte de água pluvial em sarjetas.



Fonte: (Silva *et. al.*, 2011 apud Nakayama, 2010)

Através destes dados, segundo Pompêo (2001), pode ser calculada a vazão máxima a ser escoada pela sarjeta, utilizando-se a fórmula de Izzard, representada abaixo:

$$Q = 0,375 \cdot \left(\frac{Z}{n}\right) \cdot \sqrt{i} \cdot y_0^{\frac{8}{3}}$$

onde, Q é a vazão escoada dada em m³/s; Z é o inverso da declividade longitudinal; y_0 é a profundidade do escoamento da sarjeta; i é a declividade longitudinal da rua, dada em m/m; n é o coeficiente de rugosidade de Manning, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Coeficiente de rugosidade “n” de *manning*

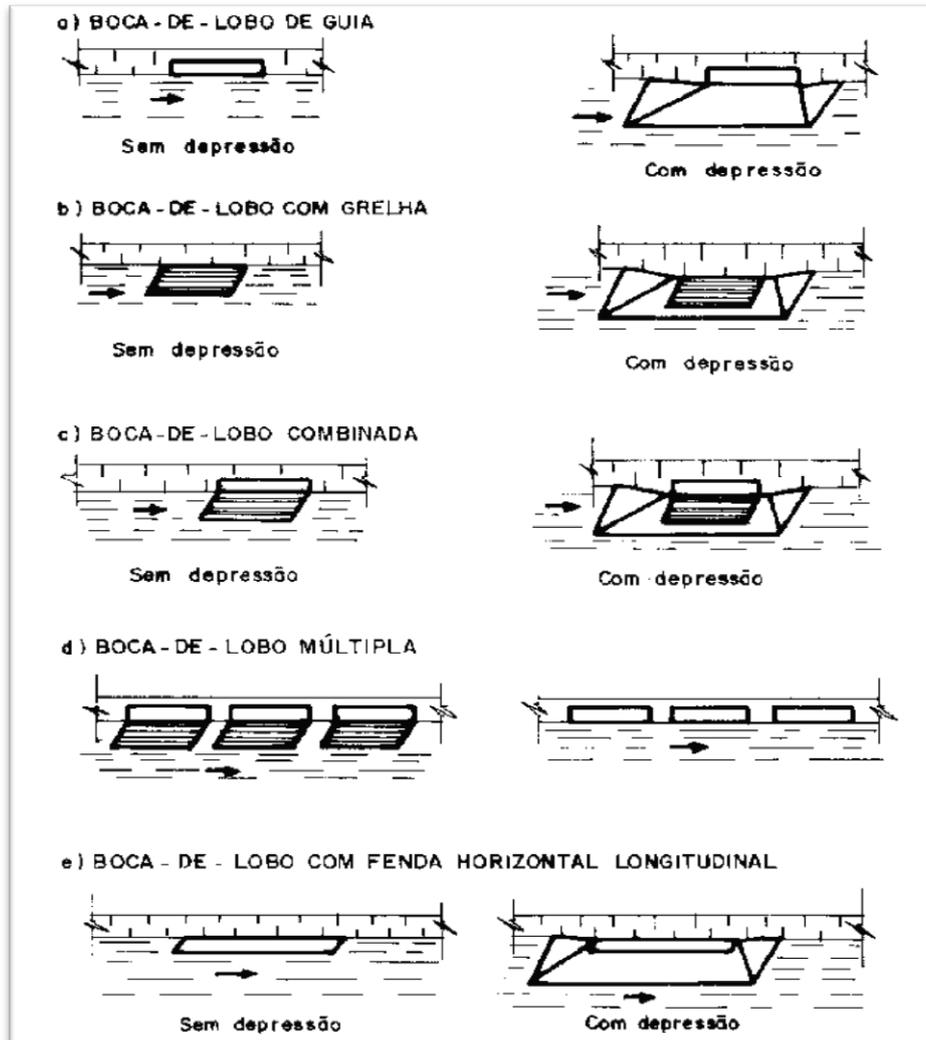
Tipo de superfície	Coeficiente de rugosidade “ n”
Tubo de concreto	0,014
Tubo de PVC	0,010

Fonte: (SUDECAP, 2004)

2.2.1.1.2 Bocas de lobo

As bocas de lobo ou bocas coletoras são estruturas hidráulicas para a captação das águas superficiais transportadas pelas sarjetas e sarjetões, situando-se normalmente sob a calçada e/ou sob a sarjeta, conforme Figura 10. (TEXEIRA, 2014)

Figura 10: Bocas de lobo



Fonte: (Drenagem, 2000)

Botelho (2011) ressalta ainda que estes dispositivos são mais comuns em obras urbanas onde a água é captada horizontalmente, exigindo um rebaixamento da sarjeta.

Já referente a capacidade de captação de água pluvial, Silva *et.al.* (2011), ressalta ainda que “uma boca de lobo é condicionada pelas características do escoamento na sarjeta à montante, pelo tipo de boca-de-lobo, suas dimensões e localização”.

Segundo Silva *et. al.* (2011, apud FCTH, 1999), para as bocas de lobo do tipo simples que trabalham como vertedores retangulares, ou seja, que possuem relação y/h menores ou iguais a 1, utiliza-se a seguinte formulação:

$$Q = 1,7 \times L \times y^{3/2}$$

onde, Q é a vazão máxima esgotada em m³/s; y é a altura da lâmina d'água próxima a abertura da guia, em metros; L é o comprimento da soleira em metros.

Ainda de acordo com Silva *et. al.* (2011, apud FCTH, 1999), pode ser calculada também como orifício, ou seja, quando a relação y/h for maior ou igual a 2, utilizando-se a formula abaixo:

$$Q = 3,101 \times L \times h^{3/2} \times \sqrt{\frac{2y - h}{2h}}$$

onde, Q é a vazão máxima esgotada em m³/s; h é a altura do meio fio em metros; y é a altura da lâmina d'água próxima a abertura da guia, em metros; L é o comprimento da soleira em metros.

Já para as bocas de lobo do tipo caixa com grelha, Silva *et. al.* (2011, apud FCTH, 1999), cita que a vazão de engolimento pode funcionar como vertedor ou orifício, utilizando-se das seguintes fórmulas:

$$Q = 1,7 \times P \times y^{3/2}$$

$$Q = 2,91 \times A \times \sqrt{y}$$

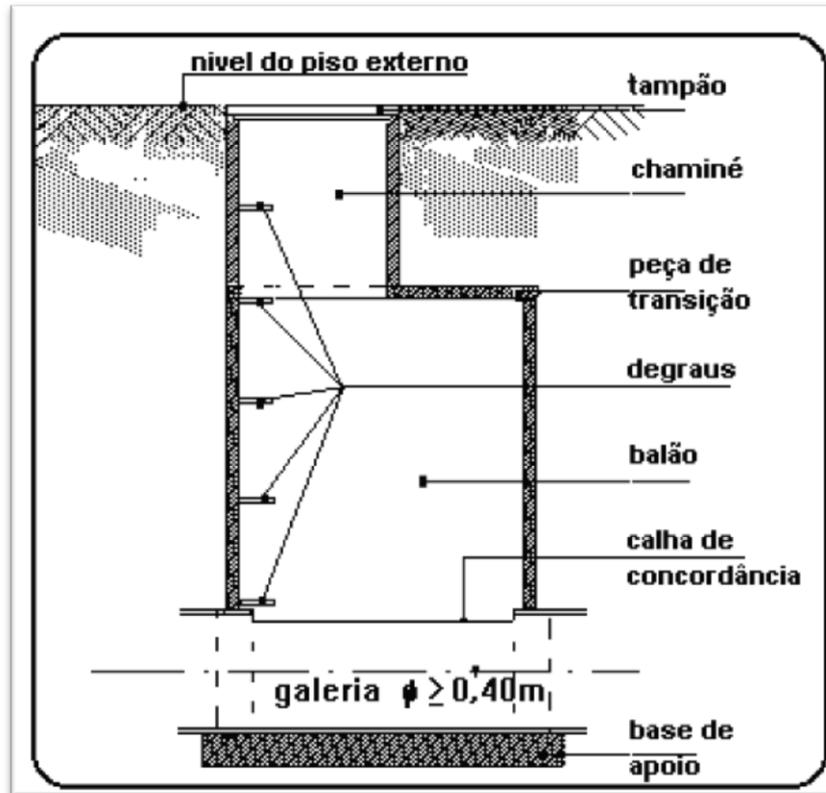
onde, Q é a vazão máxima esgotada em m³/s; y é a altura da lâmina d'água na sarjeta sobre a grelha, em metros; P é o perímetro do orifício em metros; A é a área útil em m².

2.2.1.1.3 Poços de visita

Para Teixeira (2014) e Silva *et.al.* (2011 apud FCTH, 1999), os poços de visita, como ilustrados na Figura 11, são dispositivos localizados em pontos previamente determinados no sistema de galerias de modo a facilitar a limpeza e inspeção da rede, permitir mudanças de direção, de declividade e de diâmetro.

Segundo Cardoso Neto (1998), os poços podem ser construídos em concreto, tijolos cerâmicos ou blocos de concreto. No fundo do poço é recomendado fazer um concreto magro, possuindo uma canaleta de seção semicircular para o escoamento da água. Usualmente a tampa dos poços de visita é produzida em ferro fundido e com superfície em relevo.

Figura 11: Poços de visita



Fonte: (Teixeira, 2014 apud UFCG, 2014)

Os espaçamentos máximos de acordo com Silva *et.al.* (2011) entre os poços de visita são de 1,50 m quando os diâmetros dos tubos de ligação forem de 500 à 900 mm e de 1,80 m quando os diâmetros forem acima de 900 mm.

2.2.1.1.4 Galerias

De acordo com Silva *et.al.* (2011 apud FCTH, 1999), as galerias, como ilustradas na Figura 12, são canalizações públicas utilizadas para transportar águas pluviais provenientes das bocas de lobo e das ligações privadas. O diâmetro mínimo para dimensionamento deve ser de 400 mm e, os demais diâmetros podem chegar a 1,50 m.

Figura 12: Galeria

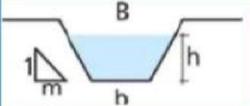
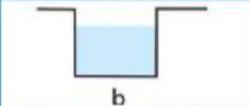
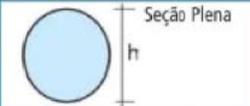
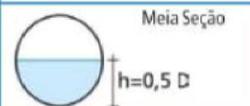


Fonte: (Teixeira, 2014)

“O cálculo das galerias de águas pluviais tem como base hidráulica o conceito de regime uniforme. Ocorre quando a força da gravidade que gera o movimento se iguala às forças de resistência, quando a declividade e rugosidade são constantes. Nesta situação, as características hidráulicas permanecem inalteradas ao longo do canal, sendo a linha d’água (NA) e linha de energia (LE) paralelas ao piso do condutor.” (Silva *et.al.*, 2011 apud FCTH, 1999)

De acordo com Vasconcelos (2016), o raio hidráulico e a área molhada são calculados de acordo com a geometria da seção, conforme Figura 13. Já a vazão máxima que um canal transporta é dada pela fórmula representada abaixo:

Figura 13: Geometria da seção para galerias

Geometria da Seção	Área Molhada (A_m)	Perímetro Molhado (P_m)	Raio Hidráulico (R_H)	Largura Superficial (B)
	$(b+mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$
	$b \cdot h$	$b+2h$	$\frac{b \cdot h}{b+2h}$	b
	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	$\frac{D}{4}$	----
	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4}$	----
	$0,7662 \cdot D^2$	$2,6467 \cdot D$	$0,2895 \cdot D$	----

Fonte: (Vasconcelos, 2016)

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

onde, Q é a vazão dada em m^3/s ; R_H é o raio hidráulico dado em m; n é o coeficiente de rugosidade de Manning; i é a declividade longitudinal da rua, dada em m/m; A_m é a área molhada, dada em m^2 .

2.2.2 Principais problemas relacionados à microdrenagem

De acordo com Kamura *et.al.* [200-], Calisto & Lima (2012) e Tucci [200-] os principais problemas relacionados à microdrenagem nas grandes cidades brasileiras são: a erosão urbana, na qual ocorre com o aumento da superfície impermeável nas zonas urbanas, na qual gera um aumento considerado do escoamento superficial nas vias, resultando em sulcos nas pavimentações, podendo estes gerar futuramente voçorocas; os alagamentos, enchentes e inundações que, com a ausência, a deficiência e/ou a falta de manutenção dos elementos de microdrenagem e a ocupação desordenada das áreas ribeirinhas podem causar grandes danos à população; e a falta de planejamento e/ou projetos para os sistemas, como o mau dimensionamento hidráulico dos elementos da microdrenagem, como galerias, sarjetas, etc.

Tucci [200-] cita ainda que para resolver os problemas supracitados, deve-se obter uma ação coordenada entre os poderes públicos, estaduais, federais e municipais, para que se encontre um caminho viável legal, institucional e econômico, de forma a gerar maior segurança e qualidade de vida à população.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho apresenta a atual situação do sistema de drenagem da Avenida Doutor Renato Azeredo, localizada no bairro Jardim Chamonix, na cidade de Machado – MG, o qual apresenta vários problemas relacionados à ineficiência do esgotamento de águas pluviais.

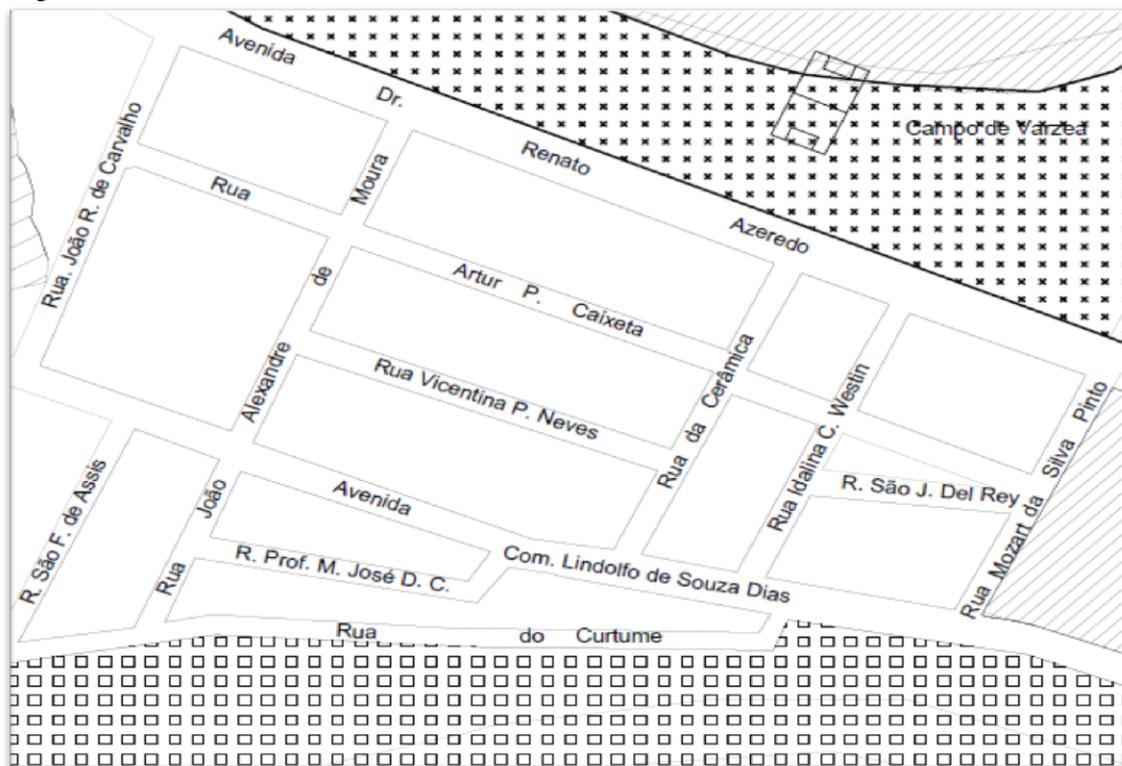
Os subsídios teóricos necessários foram adquiridos através da pesquisa bibliográfica apresentada no item anterior e, além disto, foram realizadas visitas “*in loco*” e levantamento de dados através de entrevista, apresentada no Anexo A, realizada junto ao setor de engenharia da Prefeitura Municipal de Machado. Também foi necessário para auxílio nos cálculos à utilização dos softwares AutoCAD, Google Earth PRO e Global Mapper.

3.1 Delimitação da área da bacia hidrográfica de contribuição

A determinação da área da bacia hidrográfica foi realizada por meio de mapas topográficos eletrônicos, obtidos através do Software Global Mappers. Para isto, foi preciso primeiramente, realizar o traçado do contorno da bacia, ou seja, estabelecer o traçado da linha divisora de águas que promove a separação das bacias vizinhas. Por fim, através do Software AutoCAD, foi determinada a área de influência da bacia.

Após a delimitação da área de contribuição da bacia, para iniciar as observações e os cálculos, foi necessário utilizar-se dos projetos urbanísticos das avenidas e ruas, conforme Figura 14, que influenciam diretamente no trecho da avenida em estudo, disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Machado e, pela topografia da região levantada através do Software Global Mapper.

Figura 14: Avenida e ruas de influência à Av. Dr. Renato Azeredo



Fonte: (O autor, 2016)

3.2 Verificações do sistema de microdrenagem implantados

Para a verificação do sistema atual implantado no trecho da avenida em estudo, o qual demonstra falhas, faz-se necessário o conhecimento de fatores importantes, como intensidade de chuvas, período de retorno, dentre outros, e da determinação dos métodos de cálculo. Para isso, seguem descritos abaixo como serão realizadas as verificações destes fatores.

3.2.1 Intensidade de precipitações

A intensidade de precipitação para o município de Machado (MG) será obtida através do Software Pluvio 2.1, possibilitando a adoção de coeficientes de uma amostragem mais próxima do real.

De acordo com Carvalho & Silva (2006), a equação na qual se complementa a partir dos coeficientes obtidos pelo software supracitado, segue:

$$i = \frac{k \cdot T^a}{(t + b)^c}$$

onde, i é a intensidade média de precipitação, dada em mm/h; k , a , b e c , são constantes de ajustes locais geradas pelo software; T é o tempo de retorno, dado em anos; t é a duração da precipitação, dada em minutos.

3.2.2 Período de retorno (T)

Conforme recomenda Botelho (2011) em obras de drenagem urbana, será adotado e avaliado para este estudo, o período de retorno de dois anos, que se justifica pela ocupação da área em estudo, uma vez que a mesma é constituída de edificações unifamiliares, sem grande possibilidade de ocupação mais intensa.

3.2.3 Tempo de concentração

Para o cálculo de tempo de concentração da bacia, serão utilizadas as seguintes formulações, citados por Botelho (2011):

$$T_c = T_s + T_a$$

onde, T_c é o tempo de concentração, dado em minutos; T_a é o tempo em que uma gota de água leva para percorrer do ponto mais alto da bacia até a sua foz, sendo adotado um valor de 10 minutos, conforme indica o autor; T_s é o tempo em que uma gota de água leva para percorrer do mais distante da bacia até a primeira boca de lobo do sistema de captação de água pluvial.

E, ainda de acordo com Botelho (2011), para o cálculo de T_s correspondente a fórmula citada anteriormente, é dada a seguinte expressão:

$$T_s = \frac{16 \cdot L}{(1,05 - 0,2 \cdot p) \cdot (100 \cdot i_m^{0,04})}$$

onde, L é a distância do ponto mais distante da bacia ao ponto considerado, dada em km; p é o percentual de área permeável da bacia, dada em sua forma decimal; i_m é a declividade média do terreno ao longo do trecho considerado, dada em m/m.

3.2.4 Coeficiente de escoamento superficial

Para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial será utilizada a Tabela 1, onde será calculado o valor médio de C , levando em consideração as áreas de contribuição de cada elemento contido no local de estudo.

3.2.5 Cálculo da estimativa de vazão

A estimativa de vazão se dará pelo Método Racional, no qual, de acordo as referências bibliográficas estudadas são indicadas para o cálculo em pequenas bacias, com área máxima de 3 km². Tal estimativa é dada pela equação a seguir.

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

onde, Q é a vazão, dada em m³/s; C é o coeficiente médio de deflúvio; i é a intensidade média de precipitação, dada em m/s; A é a área da bacia de contribuição, dada em m².

3.2.6 Método de cálculo para capacidade de transporte de sarjetas

Para o cálculo de transporte de vazão de águas pluviais nas sarjetas, será utilizada a fórmula de Izzard, representada abaixo:

$$Q = 0,375 \cdot \left(\frac{Z}{n}\right) \cdot \sqrt{i} \cdot y_0^{\frac{8}{3}}$$

onde, Q é a vazão escoada dada em m³/s; Z é o inverso da declividade longitudinal; y_0 é a profundidade do escoamento da sarjeta; i é a declividade longitudinal da rua, dada em m/m; n é o coeficiente de rugosidade de *Manning*, conforme Tabela 2.

3.2.7 Método de cálculo para capacidade de engolimento da boca de lobo

Através de visitas in loco, foram observadas que todas as bocas de lobo são do tipo caixa com grelha. Portanto, para o cálculo da capacidade de engolimento de cada boca de lobo implantada na área de estudo, será utilizada a fórmula citada por Tomaz (2013), dada a seguir.

$$Q_i = 1,66 \cdot P \cdot y^{1,5}$$

onde, Q_i é a vazão de engolimento da grelha, dada em m³/s; P é o perímetro do orifício, dado em m; y é a altura de lâmina d'água na sarjeta sobre a grelha, dada em m.

3.2.8 Capacidade de transporte das galerias

Para a verificação e análise do atendimento das tubulações das galerias em relação à vazão, deve-se primeiramente obter o ajuste da vazão de projeto nas relações de Y/D , que variam de 0,70 à seção plena nas galerias. Portanto, para este cálculo será

adotado relação $Y/D = 0,70$, conforme dado obtido em entrevista com o setor de engenharia da Prefeitura Municipal de Machado.

Após, para a determinação do raio hidráulico e da área molhada, serão utilizadas formulações obtidas na Figura 13 e, para o cálculo da vazão máxima de transporte, a fórmula é dada a seguir:

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

onde, Q é a vazão dada em m^3/s ; R_H é o raio hidráulico dado em m; n é o coeficiente de rugosidade de *Manning*; i é a declividade longitudinal da rua, dada em m/m; A_m é a área molhada, dada em m^2 .

3.2.9 Apresentação de resultados

Após a realização de todas as verificações supracitadas do sistema de microdrenagem atual, serão apresentados os resultados. Neste capítulo serão utilizados textos, tabelas e imagens para demonstração de cálculos e da atual situação dos elementos do sistema de drenagem da bacia, utilizando-os para a avaliação das possíveis causas dos problemas, assim como seus indicativos de solução.

4. DIAGNÓSTICO

4.1 Caracterizações do local de estudo

A área do estudo em questão está localizada no bairro Jardim Chamonix, pertencente à cidade de Machado (MG), a qual, de acordo IBGE (2015) tem uma população estimada de 41.368 habitantes e, possui uma área territorial de 585,96 km².

O local de estudo é constituído por uma área de 157.803,74 m² (cento e cinquenta e sete mil oitocentos e três metros quadrados), sendo a divisão desta área realizada da seguinte forma: 16.707,68 m² referentes a área verde (Parque Municipal de Exposições), totalizando em 10,58 % da área total; 4.194,41 m² é reservada a área institucional (Escola Estadual Paulina Rigotti de Castro) que equivale a 2,65 % do total da área; 91.262,17 m² reservada à área dos lotes habitacionais, que equivale a 57,83 % da área total e; 45.639,48 m² referentes as áreas impermeabilizadas da bacia (passeios e pavimentação), equivalendo-se a 28,94 % da área total de influência da bacia, totalizando em 100%.

4.2 Caracterizações do sistema existente

A Av. Doutor Renato Azeredo, objeto deste estudo, tem sua drenagem realizada superficialmente pelo perfil da rua e também por nove bocas de lobo, sendo que todas são do tipo caixa com grelha, sendo as grelhas fabricadas em aço, conforme Figura 15.

Figura 15: Boca de lobo tipo caixa com grelha em aço

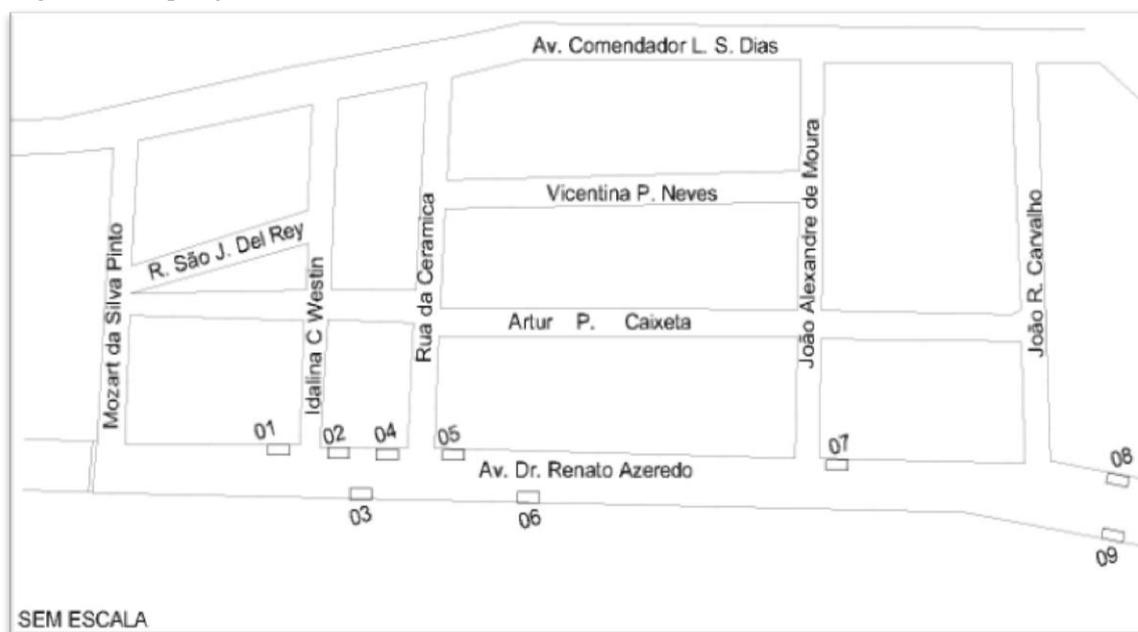


Fonte: (O autor, 2016)

Já o meio fio possui 18 centímetros de altura e a largura das sarjetas são de 50 centímetros, sendo estas do tipo A conforme padrão SUDECAP (2004), com inclinação transversal de 3%, similar a da rua, com os mesmos 3%, que também segue os padrões descritos pela SUDECAP (2004). O sistema conta também com dois sarjetões.

As bocas de lobo contidas na área em estudo estão dispostas conforme a Figura 16 e, as mesmas possuem suas dimensões descritas na Tabela 3.

Figura 16: Disposição das bocas de lobo



Fonte: (O autor, 2016)

Tabela 3: Dimensões das bocas de lobo

Boca de Lobo	Dimensões (m)	
	Largura (a)	Comprimento (b)
01	0,40	0,60
02	0,50	0,80
03	0,40	0,60
04	0,40	0,60
05	0,40	0,60
06	0,40	0,60
07	0,55	0,80
08	0,40	0,70
09	0,40	0,60

Fonte: (O autor, 2016)

As bocas de lobo começam captando as vazões geradas superficialmente pela margem esquerda das Ruas Idalina C. Westin, Arthur Pereira Caixeta, São João Del Rei e pela margem direita da Rua Mozart da Silva Pinto que, resultam do acúmulo das vazões escoadas superficialmente da Av. Comendador Lindolfo de Souza Dias. A captação deste volume é realizada pela boca de lobo 01, que está totalmente obstruída por sujeiras e vegetação. Já a boca de lobo 02, recebe as vazões geradas superficialmente das margens direita das Ruas Idalina C. Westin e Arthur Pereira Caixeta.

A boca de lobo 03, localizada em um ponto intermediário da Av. Doutor Renato Azeredo capta a vazão gerada pelas margens esquerda da Rua Mozart da Silva Pinto, direcionadas para a margem direita da avenida em estudo através de um sarjetão.

As vazões geradas pela Av. Comendador Lindolfo de Souza Dias e Rua da Cerâmica em sua margem esquerda, são captadas pela boca de lobo 04 e, a boca de lobo 05, capta as vazões geradas pela Av. Comendador Lindolfo de Souza Dias e pelas Ruas Vicentina P. Neves, Arthur Pereira Caixeta e Rua da Cerâmica em sua margem direita e, a mesma encontra-se parcialmente obstruída por madeiras.

No trecho posterior a boca de lobo 03, na Av. Doutor Renato Azeredo, encontra-se a boca de lobo 06, localizada também em um ponto intermediário, responsável pela captação das vazões geradas pela margem direita da avenida em questão. O volume total destas bocas de lobo é transportado para o último trecho da avenida, na qual a captação é realizada pela boca de lobo 09, localizada em um ponto baixo.

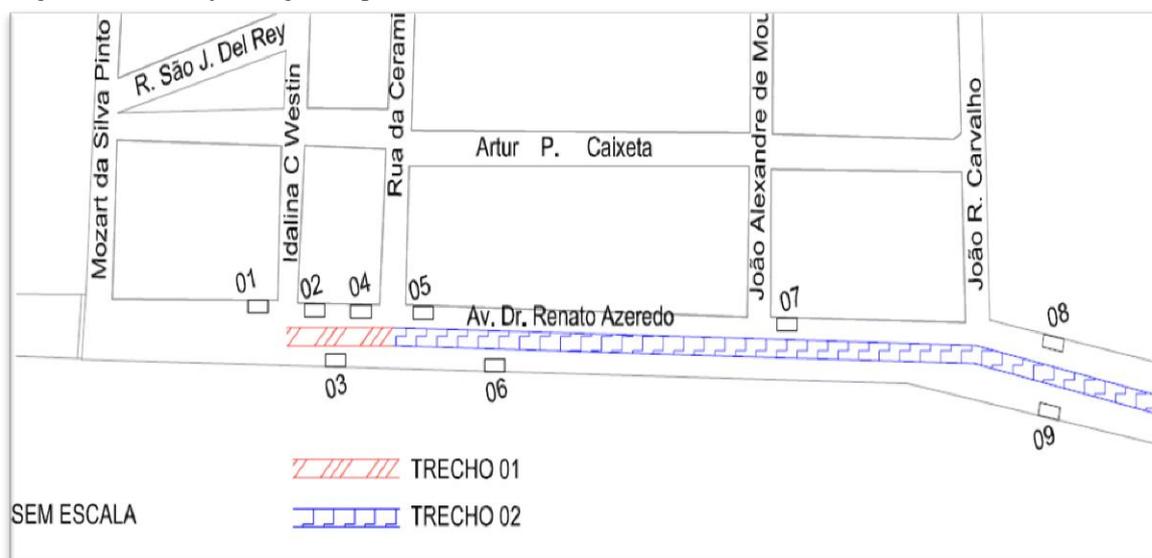
Já a boca de lobo 07 recebe os efluentes das margens direita da Av. Comendador Lindolfo de Souza Dias e pelas Ruas João Alexandre de Moura, Arthur Pereira Caixeta, que são transportados diretamente para a boca de lobo 08, estando esta no último trecho e, recebendo influência da Rua João R. de Carvalho.

4.2.1 Dados obtidos através de entrevista referentes às galerias e poços de visita

Conforme relatado pelo Engenheiro Civil Edson Siqueira de Souza da Prefeitura de Municipal de Machado, em entrevista cedida às quatorze horas do dia vinte e três de março de dois mil e dezesseis, apresentada no Anexo A, a Av. Dr. Renato Azeredo, objeto deste estudo, possui galeria em praticamente toda sua extensão, com início no cruzamento da Rua Idalina C. Westin com a própria avenida. Nos trechos entre as ruas

Idalina C. Westin e Rua da Cerâmica, a galeria possui diâmetro de 600 mm e, já no restante do trecho em estudo, a mesma possui diâmetro de 800 mm, conforme é possível visualizar na Figura 17. As manilhas referentes a esta tubulação fabricadas em concreto armado.

Figura 17: Tubulação de galeria pluvial



Fonte: (O autor, 2016)

Ainda de acordo com engenheiro, os poços de visita implantados na área de influência da bacia possuem profundidades médias de 1,70 metros.

4.3 Verificações da capacidade do sistema atual

A concepção inicial do projeto basicamente foi realizada a partir do levantamento da topografia e projeto urbanístico da área em estudo, na qual está localizada entre as áreas mais antigas da cidade e, portanto, não existiam arquivos de projetos com informações específicas da mesma, sendo o levantamento das informações necessárias obtidas com o auxílio dos softwares Google Earth PRO, Global Mapper 17 e AutoCAD 2015.

4.3.1 Verificação da vazão pluvial para o ponto mais desfavorável da bacia

Para a verificação e análise das condições de um bom funcionamento das estruturas de microdrenagem instaladas, foram utilizadas as fórmulas e método já citados neste trabalho, sendo analisado para a obtenção dos resultados o último trecho da galeria, considerado o mais desfavorável.

Aplicando-se então a fórmula de George Ribeiro para a obtenção do valor do tempo de concentração, com base nos dados da bacia em estudo, temos:

$$T_s = \frac{16 \times 0,632}{(1,05 - 0,2 \times 0,1058) \cdot (100 \times \frac{13}{505,26})^{0,04}} = 9,46 \text{ minutos}$$

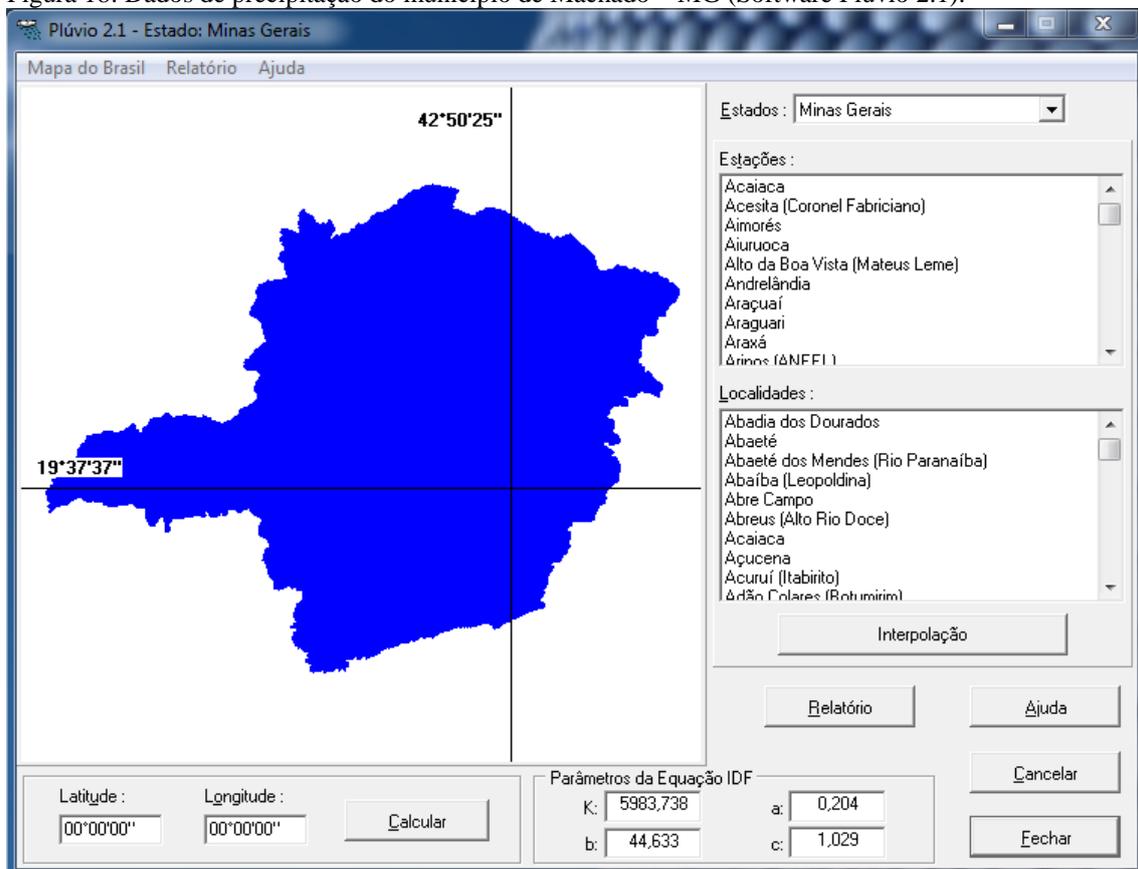
Sendo então, o tempo de concentração de:

$$T_c = 9,46 + 10 = 19,46 \text{ minutos}$$

Após então a obtenção do tempo de concentração da bacia, tendo o tempo de retorno adotado de 2 anos e, os dados dos coeficientes de intensidade de chuvas (k , b , c , e a) extraídos do programa Pluvio 2.1 para a cidade de Machado - MG, conforme Figura 18, é possível ter conhecimento da intensidade máxima média de chuvas (i_m) aplicando a equação abaixo:

$$i_m = \frac{3811,29 \times 2^{0,207}}{(19,46 + 20,34)^{1,075}} = 83,85 \text{ mm/h}$$

Figura 18: Dados de precipitação do município de Machado – MG (Software Pluvio 2.1).



Fonte: (UFV – Universidade Federal de Viçosa)

Já para a determinação da vazão pluvial, será utilizado o Método Racional, sendo necessário para isto estabelecer o valor do coeficiente de “*Runoff*”.

Para a área de estudo, as áreas verdes correspondem a 16.707,68 m² e seu C médio adotado é de 0,175, os lotes habitacionais correspondem a 91.262,17 m² e seu C médio adotado de 0,5, as áreas pavimentadas compõem 45.639,48 m² e C médio adotado de 0,925 e as áreas institucionais correspondem a 4.194,41 m² tendo adotado C médio de 0,85, embasado nas características de ocupação do solo.

Logo, temos que:

$$C_{Médio} = \frac{\Sigma(16.707,68 \times 0,175) + (91.262,17 \times 0,5) + (45.639,48 \times 0,925) + (4.194,41 \times 0,85)}{157.803,74}$$

$$C_{Médio} \cong 0,60$$

Com isso, utilizando a fórmula descrita no método adotado, segue:

$$Q = 0,60 \times 0,08385 \times 157.803,74 = 7.939,10 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \mathbf{2,21 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Logo, para $Y/D = 0,70$, temos $Q_x/Q_p = 0,83$ conforme Tabela 04. Portanto,

temos:

$$Q_p = \left(\frac{2,21}{0,83} \right) = 2,66 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabela 4: Relações de Y/D

y/d	Qx/Qp	Ux/Up									
0,07	0,01	0,32	0,36	0,26	0,82	0,51	0,51	1	0,66	0,76	1,1
0,1	0,02	0,41	0,37	0,27	0,83	0,51	0,52	1,01	0,66	0,77	1,1
0,12	0,03	0,46	0,38	0,28	0,85	0,52	0,53	1,01	0,67	0,78	1,11
0,14	0,04	0,47	0,39	0,29	0,87	0,52	0,54	1,02	0,68	0,79	1,11
0,15	0,05	0,49	0,39	0,3	0,87	0,54	0,55	1,02	0,68	0,8	1,12
0,16	0,06	0,51	0,39	0,31	0,88	0,55	0,56	1,02	0,69	0,81	1,12
0,18	0,07	0,53	0,4	0,32	0,89	0,55	0,57	1,03	0,69	0,82	1,13
0,19	0,08	0,54	0,41	0,33	0,9	0,56	0,58	1,03	0,7	0,83	1,13

Continuação da Tabela 4:

y/d	Qx/Qp	Ux/Up									
0,2	0,09	0,59	0,41	0,34	0,9	0,56	0,59	1,04	0,7	0,84	1,13
0,22	0,1	0,62	0,42	0,35	0,91	0,57	0,6	1,04	0,71	0,85	1,13
0,22	0,11	0,63	0,42	0,36	0,92	0,58	0,61	1,05	0,72	0,86	1,13
0,25	0,12	0,65	0,43	0,37	0,93	0,58	0,62	1,06	0,73	0,87	1,13
0,26	0,13	0,67	0,44	0,38	0,93	0,58	0,63	1,06	0,74	0,88	1,13
0,27	0,14	0,68	0,45	0,39	0,93	0,58	0,64	1,06	0,74	0,89	1,13
0,28	0,15	0,69	0,46	0,4	0,94	0,59	0,65	1,07	0,75	0,9	1,14
0,28	0,16	0,71	0,47	0,41	0,95	0,6	0,66	1,08	0,75	0,91	1,14
0,28	0,17	0,71	0,47	0,42	0,96	0,6	0,67	1,08	0,76	0,92	1,14
0,29	0,18	0,72	0,48	0,43	0,97	0,61	0,68	1,08	0,77	0,93	1,14
0,3	0,19	0,73	0,48	0,44	0,97	0,62	0,69	1,08	0,78	0,94	1,14
0,31	0,2	0,77	0,48	0,45	0,98	0,62	0,7	1,08	0,78	0,95	1,15
0,32	0,21	0,78	0,49	0,46	0,99	0,62	0,71	1,09	0,78	0,96	1,15
0,33	0,22	0,79	0,49	0,47	0,99	0,63	0,72	1,09	0,79	0,97	1,15
0,34	0,23	0,8	0,5	0,48	0,99	0,63	0,73	1,09	0,8	0,98	1,15
0,35	0,24	0,81	0,5	0,49	0,99	0,64	0,74	1,09	0,81	0,99	1,15
0,36	0,25	0,82	0,5	0,5	1	0,65	0,75	1,1	0,82	1	1,15

Fonte: (Vasconcelos, 2016)

Para isso, levando em consideração a vazão de projeto, o raio hidráulico e a área molhada de acordo com a relação Y/D adotada, através do cálculo apresentado abaixo temos o diâmetro da galeria no seu pior trecho.

$$Q = \left(\frac{0,1}{0,016} \right) \pi x D^{2,66} x I^{0,5} \rightarrow \sqrt[2,66]{\left(\frac{2,66}{6,77} \right)} \rightarrow D = 0,704 \text{ m}$$

Adotado o próximo diâmetro comercial superior, que é de **800 mm**.

Portanto, com estes dados é possível calcular a velocidade de transporte da água pluvial na tubulação, para obter conhecimento sobre a força de arraste. Para isso, temos:

$$V = \frac{R_H^{\frac{2}{3}} x \sqrt{I}}{0,016} \rightarrow \frac{\frac{0,8^{\frac{2}{3}}}{4} x \sqrt{0,005}}{0,016} \rightarrow V = 1,52 \text{ m/s}$$

4.3.2 Verificação da capacidade de engolimento das bocas de lobo

A capacidade de engolimento das bocas de lobo foi calculada de acordo com método citado por Tomaz (2013), contido na metodologia deste trabalho, levando em conta o fator de redução sobre capacidade da vazão de engolimento calculada.

As bocas de lobo 01, 02, 04, 05, 07, 08 e 09, estão locadas em pontos baixos nas sarjetas da avenida em questão, tendo fator de redução de 50%. O cálculo das vazões é representado na Tabela 5.

Tabela 5: Vazão de engolimento das bocas de lobo de ponto baixo nas sarjetas

Boca de Lobo	Dimensões (m)		Perímetro (m)	y (m)	Q (m ³ /s)	Fator de Redução	Qreal (m ³ /s)
	a	b					
01	0,40	0,60	1,40	0,15	0,14	0,50	0,07
02	0,50	0,80	1,80	0,15	0,18	0,50	0,09
04	0,40	0,60	1,40	0,15	0,14	0,50	0,07
05	0,40	0,60	1,40	0,15	0,14	0,50	0,07
07	0,55	0,80	1,90	0,15	0,19	0,50	0,09
08	0,40	0,70	1,50	0,15	0,15	0,50	0,07
09	0,40	0,60	1,40	0,15	0,14	0,50	0,07

Fonte: (O autor, 2016)

Já as bocas de lobo 03 e 06 estão localizadas em pontos intermediários nas sarjetas, tendo como fator de redução igual a 60%. O cálculo das vazões é representado na Tabela 6.

Tabela 6: Vazão de engolimento das bocas de lobo de ponto intermediário nas sarjetas

Boca de Lobo	Dimensões (m)		Perímetro (m)	y (m)	Q (m ³ /s)	Fator de Redução	Q _{real} (m ³ /s)
	a	b					
03	0,40	0,60	1,40	0,15	0,14	0,60	0,084
06	0,40	0,60	1,40	0,15	0,14	0,60	0,084

Fonte: (O autor, 2016)

Observou-se através das visitas realizadas *in loco*, que as bocas de lobo 01 e 05 estão com seu rendimento reduzido. O perímetro da boca de lobo 01, considerando sua obstrução é na realidade 0,50 metros, resultando em uma vazão real de 0,038 m³/s, já a boca de lobo 05 possui perímetro de 0,61 metros e vazão real de 0,046 m³/s. Portanto, a vazão real do conjunto de bocas de lobo é igual à 0,64 m³/s.

4.4 Análise dos resultados

De acordo com os resultados obtidos através dos cálculos realizados, conclui-se que a galeria implantada no local de estudo, mesmo calculada com a menor relação de rendimento hidráulico da estrutura, $Y/D = 0,70$, e em seu ponto mais desfavorável, atende aos critérios necessários para o transporte das águas pluviais geradas na bacia, pois, o diâmetro calculado da tubulação se mostrou idêntico ao implantado no sistema atual.

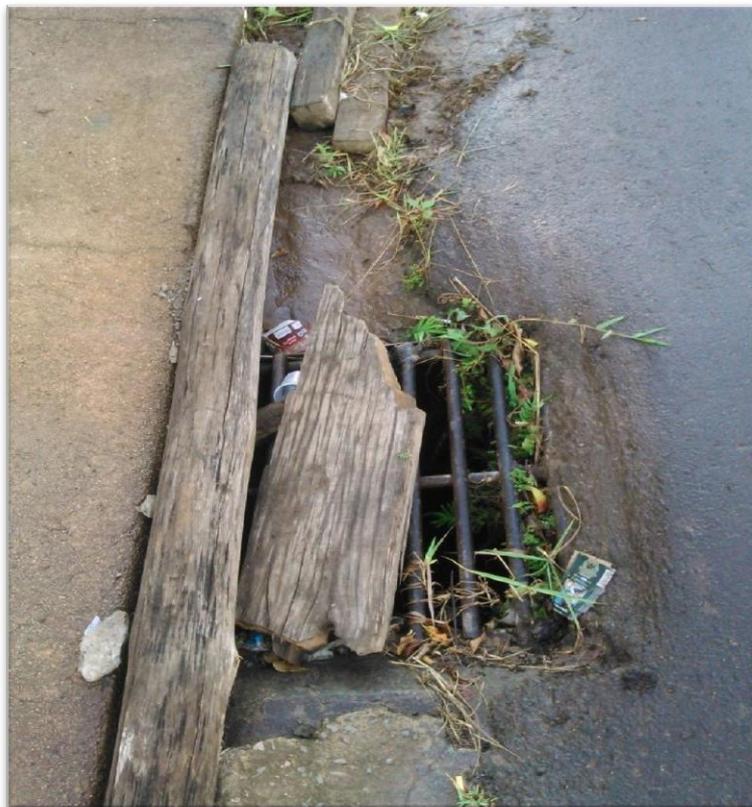
Já em relação à velocidade de escoamento da água pluvial verificada na galeria, com resultado de 1,52 m/s, nota-se que este está acima do mínimo recomendado pela SUDECAP (2004), de 0,75 m/s, para que não ocorra assoreamento na tubulação, concluindo que o funcionamento da galeria está de acordo com os padrões mínimos exigidos para um bom projeto de drenagem.

Referente às bocas de lobo, a principal desvantagem do modelo implantado na estrutural atual, caixa com grelha, é a grande capacidade deste dispositivo se obstruir com detritos levados pelas enxurradas nas sarjetas, causando a redução da sua capacidade de esgotamento.

O cálculo das bocas de lobo representados nas tabelas 05 e 06 considera o funcionamento perfeito do conjunto, porém, na atual situação do sistema duas das nove bocas de lobo trabalham com sua capacidade de esgotamento reduzida, onde o elemento 01 está quase totalmente entupido, trabalhando com aproximadamente 46 % da sua capacidade, o elemento 05 encontra-se parcialmente obstruído, trabalhando com aproximadamente 65 % da sua capacidade, conforme Figura 19. Portanto, há uma redução de aproximadamente 8 % na somatória da vazão total de engolimento do conjunto. Percentuais estes obtidos através dos cálculos apresentados no item 4.3.2.

Com base na concepção de que toda água precipitada na bacia é escoada para o ponto mais desfavorável, no qual foi calculada a vazão da bacia, mostra-se evidente que o conjunto de bocas de lobo está subdimensionado, uma vez que a somatória das vazões de engolimento das bocas de lobo, igual $0,64 \text{ m}^3/\text{s}$, incluso o não funcionamento correto dos elementos 01 e 05 supracitados, corresponde a cerca de 24 % da vazão total gerada na bacia, que é de $2,66 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 19: Boca de lobo obstruída



Fonte: (O autor, 2016)

Um fator também analisado no sistema é a quantidade e localização das bocas de lobo implantadas na estrutura atual, que estão de fato prejudicando o escoamento da água pluvial gerada na bacia, uma vez que em alguns trechos da Avenida Comendador Lindolfo de Souza Dias o escoamento se torna indefinido e, em alguns trechos da Rua Idalina C. Westin e Rua da Cerâmica, o escoamento se mostra acima da capacidade de transporte das sarjetas, uma vez que o mesmo invade grande parte da via de tráfego. Fator estes observados através de visitas *in loco* durante uma precipitação.

Outro fator que está comprometendo o funcionamento correto da estrutura atual é a baixa declividade longitudinal da margem esquerda da avenida em estudo no trecho entre as Ruas Mozart da Silva Pinto e Idalina C. Westin, uma vez que as vazões escoadas para estes pontos estão empoçadas, conforme Figura 20, e, causando grandes alagamentos nas vias e calçadas, fato este agravado pelo entupimento quase total da boca de lobo 01.

Figura 20: Empoçamento de água pluvial



Fonte: (O autor, 2016)

Outra condição que influencia no mau funcionamento da estrutura é o empoçamento de água nas áreas viárias em pontos específicos da bacia, conforme

mostrado nas imagens da Figura 21, causados pela ocorrência de declividade invertida nas vias, ou seja, ao invés de ocorrer o encaminhamento da água para a sarjeta, a mesma está sendo direcionada para a junção asfalto e sarjeta, gerando voçorocas na pavimentação.

Figura 21: Voçorocas na pavimentação da Av. Dr. Renato Azeredo



Fonte: (O autor, 2016)

5. INDICATIVOS DE SOLUÇÃO

Com as informações obtidas através deste estudo e dos cálculos e comparações realizados, é possível gerar indicativos de solução para os problemas apresentados, sendo estes de modo preventivo e corretivo.

Soluções de modo preventivo:

- conscientização da população sobre a importância de se manter os componentes da microdrenagem locais desobstruídos;
- realização de fiscalização e manutenção constantes destes dispositivos por parte do município;

Soluções de modo corretivo:

- realização de limpeza, desobstrução e manutenção das bocas de lobo parcialmente e, quase totalmente entupidadas e das sarjetas, de modo a permitir uma maior eficiência destes elementos no sistema;
- reposicionar e instalar novas bocas de lobo no sistema de drenagem, de modo a impedir o escoamento de vazões superiores às suportadas pelas sarjetas;

Os indicativos para os problemas acima citados serão criteriosamente analisados no segundo módulo deste Trabalho de Conclusão de Curso, a ser apresentado no segundo semestre deste mesmo ano, no qual serão apresentados as possíveis soluções e/ou melhorias para o sistema atualmente implantado, seguindo o cronograma descrito na Tabela 07.

Tabela 7: Cronograma de atividades TCC II

CRONOGRAMA TCC II				
ATIVIDADES	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
▪ Cálculo das vazões pluviais das ruas e sarjetas	X			
▪ Diagnóstico da ineficiência do sistema atual de microdrenagem	X	X		
▪ Elaboração de proposta de solução e/ou melhoria		X	X	
▪ Elaboração de memoriais de cálculo			X	
▪ Elaboração de projetos e memoriais			X	X
▪ Apresentação final				X

Fonte: (O autor, 2016)

6. CONCLUSÃO

Diante dos estudos bibliográficos realizados e informações obtidas através das visitas in loco atendendo os objetivos do presente trabalho, conclui-se que o sistema de microdrenagem analisado neste estudo se mostra ineficiente, ou inadequado para a atual área impermeável contribuinte da bacia em questão, uma vez que há constância de alagamentos em determinados pontos.

Em decorrência dos cálculos realizados e resultados obtidos do atual sistema de microdrenagem da área em estudo, comprova-se que apesar da galeria atender a solicitação das vazões precipitadas pela bacia, a quantidade e até mesmo a localização das bocas de lobo implantadas no sistema atual não suportam este volume escoado. Além do fato de que falta de manutenção e limpeza destes dispositivos tornam a situação ainda mais grave.

Outro fator diagnosticado que influencia diretamente na ineficiência das áreas viárias e calçadas é a baixa declividade longitudinal em alguns trechos da Avenida Doutor Renato Azeredo, gerando empoçamento dos volumes precipitados direcionados a estes pontos e, se tornando causas possíveis da deterioração da pavimentação.

Portanto, há a necessidade de readequação do sistema atual de microdrenagem, sendo necessária a instalação de novas bocas de lobo que atendam a vazão precipitada e contribuinte da bacia, bem como a realização constante de manutenção e limpeza dos elementos implantados, de modo a possibilitar uma maior eficiência de trabalho destes dispositivos e, ainda conscientizar a população sobre o não descarte de entulhos e nas vias públicas, com o intuito de diminuir as possíveis obstruções dos elementos de microdrenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, Francisco de Assis dos Reis. **Medidas de Proteção e Controle de Inundações Urbanas na Bacia do Rio Mamanguape/PB**. UFP: João Pessoa – PB, 2006.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Águas de Chuva: Engenharia das Águas Pluviais nas Cidades**. 3 ed. São. Paulo: Blucher, 2011.

CALISTO, Flávia D. G.; LIMA, Ericléia F. **Problemas de Microdrenagem Urbana no Bairro Piauí**. Tocantins: 2012.

CARDOSO NETO, A. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. Florianópolis: Laboratório de Drenagem do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1998.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista. **Escoamento Superficial**. In. Hidrologia, [S.l.: s.n.], 2006

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutnéia. **Hidrologia**. UFRGS: Caxias do Sul, 2008.

DAAE, Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo. **Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas**. São Paulo, 2005.

DRENAGEM, Urbana. [S.l.: s.n.], 2008. <Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAagIAF/drenagem-urbana-sp>>. Acesso em: 07 abr. 2016.

FERNANDES, Carlos. **Microdrenagem: Um Estudo Inicial**. [S.l.: s.n.], 2002.

FRITSCH, Fabricius E. Danieli. **Influência do Uso e Ocupação do Solo nas Vazões de Pico na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco – PR**. Universidade Federal Tecnológica do Paraná: Pato Branco – PR, 2013.

GRIBBIN, J. E. **Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. São Paulo: Cengage, 3ª ed, 2010.

IBGE, Censo 2015. Disponível em: <
<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=313900&search=minas-gerais|machado>>. Acessado em: 26 de março 2016.

JUNIOR, Alvaro Mari. **Determinação do Coeficiente de Deflúvio da Bacia do Arroio Ouro Verde localizada no Município de Foz do Iguaçu/PR**. UDC: Foz do Iguaçu: 2010.

KAMURA, Douglas T.; MORI, Fabio H.; OSHIRO, Renato A.; NAKAZATO, Rodrigo. **Microdrenagem nas Grandes Cidades: Problemas e Soluções**. USP: São Paulo, s.d.

MACHADO, M. L. B.; SILVA, A. S. **A Contribuição das Ações Antrópicas na Degradação do Solo e do Meio Ambiente**. Universidade Veiga de Almeida. Ano 1, 1 ed., dez. 2005.

POMPÊO, Cesar Augusto. **Sistemas Urbanos de Microdrenagem**. Florianópolis: UFSC, 2001.

ROLIM, Adriano. **Hidrologia Aplicada**. UERS: Caxias do Sul, 2004.

SILVA, Anderson M.; VICENTINI, Paula N.; ARCANJO JUNIOR, Roberto A.; ROSA, Vanessa M. **Elementos Básicos para Desenvolvimento de Projetos de Drenagem Urbana: Estudo de Caso da Bacia do Córrego Ipiranga em São Bernardo do Campo – SP**. Universidade Anhembi Morumbi: São Paulo, 2011.

SILVEIRA, André L. Lopes. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS: Porto Alegre, 2005.

SUDECAP, Superintendência de Desenvolvimento da Capital. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: out. 2004.

TÉCHNE, Revista. **Elementos de Microdrenagem**. São Paulo: 2011.

TEIXEIRA, Suzane Naiara. **Sistemas de Drenagem Urbana: Estudo de Caso para a Macrodrenagem do Município de Arcos – MG**. UNIFOR: Formiga, 2014.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação. 1ª ed.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul: ABRH, EDUSP, 1993.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana. Coleção ABHR de Recursos Hídricos. 1ª edição.** São Paulo, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª ed.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul: ABRH, EDUSP, 2000.

TUCCI, Carlos E. M. **Águas Urbanas: Estudo Avançado.** UFRGS: Porto Alegre, 2008.

TUCCI, Carlos E. M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana.** UFRGS: Porto Alegre, s.d.

TUCCI, Carlos E. M. **Inundações e drenagem urbana: Inundações urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: ABRH, p. 45-150, 2003.

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

TOMAZ, Plínio. **Microdrenagem. Curso de Manejo de águas pluviais, Cap. 5.** [S.l.: s.n.], out. 2013.

VASCONCELOS, Ivana Prado. **GALERIAS.** Centro Universitário do Sul de Minas: Varginha – MG, mar. 2016.

VILLELA, S. **Hidrologia Aplicada.** Ed. McGraw-Hill: São Paulo: 1976.

ANEXO A – ENTREVISTA

Entrevista realizada no dia 23 de março de 2016 às 14:00 horas, na sede da Secretaria de Planeamentos do Município de Machado, sendo entrevistado o Engenheiro Civil Edson Siqueira de Souza.

1. Há algum projeto do sistema de drenagem da Av. Dr. Renato Azeredo ?

Por se tratar de uma área antiga da cidade, não se tem projetos com detalhamento do sistema de drenagem que foi implantado, porém temos alguns dados, como diâmetros das galerias, quantidade dos poços de visita, entre outros elementos.

2. Quais trechos da Avenida Dr. Renato Azeredo possuem galeria?

O sistema de galeria é presente em praticamente toda a extensão, começando no entroncamento com a Rua Idalina C. Westin se estendendo até o final da avenida.

3. Há mudanças de diâmetros nesta rede?

Sim. Do início da galeria até o entroncamento da avenida com a Rua da Cerâmica o diâmetro do tubo é de 600 milímetros e, deste trecho pra frente o diâmetro é alterado para 800 milímetros. Todos estes tubos são de concreto armado.

4. Qual o material desta tubulação da galeria?

São manilhas de concreto armado.

5. Em relação aos PV's (poços de visita), foi identificado doze em toda a área que realizo o estudo. Quais são as profundidades destes?

Realmente são doze poços de visita nesta região. Há uma variação de profundidade em todos estes PV's, mas profundidade média é de 1,70 metros.

6. Em relação a ineficiência do sistema de drenagem da Avenida sempre que há uma precipitação mais intensa, tem algum projeto de melhoria deste sendo desenvolvido?

Não possui desenvolvimento de nenhum projeto registrado aqui, porém há a necessidade.