

Gustavo David MARQUES

Graduando em Engenharia civil pelo Centro
Universitário do Sul de Minas – UNIS.
marquesgd@outlook.com

Luana Ferreira MENDES

Mestranda em Sustentabilidade e Recursos
Hídricos. Universidade Vale do Rio Verde,
Três Corações, MG. Engenheira civil,
Professora do Centro Universitário do Sul de
Minas – UNIS. engluanaferreira@gmail.com

Ivan Francklin JÚNIOR

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia das
Estruturas e Construção. Doutorando em
Geotecnia pela Universidade de São Paulo -
EESC- USP.
Professor do Centro Universitário do Sul de
Minas – UNIS.
ivan.francklin@unis.edu.br

ANÁLISE E PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE MICRODRENAGEM DA AVENIDA FERNÃO DIAS EM TRÊS CORAÇÕES - MG

Resumo: Objetivou-se com esse trabalho analisar e propor soluções para os problemas do sistema de microdrenagem da Avenida Fernão Dias, localizada em Três Corações - MG. Nesse estudo, averigou-se o motivo das patologias na pavimentação e alagamentos que ocorrem nessa via. Foram utilizadas pesquisas bibliográficas, visitas *in loco* para levantamento e análise do sistema atual, levantamento de dados hidrológicos e a delimitação e caracterização da bacia de contribuição através de imagens de satélite e curvas de nível. A análise e os cálculos realizados da vazão pluvial trecho a trecho nessa bacia provaram que, apesar do grande número de bocas de lobo existentes, ocorrem diversos trechos superdimensionados e outros em que há uma insuficiência de dispositivos para captação de águas pluviais. Observou-se também falta de manutenção dada aos dispositivos já existentes, que com isso, estão com sua vazão de captação limitada, fato esse que agrava a situação dos trechos localizados em cotas mais baixas.

Palavras-chave: Análises hidrológicas. Enchentes. Chuvas.

ANALYSIS AND PROPOSAL OF ADEQUACY FOR FERNÃO DIAS AVENUE MICROWRITING SYSTEM IN THREE HEARTS - MG

Abstract: The objective of this work was to analyze and propose solutions to the problems of the Fernão Dias Avenue microdrainage system, located in Três Corações - MG. In this study, we investigated the reason for the pathologies in paving and flooding that occur on this road. Bibliographic searches, on-site visits were used to survey and analyze the current system, hydrological data survey and the delimitation and characterization of the contribution basin through satellite images and contours. The analysis and calculations of the run-by-run rainwater flow in this basin proved that, despite the large number of existing wolf mouths, there are several oversized stretches and others where there are insufficient rainwater catchment devices. There was also a lack of maintenance given to existing devices, which, as a result, have their limited intake flow, a fact that aggravates the situation of stretches located at lower levels.

Keywords: Hydrological analyzes. Floods. Rain.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano no Brasil ocorreu de forma desordenada, devido ao

êxodo rural causado pela rápida industrialização no século XX. Com isso, a maior parte das cidades se desenvolveu

sem a existência, ou o cumprimento, de leis de uso e parcelamento do solo urbano. Isso resultou em diversos problemas, sendo um deles a ausência de áreas verdes pelas cidades, que afeta diretamente o regime de escoamento natural das águas das chuvas. Com a construção de edificações, ruas e outras modificações feitas pelo homem, a água que antes era absorvida pelo solo passa a escoar superficialmente, criando a necessidade de uma estrutura para drenar essa água adequadamente.

Além de todos esses problemas, muitos bairros foram feitos sem o aval das prefeituras, e sem a realização de um levantamento planialtimétrico. Essa ausência complica a elaboração de um sistema de microdrenagem, já que esses dados são fundamentais para delimitar a área de abrangência da bacia de contribuição e traçar o caminho percorrido pelas águas pluviais. Nos dias atuais, é possível contornar esse problema com imagens de satélite e *softwares* auxiliares, mas no passado, sem essa tecnologia, muitos locais tiveram sua estrutura realizada sem um projeto adequado. Juntamente desses problemas, a falta de manutenção dada aos dispositivos é outro agravante, já que o escoamento é comprometido.

Assim, o objetivo desse trabalho foi realizar uma análise do sistema de

microdrenagem da Avenida Fernão Dias e apresentar as adequações necessários para sanar os problemas recorrentes de enchentes e inundações.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O trabalho foi realizado em Três Corações, município localizado na região sul de Minas Gerais, sendo um dos principais centros urbanos dessa região do estado. Segundo o IBGE (BRASIL, 2019), possui uma área territorial de 828,08 km² e uma população estimada em 78.913 habitantes.

A área de estudo encontra-se nos bairros Treviso, Novo Horizonte e Parque Bandeirante, localizados no município de Três Corações – MG.

A Avenida Fernão dias recebe o fluxo de água provenientes desses três bairros, constituindo em seu ponto de cota mais baixo um trecho crítico, que não possui estrutura adequado para drenar essa água.

A demarcação da bacia de contribuição e a identificação do fluxo das águas pluviais, foram feitas por meio de imagens de satélite obtidas pelo software Google Earth (GOOGLE, 2019) juntamente das curvas nível geradas pelo software Global Mapper (BLUE

MARBLE GEOGRAPHICS, 2018). Além disso, foram feitas visitas *in loco* para o levantamento quantitativo e análise dos dispositivos de microdrenagem existentes.

A área total de contribuição para a geração de escoamento superficial é de 379.527,42 m².

Figura 1 - Bacia hidrográfica de estudo e direção do fluxo



Fonte: Autoria própria.

Métodos

Para o cálculo da intensidade de chuva da bacia hidrográfica, foi utilizado o software Pluvio 2.1 (Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos – UFV, 2018, que forneceu os parâmetros K, a, b, c da Equação (1), que fornece a intensidade de precipitação em mm/h.

$$i = \frac{K \times Tr^a}{(b + Tc)^c} \quad (1)$$

Onde:

I: intensidade média

K, a, b e c = parâmetros fornecidos pelo software Pluvio em função da localidade;

Tc = Tempo de concentração (em minutos);

Tr = Tempo de retorno (em anos).

Segundo Tucci (1995), usualmente se adotam os períodos de 2,5 ou 10 anos para o tempo de retorno de projetos de microdrenagem. Por se tratar de uma bacia localizada em uma área residencial, Tucci (1995) recomenda adotar 2 anos como o tempo de retorno para o projeto.

Para o tempo de concentração, foi utilizada a equação de George Ribeiro (1961), obtendo-se os dados do talvegue principal por meio do software Google Earth, juntamente das curvas de nível do Global Mapper. De acordo com Botelho (2011), em projetos de sistemas urbanos, fixa-se ($t_a = 10$ min), como descrito na equação (2).

$$T_c = \left[\frac{16 \times L}{(1,05 - 0,2p)} \times (100 \times I_m)^{0,04} \right] + 10 \quad (2)$$

Onde:

T_c = Tempo de concentração (min);

L = Comprimento do talvegue principal (km);

p = Porcentagem de cobertura vegetal (valor absoluto);

I_m = Declividade média do talvegue principal (m/m).

Para o cálculo do coeficiente de *run-off*, foram utilizadas as tabelas do DAEE/CETESB (1980), nas quais é exposto o valor do coeficiente de *run-off* em função da superfície existente. Por fim, foi feita a média ponderada de acordo com a ocupação em cada localidade da bacia, conforme equação (3).

$$C_{\text{médio}} = \frac{\sum A_1 \times C_1 + A_2 \times C_2 \dots + A_n \times C_n}{\sum A_1 + A_2 \dots + A_n} \quad (3)$$

C_1, C_2, C_n = Coeficiente de run-off da sub-bacia C_n (adimensional);

A_1, A_2, A_n = Área da sub-bacia A_n (m²).

No cálculo da vazão de pico, optou-se por utilizar o método racional, já que, segundo Botelho (2011), esse é o método recomendável para bacias com área inferior a 50 hectares, e a bacia de estudo possui 38,1 ha. Dessa forma, utilizou-se a equação (4):

$$Q_p = 0,275 \times C \times i \times A \quad (4)$$

Onde:

Q_p = Vazão de pico (m³/s);

i = Intensidade da chuva (mm/h);

A = Área da bacia (km²);

C = Coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

De acordo com o DAEE/CETESB (1980), o dimensionamento das sarjetas é feito através da equação de Manning modificada por Izzard (PINTO, 1976) para saber a capacidade de vazão da seção transversal. Dessa forma tem-se a equação (5):

$$Q_{st} = 0,375 \times \left(\frac{z_1}{n} \times y_0^{\frac{8}{3}} - \frac{z_1}{n} \times y_1^{\frac{8}{3}} + \frac{z_2}{n} \times y_1^{\frac{8}{3}} \right) \times i^{0,5} \quad (5)$$

Q_{st} = Capacidade de escoamento teórico pela sarjeta, em (m³/s);

z_1 = Inverso da declividade transversal da sarjeta, (m/m);

z_2 = Inverso da declividade transversal da via, (m/m);

n = Coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional);

y_0 = Altura da lâmina d'água junto ao meio fio, usualmente 80% da altura do meio fio (m);

i = Declividade longitudinal do trecho (m/m);

y_1 = Calculado pela equação 6

$$y_1 = y_0 - (i_{ts} \cdot b) \quad (6)$$

Onde:

y_0 = Altura da lâmina d'água junto ao meio fio (m);

i_{ts} = Declividade transversal da sarjeta (m/m);

b = Largura da sarjeta (m).

Para o cálculo da velocidade da água escoando pelas sarjetas, foi utilizada a equação de Izzard (PINTO,

1976), seguindo as instruções de Tomaz (2011), conforme equação 7:

$$V = 0,958 \times \left(\frac{1}{Z^4}\right) \times \left(\frac{S^{0,5}}{n}\right)^{3/4} \times Q^{1/4} \quad (7)$$

Onde:

V - Velocidade da sarjeta (m/s).

Z1 - Declividade transversal da rua (m/m).

S - Declividade longitudinal da rua (m/m).

n- Coeficiente de rugosidade de Manning.

Q - Vazão em (m³/s).

Após os cálculos da capacidade de escoamento das sarjetas, foram aplicados os fatores de redução de acordo com o DAEE/CETESB (1980), que é em função da declividade longitudinal do trecho analisado.

Para o cálculo das bocas de lobo, o primeiro passo foi mapear sua localização, juntamente de suas características (tipo e dimensões), já que existem diversas bocas de lobo diferentes na bacia. De acordo com análise *in loco*, encontrou-se bocas de lobo do tipo simples junto à guia, bocas de lobo em caixa com grelha e bocas de lobo simples atuando como orifício. Os cálculos para cada tipo de boca de lobo foram feitos de acordo com as orientações fornecidas por Tomaz (2011), levando-se em consideração a dimensão de cada uma.

Com todos os cálculos realizados, realizou-se uma divisão da bacia em sub-bacias, de forma que cada quadra (localizada inteiramente na área de contribuição) possuisse 4 sub-bacias, cada

uma direcionando para uma margem e via distinta.

Dessa forma, pode ser feita uma análise trecho a trecho da vazão escoada superficialmente, levando-se em consideração a captação das bocas de lobo de acordo com seu posicionamento e capacidade.

O diagnóstico dos trechos com problemas foi feito analisando-se através da seguinte premissa: caso a vazão em marcha acumulada, subtraindo-se as captações feitas pelas bocas de lobo a montante daquele trecho, for maior que a capacidade de escoamento da sarjeta, o trecho em questão possuía problemas, caso contrário, não.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No local objeto deste estudo, encontra-se uma estrutura de microdrenagem carente de manutenção e com problemas de dimensionamento.

Na parte da bacia localizada no loteamento Treviso, a estrutura está em bom estado e sem obstruções de sarjetas e bocas de lobo. Nesse local, também, não se verificou nenhum tipo de problema na pavimentação.

Diferentemente desse local, na área localizada no Parque Bandeirante, existem

diversos problemas no que se refere a manutenção.

Existem trechos, como o da figura 2, em que a sarjeta está tomada pela vegetação. O que ocorre nesses casos, é

que a capacidade de escoamento da sarjeta é comprometida, o que faz com que a água acabe escoando pelo meio da via em chuvas mais intensas.

Figura 2 - Presença de vegetação na sarjeta da Avenida Fernão Dias



Fonte: Autoria própria.

Além da falta de manutenção nas sarjetas, a situação das bocas de lobo também é crítica. Existem bocas de lobo totalmente tomadas por detritos e vegetação. Esse é um caso muito comum nas áreas urbanas, e o agravante desse fato é a falta de conscientização da população que joga lixo na rua. A prefeitura também possui sua parcela de culpa, já que a limpeza e remoção de vegetação é uma obrigatoriedade da mesma. No ponto de cota mais baixa, existe uma boca de lobo em caixa com grelha múltipla, a qual tem a importante função de captar a vazão acumulada que chega nesse ponto para evitar alagamentos em chuvas mais intensas. Na figura 3 é exposta a situação

da mesma, que possui praticamente toda sua seção obstruída.

Figura 3 - Boca de lobo localizada na margem esquerda ponto de cota mais baixa



Fonte: Autoria própria.

Em situação análoga, se encontra outra boca de lobo localizada no mesmo ponto da figura 3, só que na margem oposta:

Figura 4 - Boca de lobo localizada na margem direita do ponto de cota mais baixa



Fonte: Autoria própria.

Ainda no ponto de menor cota da bacia, há uma ausência de um sarjetão que

deveria destinar as águas provenientes da Avenida Belchior Dias Moreira e Rua Antônio Raposo Tavares, que ficam adjacentes à Avenida. É importante destacar que essas duas vias possuem a vazão acumulada de grande parte da área de contribuição da bacia. A inexistência deste sarjetão, juntamente com bocas de lobo e sarjetas obstruídas resultam em alagamento e no surgimento de diversas patologias na pavimentação, como pode ser visto pela figura 5.

Figura 5 - Patologias da via no ponto de cota mais baixa



Fonte: Autoria própria.

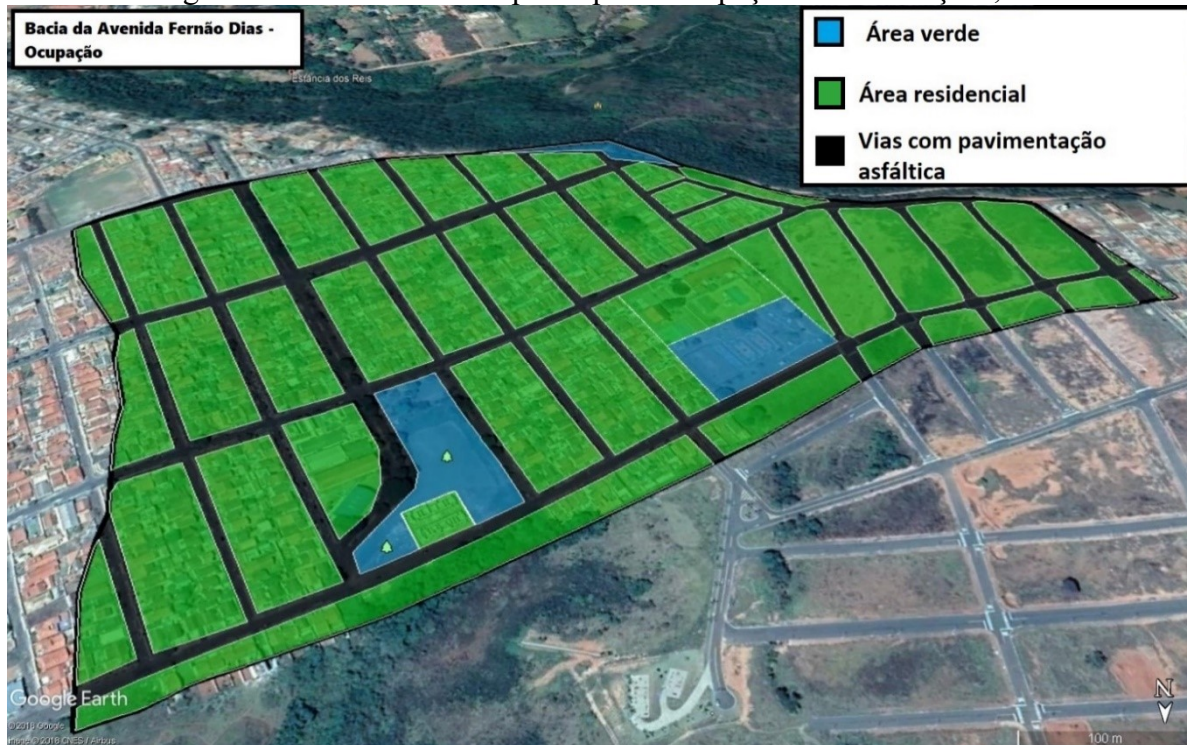
Como exposto na figura 5, ficou evidente que esse trecho possuía problemas. Para analisar qual a vazão chegava até o trecho crítico em questão, foi necessário avaliar a bacia como um todo.

Primeiramente, foi delimitada a área da bacia de contribuição, através das curvas de nível geradas pelo software

Global Mapper (BLUE MARBLE GEOGRAPHICS, 2018). Em seguida, fez-se possível analisar os diferentes tipos de ocupação existentes na bacia, a partir das imagens de satélite. Vale ressaltar que a bacia foi dimensionada com a projeção de ocupação futura, ou seja, os lotes que estão desocupados no ano de realização deste

trabalho foram considerados como áreas residenciais ocupadas. A figura 6 mostra o levantamento da ocupação dessa bacia.

Figura 6 - Divisão da bacia pelo tipo de ocupação. Três Corações, MG. 2019



Fonte: Autoria própria.

Os polígonos em verde correspondem as áreas residenciais, os azuis são as áreas verdes, enquanto a parte preta se trata das vias pavimentadas. Dessa

forma, o coeficiente de *run-off* obtido com a utilização da equação 3 foi de 0,2 para área verde, 0,6 para área residencial e 0,85 para a área pavimentada, demonstrados na tabela 1.

Tabela 1 - Cálculo do coeficiente de *run-off*

Tipo de ocupação	Área (m ²)	%	C (coef. <i>run-off</i>)
Área total da Bacia	381.429	100%	***
Área verde	22.854	6%	0,2
Área residencial	261.576	68,57%	0,6
Área pavimentada	96.999	25,43%	0,85

Fonte: Autoria própria.

Assim, aplicando na equação 3 os valores correspondentes as áreas verde, residencial e pavimentada da bacia e seus respectivos coeficientes de *run-off*, obteve-se um coeficiente médio para a bacia em estudo de 0,6396.

Utilizando-se da porcentagem de área verde da bacia, calculou-se também o tempo de concentração. A porcentagem de cobertura vegetal da bacia é de 6%, o comprimento do talvegue obtido foi de 0,712km, e as cotas de montante e jusante foram de 929m e 866m, respectivamente. Utilizando-se a equação (2) de George Ribeiro (1961), obteve-se 22,04 minutos.

De posse desses dados, foi calculada a intensidade de chuva para essa bacia, utilizando-se do tempo de concentração calculado e os dados obtidos pelo software Pluvio para a cidade de Três Corações, adotando 2 anos como tempo de retorno, o qual retornou um valor de $i = 89,61$ mm/h.

Com esses dados, foi possível calcular a vazão de pico para área de toda essa bacia. Utilizando-se o método racional, exposto pela equação (4), obteve-se uma vazão de $6,015$ m³/s.

Esse mesmo cálculo foi realizado em cada uma das sub-bacias existentes. Ao todo, a bacia hidrográfica de estudo foi dividida 136 sub-bacias, que são as zonas

de influências utilizadas para o cálculo da vazão e captação trecho a trecho.

Para a determinação da capacidade das sarjetas das vias, foi adotada uma largura de 50 cm, que foi o valor mais recorrente em campo, e foi adotada uma inclinação transversal da sarjeta de 5% (cinco por cento), com uma declividade de 1,5% para ruas e 2% para avenidas. Para a altura do meio-fio, adotou-se 15 cm, valor este também mais recorrente em campo. O coeficiente de rugosidade utilizado foi em função da sarjeta, concreto ou pavimento asfáltico, sendo 0,015 e 0,016, respectivamente de acordo com o DAEE/CETESB (1980). Dessa forma, foram obtidas duas equações em função da declividade longitudinal de cada trecho, sendo uma para avenidas e outra para ruas.

A velocidade de escoamento das sarjetas, de acordo com Diogo; Sciammarella (2008) não deve exceder 3,0 m/s em sarjetas com revestimento asfáltico e 5,0m/s em sarjetas de concreto. Realizado o cálculo de acordo com a equação (7), nenhum dos trechos ultrapassou esses valores, tendo apenas um trecho excedendo os 3,0 m/s, mas o mesmo possuía sarjetas em concreto.

Assim sendo, notou-se que existem muitas bocas de lobo, de cotas mais altas, que estão posicionadas em locais nos quais a vazão em marcha é inferior a capacidade

de captação da boca de lobo. Isso evidencia a falta de um planejamento da bacia como todo.

Por fim, verificou-se que há um déficit de $0,677 \text{ m}^3/\text{s}$ na captação das águas pluviais para uma chuva com tempo de retorno de 2 anos.

Em relação as galerias, os bairros que compreendem a bacia não possuem nenhum tipo de mapeamento por rua ou avenida, dessa forma, não foi possível saber os diâmetros existentes em campo. A solução para esse caso, seria conseguir disponibilidade com algum funcionário para fazer uma inspeção nos poços de visita, entretanto, não foi possível realizar.

Além disso, mesmo com a disponibilidade, ainda seria necessário realizar a demolição da pavimentação em alguns locais, já que algumas tampas de PV's estão parcialmente pavimentadas, o que dificulta o acesso ao local, como exposto na figura 7.

Figura 7 - Tampa parcialmente pavimentada de um poço de visita



Fonte: Autoria própria.

Para adequar o sistema de microdrenagem da Avenida Fernão Dias, foi necessário propor intervenções no restante da bacia hidrográfica. Dessa forma, indicou-se a instalação de novas bocas de lobo a montante dos trechos em que houve excedente da capacidade de transporte das sarjetas, com o intuito de diminuir a vazão que chega superficialmente à Avenida Fernão Dias.

Conforme os cálculos realizados do sistema atual, 5 trechos da Avenida Belchior Dias necessitavam de inserção de bocas de lobo, já que a capacidade de escoar a água pluvial pelas sarjetas nesses trechos era insuficiente.

Dessa forma, para solucionar tais problemas, ao todo foram adicionadas 6 bocas de lobo ao longo da Avenida Belchior Dias Moreira, e 3 na Avenida Fernão Dias, sendo duas destas substituições de bocas de lobo mal dimensionadas.

Com isso, também foram solucionados os problemas de excesso de escoamento superficial nas sarjetas da Avenida Belchior Dias Moreira e Rua Antônio Raposo Tavares. Essa mudança também diminuiu a vazão que chega ao ponto de cota mais baixa, localizado da Avenida Fernão Dias. Todas essas medidas possibilitaram que a vazão de $6,07 \text{ m}^3/\text{s}$

fosse adequadamente captada e destinada para a disposição final.

Fora todos esses pontos, faz-se necessário inserção de 2 sarjetões na Avenida Fernão Dias, no ponto de cota mais baixa da bacia, exposto na figura 5, além da execução de uma nova sarjeta na parte dessa mesma via que liga o bairro Treviso até o mesmo ponto de cota mais baixa.

Vale ressaltar que essa proposta de intervenção depende da limpeza dos dispositivos de microdrenagem existentes, já que considera que esses dispositivos estão atuando em sua capacidade de projeto. Atualmente, tais elementos se encontram sem a devida manutenção, como foi exposto nesse artigo. A manutenção, juntamente da adição dos dispositivos propostos, sanará os problemas existentes.

CONCLUSÕES

Conforme observado em campo, a estrutura do sistema de drenagem da bacia na qual está inserida a Avenida Fernão Dias carece de manutenção e adequações em alguns trechos.

Como constatado através do dimensionamento realizado nesse trabalho, a implantação de novos dispositivos de microdrenagem nesta bacia será necessária, o que inclui a instalação de novas bocas de lobo, manutenção e limpeza das existentes, além da execução de sarjetas e sarjetões.

Dessa forma, foi proposta uma adequação do sistema que pudesse atender a bacia como um todo, solucionando os problemas encontrados em outras vias adjacentes à Avenida Fernão Dias.

REFERÊNCIAS

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

BRASIL, IBGE. **Dados do município de Três Corações-MG - Censo 2010**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/tres-coracoes/panorama>>. Acesso em: 28 de maio de 2019.

DAEE/CETESB. **Drenagem Urbana - Manual de Projeto**. 2. ed. 1980. São Paulo - SP. 468 p.

DIOGO, Francisco José d'Almeida; SCIAMMARELLA, José Carlos. **Manual de pavimentação urbana. Drenagem: manual de projetos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2008.

Global Mapper. Software. Blue Marble Geographics. Versão 19.1. Disponível para download em:

<<http://www.blumarblegeo.com/products/global-mapper.php>> Acesso em: 21 de outubro de 2018.

Google Earth. Software. Google. Versão 7.3.2.5491. 2019. Disponível para download em:
<<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/download/ge/agree.html>>
Acesso em: 20 de março de 2019.

PINTO, N. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S., 1976, Hidrologia Básica. São Paulo: Edgar Blucher, 278p.

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=software>>
. Acesso em: 18 de outubro de 2018.

RIBEIRO, G, 1961, Acerca do cálculo da vazão de obras d'arte: tempo de concentração. **Revista do Clube de Engenharia**, No. 294. Pp 16-19.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais.** 2. ed. São Paulo: Navegar Editora 2011. 592p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem la Laina; BARROS, Mário T. **Drenagem urbana.** 1. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, 427 p.