Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AOS ALAGAMENTOS EM CANAL DE ESCOAMENTO, A PARTIR DA SIMULAÇÃO DE UM EVENTO EXTREMO DE PRECIPITAÇÃO, EM MONTES CLAROS - MINAS GERAIS

OLIVEIRA, Naiara Ramos de – ramosnaiaraa@gmail.com
Universidade Estadual de Montes Claros / UNIMONTES

OLIVEIRA FILHO, Rafael Arcanjo de – rafaarcanjoflho@gmail.com
Universidade Estadual de Montes Claros / UNIMONTES

ELEUTÉRIO, Iago Alberte Rodrigues – iagoalberte@hotmail.com
Universidade Estadual de Montes Claros / UNIMONTES

OLIVEIRA, Guilherme Augusto Guimarães – guilhermeago@gmail.com
Universidade Estadual de Montes Claros / UNIMONTES

Submetido em: 07/05/2020
Aceito para publicação em: 07/05/2021
Publicado em: 10/05/2021
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v28i0.73579

RESUMO: Um processo de urbanização sem planejamento pode interferir no ciclo natural da água, nos volumes de água infiltrada e escoada, além de impermeabilizar a bacia hidrográfica causando, em épocas de chuva, um aumento do escoamento superficial e como consequência, eleva-se as vazões a valores superiores aos que os recursos de drenagem podem suportar, provocando assim alagamentos em áreas ocupadas pelo homem. Não há como evitar chuvas fortes e concentradas, muito menos desabrigar todas as populações ribeirinhas ou em áreas de risco, mas existem estratégias que minimizam os impactos de cheias urbanas, como por exemplo, identificar áreas com predisposição a inundações e adotar um planejamento de medidas estruturais e não estruturais ligadas a drenagem urbana. O presente trabalho tem como objetivo analisar a seção transversal do canal de drenagem localizado na Avenida Vicente Guimarães, em Montes Claros (MG), bem como sua capacidade em suportar chuvas com intensidades elevadas, para diferentes períodos de retorno. Para isto, foi determinada a bacia de contribuição através do software ArcGis, calculada a área da seção transversal do canal e sua vazão máxima suportada, pela Equação de Manning. Em seguida, através da equação de chuvas intensas foram determinadas diferentes intensidades de precipitações para diferentes períodos de retorno, e calculadas as vazões máximas provocadas por cada uma destas. Ao final deste trabalho, pode-se constatar que o canal em questão não suporta chuvas com intensidades máximas, provocando alagamentos na região.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação, Vazões Máximas, Drenagem..

ANALYSIS OF VULNERABILITY TO FLOODS IN THE FLOW CHANNEL, FROM THE SIMULATION OF AN EXTREME PRECIPITATION EVENT, IN MONTES CLAROS- MINAS GERAIS

ABSTRACT: An urbanization process without planning can interfere in the natural water cycle, in the volumes of water infiltrated and drained, in addition to waterproofing the hydrographic basin causing, in times of rain, an increase in surface runoff and, as a consequence, the flow rates increase values higher than the drainage resources can support, thus causing flooding in areas occupied by man. There is no way to avoid heavy and concentrated rain, let alone homeless all the riverside populations or in areas at risk, but there are strategies that minimize the impacts of urban floods, such as, for example, identifying areas prone to flooding and adopting structural measures planning and non-structural related to urban drainage. The present work aims to analyze the cross section of the drainage channel located at Vicente Guimarães Avenue, in Montes Claros (MG), as

well as its capacity to withstand heavy rains, for different return periods. For this, the contribution basin was determined using the ArcGis software, calculated the area of the channel cross section and its maximum supported flow, using the Manning Equation. Then, using the intense rain equation, different precipitation intensities were determined for different return periods, and the maximum flows caused by each one were calculated. At the end of this work, it can be seen that the channel in question does not support rains with maximum intensities, causing flooding in the region.

KEYWORDS: Precipitation, Maximum Flow, Drainage.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD A LAS INUNDACIONES EN EL CANAL DE SALIDA, DESDE LA SIMULACIÓN DE UN EVENTO DE PRECIPITACIÓN EXTREMA, EN MONTES CLAROS - MINAS GERAIS

RESUMEN: Un proceso de urbanización sin planificación puede interferir en el ciclo natural del agua, en los volúmenes de agua infiltrada y de escorrentía, además de impermeabilizar la cuenca hidrográfica provocando, en épocas de lluvia, un aumento de la escorrentía superficial y, en consecuencia, los caudales. Incrementar valores superiores a los que pueden soportar los recursos de drenaje, provocando inundaciones en áreas ocupadas por el hombre. No hay forma de evitar lluvias intensas y concentradas, y mucho menos personas sin hogar en todas las poblaciones ribereñas o en áreas de riesgo, pero existen estrategias que minimizan los impactos de las inundaciones urbanas, como por ejemplo, identificar áreas propensas a inundaciones y adoptar estructuras Medidas urbanísticas y no estructurales relacionadas con el drenaje urbano. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la sección transversal del canal de drenaje ubicado en la Avenida Vicente Guimarães, en Montes Claros (MG), así como su capacidad para soportar fuertes lluvias, para diferentes períodos de retorno. Para ello, se determinó la cuenca de contribución mediante el software ArcGis, se calculó el área de la sección transversal del canal y su caudal máximo soportado, utilizando la Ecuación de Manning. Luego, utilizando la ecuación de lluvia intensa, se determinaron diferentes intensidades de precipitación para diferentes períodos de retorno, y se calcularon los caudales máximos causados por cada uno. Al final de este trabajo, se puede observar que el canal en cuestión no soporta lluvias con intensidades máximas, provocando inundaciones en la región.

KEYWORDS: Precipitación, Flujo Máximo, Drenaje.

INTRODUÇÃO

No processo civilizatório as habitações se deram às margens de rios, por questões ligadas à agricultura e proximidade à água potável, unindo assim as bacias hidrográficas diretamente ao processo de urbanização. Não havia, até então, preocupação com a questão organizacional das regiões habitadas, o que explica o fato de várias cidades desenvolvidas às margens dos cursos d´água muitas vezes sem qualquer infraestrutura. Sendo assim, essas modificações oriundas da urbanização evidenciam que as inundações e enchentes não são apenas consequências do excesso de precipitação, mas estão, sobretudo, inteiramente ligadas ao uso do solo. Um processo de urbanização sem planejamento pode interferir no ciclo natural da água, nos volumes de água infiltrada e escoada, além de impermeabilizar a bacia hidrográfica causando, em épocas de chuva, um aumento do escoamento superficial e como consequência, elevam-se as vazões a valores superiores aos que os recursos de drenagem podem suportar, provocando assim inundações em áreas ocupadas pelo homem. Entre todas as alterações no uso do solo que trazem prejuízos à hidrologia de uma área, a urbanização é a mais devastadora. (DUARTE et al., 2015; SENA et al., 2017; RODRIGUES et al., 2020).

Não há como evitar chuvas fortes e concentradas, muito menos desabrigar todas as populações ribeirinhas ou em áreas de risco, mas existem estratégias que minimizam os impactos de cheias urbanas, como por exemplo, identificar áreas com predisposição a inundações e adotar um planejamento de medidas estruturais e não estruturais ligadas a drenagem urbana. Silva et al. (2003) denominam chuvas intensas, como chuvas extremas ou máximas, que apresentam grande lâmina precipitada, superando um valor mínimo em certo intervalo de tempo. Cruciani et al. (2002) retratam que a caracterização das chuvas intensas é imprescindível para que seus efeitos sejam quantificados adequadamente, além de permitir a previsão da ocorrência de eventos hidrológicos extremos. Conhecendo-se o coeficiente de deflúvio para uma determinada chuva intensa de certa duração, pode se definir o escoamento superficial de outras precipitações com diferentes magnitudes, desde que a duração seja a mesma. Coeficiente de escoamento superficial, ou *runoff,* ou de deflúvio é a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram (TUCCI; BERTONI, 2003).

A bacia hidrográfica é o meio físico para a ação das etapas do ciclo da água já descritos. Em relatos de Monteiro (2003), ela tem características definidas, tais como área, forma, tipo de drenagem, tipos de solo e rocha, formas e extensões de relevo, variação e dimensão das classes de declividade, uso e ocupação do solo, sendo necessário reconhecimento destas características para desenvolvimento de projetos de qualquer natureza. O ciclo hidrológico é de fundamental importância, principalmente na sua fase terrestre, que engloba a infiltração e o escoamento superficial (SILVEIRA, 1993). Já na superfície terrestre a água infiltra-se pelos poros, seguindo verticalmente até alcançar o lençol freático, ou percola pela camada superior do solo. Quando este se encontra saturado, ou seja, quando a quantidade de água que chega à superfície excede à capacidade de infiltração, inicia-se o processo de escoamento superficial, que é o movimento das águas de chuva sobre as superfícies até alcançarem talvegues para formar pequenos caminhos de água até aos rios, lagos e oceanos (BATTEMARCO et al., 2018).

Para Tucci (2004), a baixa capacidade de infiltração acaba aumentando o escoamento superficial, no caso de ocorrer um evento de chuva no qual a água escoa rapidamente sobre a superfície do solo, e assim espera-se um aumento do risco de inundação em terrenos mais baixos ou planos. Segundo Amaral e Ribeiro (2009), a possibilidade de ocorrer inundação, enchente e alagamento são analisadas pela combinação entre os condicionantes naturais e antrópicos. Entre os condicionantes naturais estão as relações já descritas do ciclo hidrológico: precipitação, infiltração e escoamento. Estas intensidades máximas de chuva são determinadas por meio de equações ajustadas, que utilizam métodos estatísticos e probabilísticos, considerando séries históricas de cada localidade. Para o município de Montes Claros, pelo menos duas equações foram ajustadas para este fim. A primeira foi desenvolvida por Cecílio e Pruski (2003) e consiste em uma interpolação realizada através do Método do Inverso da Quinta Potência da Distância, com o objetivo de facilitar o trabalho de engenheiros e técnicos em regiões onde não possuem dados registrados a partir de pluviógrafos. Esta equação esta disponível no *software* Plúvio 2.1, de livre acesso na plataforma digital da Universidade Federal de Viçosa. Recentemente, Oliveira Filho (2017) ajustou os parâmetros para esta mesma equação, levando

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

em consideração uma série histórica de precipitações máximas diárias anuais composta por 44 anos (anos compreendidos entre 02 de Janeiro de 1961 a 31 de Dezembro de 2016), registrada pela estação OMM: 83437 (implantada no município de Montes Claros) e disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A procedência das enchentes está vinculada com precipitações intensas, que se trata de um grande volume precipitado em curto tempo, propiciando a chegada de amplas quantidades de água ao rio, superior à sua capacidade de suporte e transporte, exatamente o que ocorre no canal da Avenida Vicente Guimarães, objeto deste estudo, exemplificado na Figura 1. Por essa razão o rio extravasa até a planície de inundação e áreas ribeirinhas, caracterizando a ocorrência de inundações. Nesse sentido e com o crescimento da precipitação o escoamento superficial passa a ser constante, favorecendo o encadeamento de enchentes, inundações, alagamento e enxurradas. Quando as chuvas se encontram com um curso d'água, elas aumentam a vazão por determinado tempo. Esta elevação na descarga d'água tem o nome de cheia ou enchente, conforme define (TUCCI; BERTONI, 2003). Segundo Chadwick et al. (2017), enchente é um fenômeno natural do regime do rio, e cada rio tem sua área de inundação. Já a enxurrada de acordo com Amaral e Ribeiro (2009) é o nome popular para as enchentes ocorridas em pequenas bacias com alta declividade, sendo o fluxo de água torrencial durante os períodos de chuvas com baixa capacidade de retenção e elevada formação de escoamento superficial após chuvas intensas. A inundação acontece em decorrência do transbordamento natural dos canais (enchentes), onde volumes maiores de vazão são suficientes para ultrapassar a capacidade de suporte das estruturas de escoamento, expandindo assim para áreas urbanizadas. Segundo Santos (2007), áreas muito planas estão mais sujeitas a alagamentos que as áreas de maiores declividades, e sendo alagamento o acúmulo momentâneo de água em dado lugar por deficiência ou falta do sistema de drenagem.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)



Figura 1 – Canal de escoamento da Avenida Vicente Guimarães, em Montes Claros (MG), após chuva ocorrida em 2017.

A ocupação da superfície, bem como os processos de urbanização cooperam significativamente para diminuição da quantidade de água infiltrada. Além disso, as enxurradas são aguçadas pela formação das cidades, visto que esta provoca alteração no ciclo da água, sendo que seu efeito interfere na infiltração. Santos (2007) diz que a inundação torna-se um evento drástico quando a região inundada não é ocupada adequadamente. Essa ocorrência também se relaciona com a falta ou inabilidade do Plano Diretor, visto que grande parte das áreas urbanas não tem fiscalização quanto ao loteamento em áreas de risco de inundação. Tal situação pode ser evitada através do planejamento do uso do solo das várzeas, de acordo com Tucci e Bertoni (2003). O mau planejamento e o crescimento rápido das cidades são responsáveis pelos alagamentos frequentes, dificultando a execução de obras de drenagem.

Conforme testificado por Tucci (2003), os dois principais processos relacionados à ocorrência dos alagamentos são o aumento da magnitude das enchentes devido às chuvas intensas e a intensificação da impermeabilização provocada pela urbanização desordenada. Neste sentido, é importante destacar que o desenvolvimento urbano deve ser repensado, visto que as construções funcionam como barreiras amortecedoras para as precipitações, que antes se infiltravam livremente, e agora passam a escorrer pelas superfícies construídas aumentando o escoamento superficial, majorando assim, a frequência dos alagamentos, causando graves prejuízos ambientais, sociais e econômicos. O município de Montes Claros (MG), povoado de maneira não planejada, principalmente nos últimos anos, vem constantemente sofrendo com alagamentos em diferentes bairros, com maior preocupação em suas grandes

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

avenidas. Uma delas, a Avenida Vicente Guimarães apresenta grandes problemas em épocas de cheias, alagando a pista de tráfego dos veículos e a Praça Jatobás, localizada próxima ao canal. Por se tratar de uma importante avenida, com grande fluxo de veículos e responsável por ligar vários bairros da Região Sul para Região Central, estudos com enfoque em calcular as vazões máximas suportadas pelo canal são necessários para realização de intervenções que garantam sua segurança e eficiência. Neste sentido, o objetivo deste estudo é analisar a seção transversal e a vazão máxima suportada por este canal de drenagem, de forma a subsidiar estudos futuros de reestruturação do canal. Os métodos utilizados nesta análise são simples e de fácil reprodução em relação aos demais, o que viabiliza a tomada de decisão por meio dos órgãos públicos municipais e contribui na tentativa de alertar quantos aos riscos que a região está exposta em períodos de precipitações intensas como ocorrem durante o verão austral.

MATERIAIS E MÉTODOS

IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A região de estudo está inserida no município de Montes Claros, localizado na Região Norte do Estado de Minas Gerais (Figura 2). O objeto em análise é o canal trapezoidal localizado na Avenida Vicente Guimarães, localizada entre os bairros Ibituruna, Melo, Sagrada Família, Augusta Mota, Morada do Sol e Cidade Santa Maria. O ponto de estudo está localizado próximo ao heliporto da Praça dos Jatobás, conforme apresentado na Figura 3. A avenida está localizada na Sub-bacia Vargem Grande e na Bacia do Córrego Vieira (ambas pertencentes à Bacia do Rio São Francisco), fazendo parte do semiárido mineiro, apresentando grande variabilidade climática, chuvas escassas e irregulares. Considerando um breve histórico urbanístico, pode-se ressaltar que a partir da alteração da base econômica do município (de agropecuária para a industrial), ocorreu um processo migratório e urbanístico intenso a partir de 1970. Verificou-se a estruturação de novos bairros em áreas centrais e ao sul, caracterizando-as como altamente relevantes em relação ao adensamento. Em áreas nas proximidades aos cursos d´água houve um crescimento considerável, transformando loteamentos descontínuos em avenidas importantes do município, que infelizmente vêm sofrendo constantemente com os alagamentos (como ocorrido em 2016, 2017 e 2019) (BRANDÃO; SILVA, 2016).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

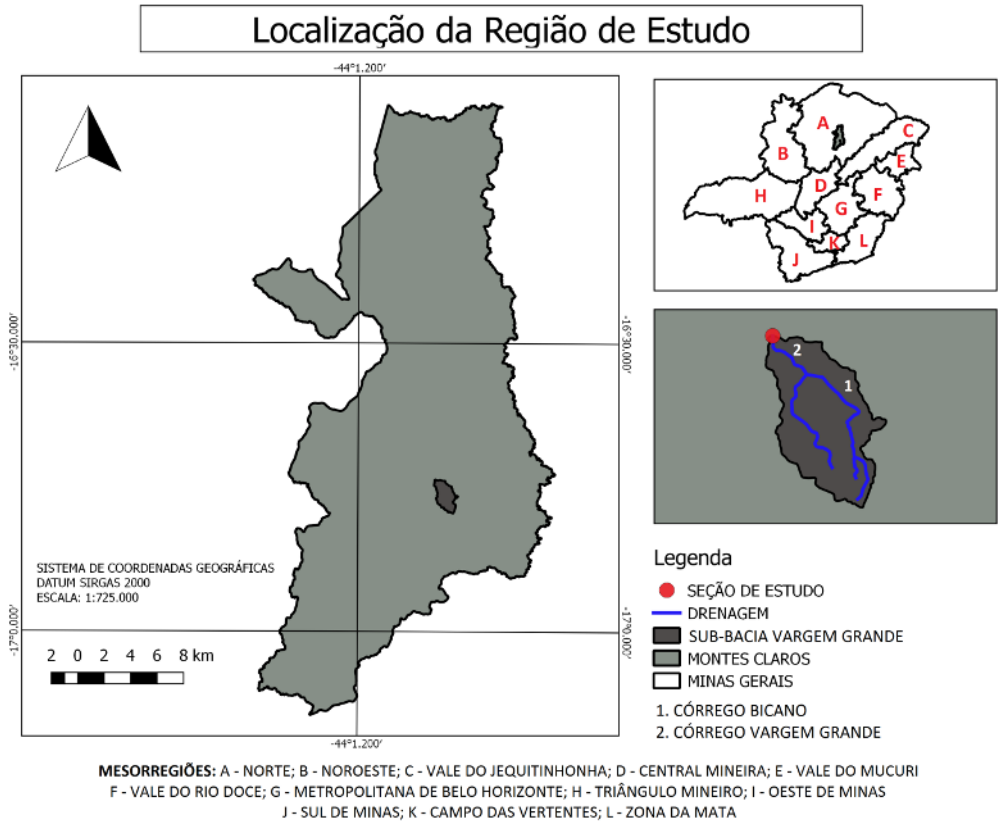

Figura 2 – Localização da região de estudo.



Figura 3 – Localização do ponto estudado.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

DETERMINAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DE CONTRIBUIÇÃO

A determinação da bacia hidrográfica de contribuição do ponto estudado (Figura 4) foi realizada através do software ArcGis. Para auxiliar, foram utilizadas imagens e camadas disponibilizadas pela IDE-Sisema.

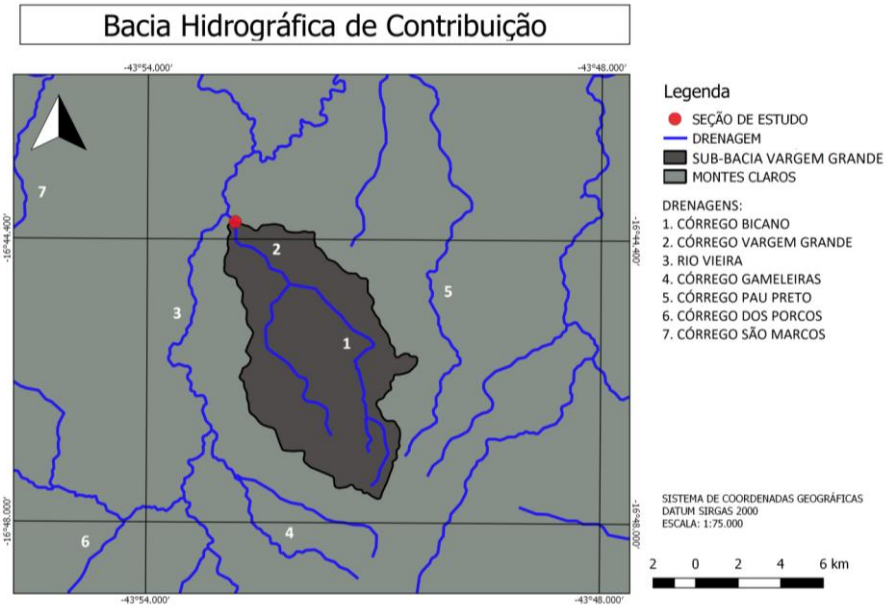

Figura 4 – Sub-bacia Vargem Grande e drenagens principais.

CÁLCULO DA SEÇÃO TRANSVERSAL E DA INCLINAÇÃO DO CANAL

As dimensões da seção do canal, Figura 5, foram medidas, no local, com o auxílio de uma trena a laser. O ponto escolhido para medição levou em consideração a parte do canal que estava em melhores condições que as demais, com menos desbarrancamentos e vegetação. Em seguida, a área do canal foi calculada baseada na área de um trapézio. A inclinação do canal foi calculada por meio do perfil longitudinal de elevação, produzido no *Google Earth*. Esta inclinação será útil no cálculo da vazão máxima, obtida a partir da aplicação da Equação de Manning (CHADWICK et al., 2017).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)



Figura 5 – Visão geral da seção transversal do canal. Fonte: Prefeitura Municipal de Montes Claros (A: 2018; B: 2015). Autores: A - Fábio Marçal e B - André Senna.

CÁLCULO DA VAZÃO MÁXIMA SUPORTADA PELO CANAL

Para calcular a vazão máxima suportada pelo canal, foi utilizada a Equação 1 denominada Equação de Manning (CHADWICK et al., 2017). Em que Q é a vazão (m^3/s), n é o coeficiente de rugosidade do canal, A é a área molhada do canal (m^2), S é a inclinação média da seção(m/m) e P é o perímetro molhado (m). O valor de n foi retirado do Quadro 1, apresentado por Netto e Fernandez (1998).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

$$Q = \frac{\left(\frac{1}{n}\right) \cdot A^{\left(\frac{5}{3}\right)} S^{\left(\frac{1}{2}\right)}}{P^{\left(\frac{2}{3}\right)}} \quad (1)$$

Quadro 1 – Coeficientes de Rugosidade

Linha	Condições do canal	Coeficientes
13	Canais com fortes irregularidades no leito e nas margens não muito alinhadas e com vegetação normal.	0,030
14	Canais tipo rios permanentes em terreno aluvial, mas com bastante vegetação e variação da seção transversal, moderada.	0,033
15	Canais naturais tipo montanhoso, com vegetação, sedimentos (areia, cascalho e pedras grandes), corredeiras seguidas de lagos seguido de corredeiras, com vegetação e variação da seção transversal acentuada.	0,035
16	Idem ao anterior, mas com condições mais severas.	0,040
17	Idem ao anterior, mas com condições ainda mais severas.	0,067
18	Idem ao anterior, mas com condições muito severas.	0,080
19	Canais naturais ou não com muita vegetação (árvores).	0,100
20	Condições muito severas de vegetação e irregularidades no leito do canal, como durante um transbordamento.	0,220

Fonte: Netto e Fernandez (1998).

CÁLCULO DAS VAZÕES DAS CHUVAS

Para calcular a vazão correspondente a uma dada precipitação, foi utilizado o Método I-PAI-WU. Segundo Tucci (2004), trata-se do método racional aprimorado e aplicável para bacias hidrográficas de até 200km². Ele considera o coeficiente de forma da bacia (C1), o coeficiente de uso do solo (C2), a área dessa bacia (A em m²), o valor da precipitação (I em mm s^{-1}), o coeficiente de distribuição espacial da chuva (k) e o fator de forma da bacia (F). A vazão é calculada pela Equação 2.

$$Q_{precipitação} = 0{,}278 \cdot C \cdot I \cdot (A^{0,9}) \cdot k \quad (2)$$

Onde:

$$C = [2/(1+F)]C2/C1 \quad (3)$$

$$C1 = 4/(2+F) \quad (4)$$

$$F = L/[2A/\pi] \quad (5)$$

C2 é calculado pela classificação de uso e ocupação do solo. K foi considerado igual a 1, pois não há instrumentos para medir a distribuição de chuva na bacia.

CÁLCULO DO COEFICIENTE DE USO DO SOLO (C2) E DA ÁREA DA BACIA.

O Coeficiente C2 depende do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica (pavimento impermeável, solo exposto, vegetação, edificações,

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

etc). Então foi necessário fazer uma classificação de Uso e Ocupação do solo dessa bacia no software ArcGIS. Foi elaborado o mapa (Figura 6) que apresenta as áreas com cada tipo de cobertura do solo encontradas na bacia. O mapa foi elaborado com auxílio de imagens da IDE-Sisema. Conforme Netto e Fernandez (1998), os coeficientes de escoamento superficiais médios são calculados para cada uma das classes da Figura 6.

A área A, que será utilizada no Método I-PAI-WU (CHADWICK et al., 2017), foi determinada diretamente pelo software ArcGIS. O valor de A é: 17600000,00 m² ou 17,6 km².

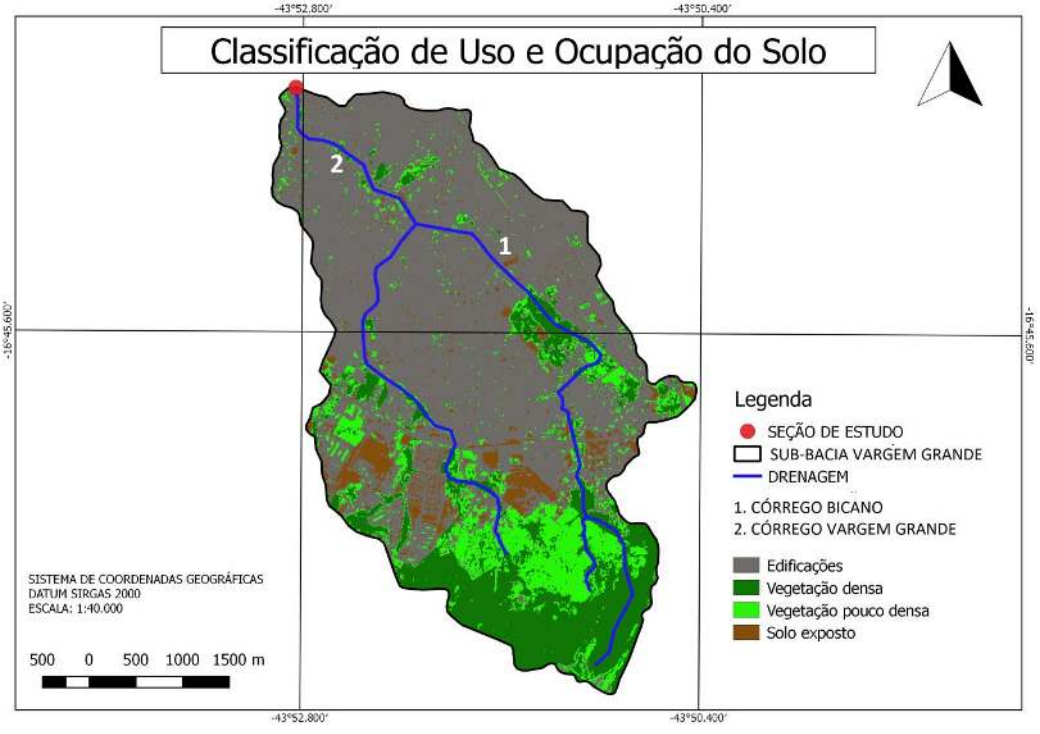

Figura 6 – Classificação de uso e ocupação do solo da Sub-bacia Vargem Grande.

CÁLCULO DA INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

A intensidade máxima de precipitação I, foi determinada através da Equação 6, proposta por Oliveira Filho (2017).

$$i = \frac{21{,}42 Tr^{0{,}198}}{(t+20)^{0{,}822}} \quad (6)$$

O valor de t na equação acima não pode ser aleatório. Deve-se ter a certeza de que toda a bacia hidrográfica estará contribuindo para o aumento da vazão no canal estudado, e isso só é possível caso t seja maior ou igual ao tempo de concentração da bacia (T_c). O tempo de concentração é definido como aquele necessário para que uma partícula de água que caiu na área mais distante do talvegue chegue até o exultório da bacia. Para calcular esse tempo de concentração, foi utilizada a Fórmula de Kirpich (CHADWICK et al., 2017), mostrada na Equação 7.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

$$T_c = 57\left(\frac{L^3}{\Delta Z}\right)^{0,385} \quad (7)$$

Onde:

- T_c é o tempo de concentração em minutos;
- L é o comprimento do curso d'água em quilômetros;
- ΔZ é a diferença entre o ponto mais remoto da bacia e a seção considerada, em metros.

CÁLCULO DAS VAZÕES FORMADAS PELAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS

Foi calculado o valor de precipitação i para vários valores de TR, e em seguida foram calculadas as vazões geradas por tais intensidades, a fim de descobrir quais são as chuvas que o canal não suporta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CÁLCULOS REFERENTES AO CANAL

As dimensões da seção do canal escolhida foi medida no local com uma trena a laser, e apresenta as dimensões expostas na Figura 7.

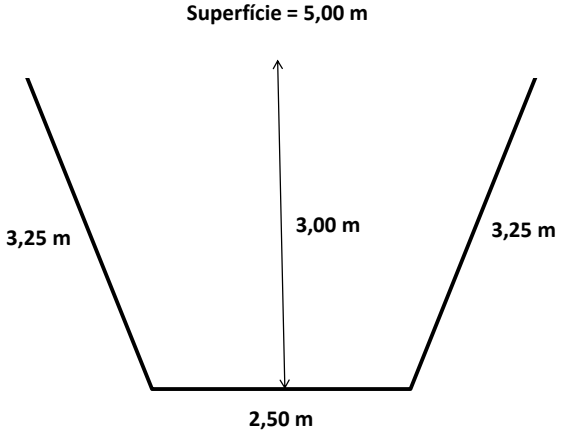

Figura 7 – Croqui com as dimensões da seção do canal.

O valor da área *A* foi calculado pelas dimensões da seção transversal e corresponde à área do trapézio:

$$A=(5+2,5)*\frac{3}{2}=11,25m^2 \quad (8)$$

O valor do perímetro molhado *P* também foi calculado pelas dimensões da seção transversal, e corresponde ao comprimento total da seção que estará em contato com a água:

$$P = 3,25 + 2,5 + 3,25 = 9m \quad (9)$$

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A elevação máxima é de 656 m, a mínima, de 637 m, e o comprimento L do canal (também chamado de talvegue principal) é de 3,64 km. Esses valores foram utilizados no cálculo da vazão máxima suportada pelo canal, dada pela Equação de Manning. E o valor da inclinação *S* foi calculado tomando as elevações nas extremidades e o comprimento total (em metros) do canal:

$$S = \frac{656 - 637}{3640} = 0{,}00522 mm^{-1} \quad (10)$$

Com essas quatro grandezas, é possível utilizar Equação 1 (Fórmula de Manning) para encontrar a vazão máxima suportada pelo canal. O valor de *n* foi obtido no Quadro 2, sendo igual a 0,220, pois as condições de manutenção do canal estão bastante graves.

$$Qmáx = \frac{\left(\frac{1}{0{,}220}\right) * (11{,}25^{\left(\frac{5}{3}\right)} * (0{,}00522)^{0{,}5}}{9^{\frac{2}{3}}} = 4{,}28 m^3 s^{-1} \quad (11)$$

CÁLCULOS – MÉTODO I-PAI-WU

COEFICIENTES

Para utilizar o Método I-PAI-WU, é necessário calcular algumas variáveis previamente. No cálculo do coeficiente de forma da bacia (C1), foi utilizada a Equação 5 para calcular o fator de forma da bacia (F), como pode ser observado a seguir. O comprimento do talvegue principal da bacia (L) é de 3,64 km, e a área da bacia (A) é de 17,6km².

$$F = \frac{3{,}64}{\left(\frac{2x17{,}6}{n}\right)} = 0{,}325 \quad (12)$$

Em seguida, foi calculado o coeficiente C1, através da Equação 4. Sendo F = 0,325.

$$C1 = \frac{4}{2+F} = \frac{4}{2+0{,}325} = 1{,}72 \quad (13)$$

O cálculo do coeficiente de uso do solo (C2) foi realizado baseado nos valores propostos por Netto e Fernandez (1998), sendo eles iguais a: Edificações (Telhados + pavimentação): 0,85; Vegetação densa (Terreno Natural Semiárido Plano ou Quase): 0,55; Vegetação Pouco densa (Parques, jardins, campinas): 0,15; Solo Exposto (Terreno Estéril plano): 0,70; Água: 1,0. Já as áreas de cada classe de uso do solo representaram as frações em relação à área total da bacia, expostas na Tabela 1.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 – Frações de áreas

Classe	Fração de área
Edificações	0,603 ou 60,30%
Vegetação Densa	0,124 ou 12,40%
Vegetação Pouco Densa	0,145 ou 14,50%
Solo Exposto	0,074 ou 7,40%
Água	0,054 ou 5,40%

Sendo assim, o coeficiente (C2) é dado pela média ponderada entre as áreas e os coeficientes médios de cada área.

$$C2 = (0,85*60,3+0,55*12,40+0,15*14,50+0,70*7,40+1*5,4)/100=0,71 \quad (14)$$

Para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial (C) foi utilizada a Equação 3, aplicando os valores já obtidos para C1, C2 e F.

$$C=[2/(1+F)]*C2/C1 \quad (15)$$

$$C= \left[\frac{2}{1+0,325}\right] * \frac{0,71}{1,72} \quad (16)$$

$$C = 0,62 \quad (17)$$

CÁLCULO DAS INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITAÇÃO E VAZÕES PRODUZIDAS

Para o cálculo do Tempo de Concentração (T_c), foi utilizada a Equação 7. Sendo o comprimento do curso d'água igual a 3,64 km e ΔZ igual a 656 – 637. Com isso, o Tempo de Concentração (T_c) é igual a:

$$Tc = 57 \left(\frac{3,64^3}{656-637}\right)^{0,385} = 82,36 \text{ min} = 80 \text{ min} \quad (18)$$

Com o auxílio da Equação 6, proposta por Oliveira Filho (2017), foi calculada a intensidade máxima da precipitação para diferentes períodos de retorno (1 a 6 anos) e t = 80 minutos. Os cálculos foram realizados no Excel e os resultados estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Intensidades máximas de precipitação.

Tempos de Retorno (anos)	Intensidades (mm min^{-1})	Intensidades (mms^{-1})
1	0,486	0,008
2	0,558	0,009
3	0,604	0,010
4	0,640	0,011
5	0,669	0,011
6	0,693	0,012

Diante das intensidades máximas obtidas, foram calculadas as vazões máximas produzidas para cada intensidade e tempo de retorno Tr, através da Equação 2. Os cálculos foram realizados no Excel e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Vazões máximas produzidas.

Tempos de Retorno (anos)	Vazões (ls^{-1})	Vazões (m^3s^{-1})
1	4934,21	4,93
2	5660,07	5,66
3	6133,21	6,13
4	6492,71	6,49
5	6786,00	6,78
6	7035,45	7,03

Como pode ser observado, para apenas 1 ano de recorrência, a vazão máxima produzida por uma precipitação, ultrapassa a capacidade máxima de suporte da seção do canal, que apresenta vazão igual a 4,28 m^3s^{-1}. À medida que se aumenta o tempo de retorno, a vazão produzida fica ainda mais crítica, quando comparada com a vazão atualmente suportada pelo canal.

CONCLUSÕES

Os diversos problemas (ambientais, sociais e econômicos) atualmente encontrados nos bairros próximos ao canal da Avenida Vicente Guimarães podem ser explicados pelo incorreto dimensionamento da seção do canal em questão. Visto que para períodos de retornos baixos, a vazão de 4,28 m^3s^{-1} é ultrapassada. Sendo assim, em períodos de retorno usualmente utilizados nas obras de engenharia, as vazões produzidas para as intensidades máximas ultrapassariam consideravelmente a vazão máxima suportada pelo canal, pois o Tempo de Retorno (Tr) é diretamente proporcional à intensidade da precipitação, que por sinal é diretamente proporcional à vazão produzida.

A urbanização tem sua parcela nos problemas de cheias na região, já que, com o uso e ocupação do solo de forma irregular, reduziu-se a vegetação, diminuindo os efeitos de processos hidrológicos como interceptação e infiltração, resultando no aumento do escoamento superficial e do coeficiente de escoamento.

Como forma de evitar o problema, medidas não estruturais deveriam ter sido tomadas há alguns anos atrás, como por exemplo: uma eficaz fiscalização do processo de urbanização por parte dos órgãos públicos, de forma a garantir que a Lei de Uso e Ocupação do Solo/Zoneamento seja respeitada e aplicada. Como forma de corrigir o problema, algumas medidas estruturais deveriam ser pensadas, de forma a reestruturar o canal, aumentando sua capacidade de suporte. Dentre as medidas de reestruturação, pode-se citar o aumento da área da seção transversal, a redução no coeficiente de rugosidade do canal (o 'n' da Fórmula de Manning) através da reconstrução do mesmo e de sua manutenção, e a construção de barragens de retenção que reduzam os picos de escoamentos, evitando complicações a jusante.

Os métodos utilizados neste estudo se mostraram eficazes para elucidar a situação proposta, trazendo à luz a gravidade do problema. Utilizou-se uma sequência metodológica de aplicação simples, de fácil compreensão do leitor e que permite sua reprodução em outras situações semelhantes. As análises levaram em consideração dados meteorológicos com boa qualidade e equação de chuva desenvolvida especificamente para o município, o que garantiu uma melhor acurácia dos resultados. Levando em consideração a baixa disponibilidade de trabalhos práticos utilizando análise de vazões em canais, espera-se que este estudo oriente trabalhos futuros com a mesma temática e que seja uma forma de alerta aos órgãos públicos municipais quanto à necessidade de verificação e reestruturação de canais de escoamento em outras cidades. Contudo, torna-se cada vez mais necessário que mudanças no tratamento de águas pluviais sejam feitas de forma sustentável, entendendo de forma clara a relação entre a impermeabilização do solo e o aumento dos alagamentos urbanos. As soluções estruturais são importantes e necessárias, porém é preciso ir além e discutir uma melhor gestão das bacias hidrográficas, compensando os efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico. Este debate tem caráter de urgência, principalmente em cenários de intensas modificações climáticas onde o intervalo de ocorrência de eventos extremos (principalmente de precipitação) tende a diminuir.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R.. Inundações e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais: Conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com o uso do inverso de potências da distância. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 3, p. 501-504, 2003.

CHADWICK, A.; MORFETT, J.; BORTHWICK, M. Hidráulica para engenharia civil e ambiental. 5ª ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2017.

CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.1, p.76-82, 2002.

DUARTE, C.C.; NÓBREGA, R. S.; COUTINHO, R. Q. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município do Ipojuca, Pernambuco. Revista de Geografia (UFPE) v. 32, n. 2, 2015.

OLIVEIRA FILHO, R. A. Ajuste dos parâmetros da Equação de Chuvas Intensas para o município de Montes Claros – MG. 48 f. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (Universidade Estadual de Montes Claros), Montes Claros, Minas Gerais, 2017.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 02 fev. 2018.

BATTEMARCO, B. P.; YAMAMOTO, L. M. T.; VERÓL, A. P.; REGO, A. Q.; VASCONCELLOS, V. M. N.; MIGUEZ, M. G. Sistemas de espaços livres e drenagem urbana: um exemplo de integração entre o manejo sustentável de águas pluviais e o planejamento urbano. Paisag. Ambiente: Ensaios, São Paulo, n. 42, p. 55-74, 2018.

BRANDÃO, S. S. S.; SILVA, W. T. Configuração do espaço urbano da cidade de Montes Claros-MG após 1970: Novas centralidades. Humanidades, v. 5, n. 2, p. 62-73, 2016.

MARÇAL, F. Projeto para recuperação da avenida Vicente Guimarães próximo de começar. Prefeitura Municipal de Montes Claros, 2018. Disponível em: < http://www.montesclaros.mg.gov.br/agencia_noticias/2018/mai18/not_02_05_18_1294.php>. Acesso em: 11 mar. 2021.

MONTEIRO, R. C. Estimativa do espaço temporal da superfície potenciométrica do sistema aqüífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP). 233 f. 2003. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

NETTO, J. M. A.; FERNANDEZ, M. Manual de Hidráulica. Editora Edgard Blücher. 8ª Edição. 1998.

RODRIGUES, R. S. S.; SILVA, M. N. A.; FERREIRA FILHO, D. F.; BEZERRA, P. E. S.; FIGUEIREDO, N. M. Análise dos efeitos de um evento extremo de chuva sobre o escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural amazônica. Revista Brasileira de Climatologia, v. 26, p. 368-392, 2020.

SANTOS, R. F.S. Vulnerabilidade Ambiental. Brasília: MMA, 192 pp. 2007.

SENA, J. P. O.; LUCENA, D. B.; RIBEIRO, G. N. Eventos extremos de precipitação no sertão paraibano: Variação espaço-temporal. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.12, n.4, p. 748-755, 2017.

SENNA, A. Prefeitura faz limpeza do canal da Avenida Vicente Guimarães. Prefeitura Municipal de Montes Claros, 2015. Disponível em: <http://www.montesclaros.mg.gov.br/agencia_noticias/2015/set15/not_23_09_15_4355.php>. Acesso em: 11 mar. 2021.

SILVA, L. P. Z. Recursos hídricos: conservados para o futuro. Atlas Geoambiental de Rondônia. 2ª ed. Porto Velho: SEDAM. 2003

TUCCI, C. E. M., BERTONI, J. C. Apostila de Inundações Urbanas da América Latina. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 129 pp. 2003

TUCCI, C. E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. In: Tucci, et al. (org). 3ª ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004