



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Aplicação do Modelo HEC-HMS para Simulação do Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Vieiras

Samuel Alves Boitrago¹, Luis Fernando Antunes Lima², Felipe Aquino Lima³, Marcos Esdras Leite⁴, Luis Ricardo Fernandes da Costa⁵

¹ Mestrando em Geografia, Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Avenida Rui Braga, Vila Mauricéia - CEP 39401-089, Montes Claros, Minas Gerais. (38) 99827-4730. samuelboitrago@gmail.com (autor correspondente). ² Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Av. Universitária, 1000, Universitário CEP 39404-547, Montes Claros, Minas Gerais. luiseng2@gmail.com. ³ Mestre em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Av. Universitária, 1000, Universitário CEP 39404-547, Montes Claros, Minas Gerais. aquinolimafelipe@gmail.com. ⁴ Dr. em Geografia, Professor da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Avenida Rui Braga, Vila Mauricéia, CEP 39401-089, Montes Claros, Minas Gerais. marcos.leite@unimontes.br. ⁵ Dr. em Geografia, Professor da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Avenida Rui Braga, Vila Mauricéia, CEP 39401-089, Montes Claros, Minas Gerais. lricardocosta@yahoo.com.br.

Artigo recebido em 02/12/2022 e aceito em 13/06/2023

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo calcular a vazão máxima de descarga no exutório da Bacia Hidrográfica do Rio Vieira, utilizando o modelo Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) para simulação do escoamento superficial, considerando os dados físicos da bacia hidrográfica obtidos por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A partir da determinação do modelo da bacia, modelo meteorológico e especificações de controle, foi possível simular o escoamento superficial. A aplicação do modelo HEC-HMS com informações obtidas por meio de SIG se mostrou uma importante ferramenta de desenvolvimento de estudos hidrológicos, permitindo ao usuário racionalizar o processo de cálculo. Em períodos centenários, fenômenos meteorológicos críticos podem provocar uma vazão de pico no exutório da bacia hidrográfica do Rio Vieiras da ordem de 1.447,6 m³/s. Por estar inserida no município de Montes Claros e ter seu curso principal percorrendo a zona urbana do município, a bacia requer um manejo ambiental criterioso, principalmente em porção de terra situado a oeste e na zona urbana, a fim de que sejam evitadas enchentes.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica, Geoprocessamento, Cálculo de vazão, Bacia Hidrográfica, Rio Vieiras.

Application of the HEC-HMS model for runoff simulation of Vieiras basin

ABSTRACT

The objective of the present study was to calculate the maximum discharge flow in the Vieira River Watershed outflow using the Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) model for surface runoff simulation, considering the physical data obtained from the watershed Geographic Information System (GIS). From the determination of the basin model, meteorological model and control specifications, it was possible to simulate the runoff. The application of the HEC-HMS model with information obtained through GIS proved to be an important tool for the development of hydrological studies, allowing the user to rationalize the calculation process. In centuries-old periods, critical meteorological phenomena can cause a peak flow in the Vieiras River basin outflow in the order of 1,447.6 m³/s. Being located in the municipality of Montes Claros and having its main course running through the urban area of the municipality, the basin requires careful environmental management, especially in the western portion of the land and in the urban area, in order to avoid flooding.

Keywords: Hydrographic modelling, Geoprocessing, Flow calculation, Hydrographical basin, Vieiras River.

Introdução

Modificações antrópicas no meio ambiente, decorrentes do processo de uso e ocupação do solo, têm estimulado o desenvolvimento de pesquisas no campo da hidrologia, com o objetivo de promover um

ordenamento territorial que viabilize o desenvolvimento sustentável.

Conforme mencionado por Barbosa Júnior (2022), a hidrologia é uma disciplina interdisciplinar que se dedica ao estudo do

comportamento físico da ocorrência e uso da água em uma bacia hidrográfica. Seu objetivo é quantificar o recurso hídrico ao longo do tempo e espaço, além de avaliar os impactos das alterações na bacia sobre o seu comportamento.

Para Medeiros e Lucena (2023), a eficiência no gerenciamento de recursos hídricos depende da existência e precisão das informações sobre sua disponibilidade e, tendo em vista a singularidade de bacias hidrográficas, a modelagem matemática tem se mostrado uma ferramenta importante para estimar a oferta de água no espaço e no tempo. Para Siqueira et al., (2022) o conhecimento do comportamento hidrológico e cenários do uso do solo de uma bacia contribui para fomentar as políticas de prevenção a inundação e conservação dos cursos hídricos.

Entretanto, devido à falta de dados fluviométricos em bacias urbanas há dificuldades para calibração dos modelos matemáticos (Fonseca Neto et al., 2020). A vazão máxima em um curso d'água, produto de um estudo hidrológico, tem importância decisiva no planejamento de obras de engenharia. Pode ser estimada com base no ajuste de uma distribuição estatística, regionalização de vazões ou na precipitação sobre uma área (Tucci, 2012).

Para minimizar os danos potenciais, a verificação do comportamento hidrológicos das bacias hidrográficas, utilizando as ferramentas de modelagem computacionais são indispensáveis para avaliações das relações chuva-vazão analisando às características físicas das bacias. Assim, com o aumento do uso e ocupação do solo, diminui a capacidade de infiltração, devido a impermeabilização, ocorrendo as crescentes áreas de inundação (Usó, 2020).

Atualmente temos diversas tecnologias disponíveis para verificação de parâmetros hidrológicos como Modelo Digital de Elevação (MDE) que facilmente conforma a área de drenagem de uma bacia, além do monitoramento para verificação de estimativa de chuva e evapotranspiração, fornecem informações que permitem a calibração e entradas de dados dos modelos hidrológicos (Barbosa, 2020).

Dados físicos da bacia hidrográfica são fundamentais para qualquer diagnóstico referente aos recursos hídricos. À medida que o ciclo hidrológico se processa, independentemente da escala de análise, são eles que determinam a importância e magnitude de cada um dos vetores que a água pode e irá assumir.

Entre os diversos modelos utilizados para confecção de estudos hidrológicos, destaca-se o

software HEC-HMS, que é um modelo de transformação de chuva-vazão discreto, concentrado, empírico/conceitual e determinístico, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica – HEC (Hydrologic Engineering Center) no Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos – USACE (United States Corps Army Corps of Engineers), foi projetado com o intuito de auxiliar na modelagem hidrológica e simular processos de precipitação-escoamento em bacias hidrográficas e possui uma extensão que permite a leitura de arquivos digitais produzidos em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (USACE, 2022)

De acordo com Garcia e Júnior (2022) os estudos hidrológicos fornecem dados que subsidiam o dimensionamento de projetos de engenharia, tais como canais, condutos e bueiros, bem como a previsão de enchentes. Assim sendo, a modelagem hidrológica produzida na Plataforma HEC, quando alimentada com dados obtidos por meio de SIG, pode produzir resultados satisfatórios em razão da elevada precisão das informações acerca das características físicas da bacia hidrográfica e, dessa forma, pode-se obter informações relevantes para o manejo dos recursos hídricos.

Assim, o objetivo deste estudo foi verificar a vazão máxima no exutório da Bacia Hidrográfica do Rio Vieira para um período de retorno de 100, utilizando o modelo hidrológico HEC-HMS para simulação do escoamento superficial, considerando os dados físicos da bacia obtidos por meio do SIG.

Contextualização

A modelagem hidrológica em uma bacia hidrográfica é realizada através dos seus respectivos dados fisiográficos, com o objetivo de compreender e representar o seu comportamento. Entre os diversos métodos para desenvolvimento do estudo, destaca-se o modelo HEC-HMS que, de acordo com USACE (2022), é composto por diferentes módulos hidrológicos, que podem ser utilizados para simular o processo de transformação da precipitação que ocorre em uma bacia hidrográfica em escoamento superficial.

Segundo Costa Junior (2022), as simulações realizadas no HEC-HMS calculam a resposta do tipo chuva-vazão em uma área de acordo com três componentes principais: o modelo da bacia hidrográfica, o modelo meteorológico e as especificações de controle.

O modelo da bacia é o principal componente do HEC-HMS, ocorre nele uma representação física da bacia, onde são fornecidas as principais características físicas para simulação do escoamento superficial, tais como: sub-bacias, rios, reservatórios, fontes, sumidouros, junções, depressões e derivações (Usó, 2020).

O modelo meteorológico consiste na representação de séries históricas referentes aos fenômenos climáticos que ocorrem sobre a bacia hidrográfica, tais como precipitação, evaporação e transpiração. A simulação da precipitação pode ser processada no HEC-HMS através de sete métodos: *specifield hyetograph*, *gage weighting*, *inverse-distance gage weighting*, *gridded precipitation*, *frequency storm*, *SCS storm* e *standart project storm* (USACE (2022)).

As especificações de controle se referem aos componentes de controle das simulações, onde o usuário do HEC-HMS pode definir os intervalos de duração das simulações e os períodos de análise (Costa Junior, 2022).

O modelo HEC-HMS se mostrou uma importante ferramenta para confecção de estudos hidrológicos. Foi utilizado por Saboia et al. (2017) para avaliar o impacto das mudanças climáticas no sistema de drenagem urbana em localidades no município de Fortaleza-CE, onde os autores calcularam, através do programa, a vazão e os volumes escoados no sistema de drenagem.

Cruz et al. (2023) utilizou o modelo HEC-HMS para simular alterações das vazões de pico da

planície de inundação do rio Iguazu em Curitiba-PR, onde foram realizadas simulações para diversos tempos de retorno.

Material e métodos

Descrição da Área de Estudo

O Rio Vieira constitui um importante curso d'água do município de Montes Claros/MG, sendo o responsável por drenar toda a área urbana da cidade. Nasce na fazenda dos Vieira, que dista aproximadamente 8 km do perímetro urbano do município e tem extensão aproximada de 48,50 km.

Ao longo de seu curso, o Rio Vieira recebe a afluição dos Córregos Vargem Grande, Pai João, Gameleira, Rio Cedro, São Geraldo, Barroão, Córrego dos Porcos, Bicano, Mangues, Melancias, Cintra e Lapa Grande, além da contribuição de pequenos cursos d'água intermitentes e talvegues efêmeros, provenientes de formações litológicas de baixa permeabilidade e porosidade.

A Bacia Hidrográfica do Rio do Vieira está totalmente inserida no município de Montes Claros, conforme apresentado na Figura 1. Sua nascente principal está localizada na porção sudoeste do município, nas coordenadas geográficas de longitude 46°56'04" W e latitude 16°47'22" S e sua foz situa-se no Rio Verde Grande, um dos principais afluentes da margem direita do Rio São Francisco.

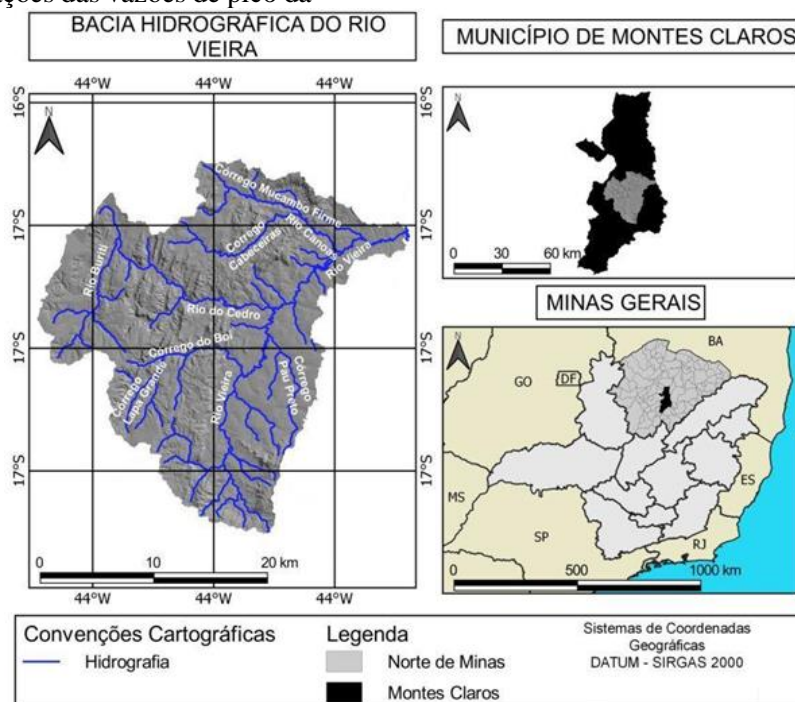


Figura 1 Mapa de localização da bacia do Rio Vieiras

Montes Claros é o principal município do norte do estado de Minas Gerais. Foi criado pela Lei Estadual nº 2 de 1981 e tem população estimada em 404.804 habitantes, sendo o sexto mais populoso do estado. Ocupa uma área de 3.568,94 km² e tem elevado índice de urbanização, com aproximadamente 95% de sua população residindo na área urbana. Situam-se no território do município três bacias hidrográficas: do Rio Pacui, do Rio São Lamberto e do Rio Verde Grande.

A geologia da região conta com rochas pertencentes ao Supergrupo São Francisco, de idade neoproterozóica, representado pela Formação Jequitai e Grupo Macaúbas, de ocorrências restritas, e Grupo Bambuí, de ampla extensão, onde ocorre a presença de formação caracterizada por uma sequência de rochas carbonáticas intercaladas a sedimentos, com o desenvolvimento de feições cársticas, como dolinas, sumidouros e cavernas (ANA, 2013).

Ainda de acordo com a Agência Nacional de Águas (2013), o clima predominante na cidade de Montes Claros é o Tropical de Savana, caracterizado por inverno seco e verão úmido, com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C. O regime pluviométrico reflete o clima e compreende dois períodos bem distintos, com predominância de chuva no verão e estiagem no inverno.

A vegetação predominante no município é do tipo Cerrado, com árvores que possuem alturas variando de três a seis metros, tronco tortuoso e cascas grossas, com presença de estrato arbustivo e subarbustivo denso, de composição florística muito variável. Sua parte arbórea mostra, de maneira geral, a fisionomia sempre verde, enquanto o estrato arbustivo-herbáceo perde sua parte aérea na estiagem, rebrotando com o início das chuvas (Leite, Santos e Almeida, 2011).

Características Físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Vieira

As características topográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Vieira foram determinadas com base no Modelo Digital de Elevação (MDE), elaborado a partir de ortoimagens de radar nas bandas X e P (2,5 m de resolução espacial) geradas

pela BRADAR em 2014 (CPRM, 2014). Com o MDE foi possível caracterizar morfométricamente a bacia em estudo, obtendo-se as seguintes informações: área da bacia, perímetro, extensão do curso principal, declividade do curso principal e declividade média da bacia, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 Características físicas da bacia hidrográfica do Rio Vieira

Características Físicas	
Área	578,14 (km ²)
Perímetro	155 (km)
Extensão do curso principal	48,50 (km)
Declividade do curso principal	0,0055 (m/m)
Declividade média da bacia	0,08 (m/m)

Utilizou-se também de imagens de setembro de 2022 do satélite Sentinel-2, com resolução de 10 metros, para compreender o uso e ocupação do solo na área. Foi possível, através da manipulação das imagens, analisar a dinâmica de escoamento da água da chuva que cai sobre a bacia.

As informações referentes à dinâmica de escoamento de água em uma bacia hidrográfica foram sintetizadas em mapa. Essa metodologia foi desenvolvida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) e é popularmente conhecida como Curver Number (CN).

O parâmetro CN está relacionado principalmente com o percentual de escoamento superficial, sendo ajustado em função de quatro tipos diferentes de solo e de diversos padrões de uso e ocupação. A quantificação desse parâmetro se faz a partir de uma série de valores pré-tabelados, para diferentes tipos de solos e diferentes condições hidrológicas e de ocupação (Rocha, Magalhães e Silveira, 2022).

A imagem foi processada em software Qgis 3.18, a partir da interseção dos dados referentes às características físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Vieiras: topografia, geologia e uso do solo. Após o processamento, a imagem apresentada representa, para cada segmento da bacia, um número que remete o quanto de precipitação pode gerar escoamento superficial.

Para a utilização prática dos dados de

chuva nos trabalhos hidrológicos, faz-se necessário conhecer a sua intensidade, duração e frequência. Uma das formas de relacionar essas características da chuva é através da relação intensidade-duração-frequência, conhecida como Equação IDF e expressa pela Equação (1).

$$I = \frac{K \times TR^a}{(t + b)^c} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

I - intensidade máxima média de precipitação (mm/h);

T - período de retorno (ano);

t - duração da precipitação (minuto);

K, *a*, *b* e *c* - parâmetros relativos à localidade.

Os parâmetros locais foram determinados com auxílio do software Plúvio 2.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa. Foi possível determinar a intensidade pluviométrica para diferentes tempos de retorno e o hietograma, que relaciona a intensidade da chuva ao longo de sua duração.

O tempo de concentração foi calculado de acordo com a Equação (2) de Giandotti:

$$tc = \frac{4 \times \sqrt{A} + 1,5 \times L}{0,80 \times \sqrt{H}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

tc - tempo de concentração (horas);

A - área da bacia (km²);

L - comprimento desde a saída da bacia (seção de controle) até o ponto mais afastado, (km);

H - diferença entre as cotas média e a mais baixa, seção de controle, (m).

Aplicação do Modelo HEC-HMS

O HEC-HMS é um software desenvolvido e gratuitamente disponibilizado pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE – U.S. Army Corps of Engineers). É utilizado em estudos hidrológicos para simular processos de chuva-vazão em bacias dendríticas. Os resultados obtidos permitem a detenção de dados referentes à vazão de pico em uma bacia hidrográfica,

fomentando o desenvolvimento de projetos de drenagem urbana, barragens entre outros (USACE, 2022).

Para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizado o HEC-HMS versão 4.11.0. Através do modelo foi possível simular o processo de transformação da precipitação, considerada uniforme em toda a área da bacia, em escoamento superficial. Para balizar o processamento dos dados, foi necessário fornecer as seguintes informações referentes à área em estudo: modelo da bacia, modelo meteorológico e especificações de controle.

A construção do modelo da bacia é etapa mais significativa de todo o processamento dos dados, nela foi inserido as informações físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Vieiras. Para o Método das Perdas, foi escolhido o método *soil conservation service* (SCS) CN. Para o Método de Transformação, optou-se o SCS *Unit Hydrograph*. Para o Método de Fluxo de Base, utilizou-se *None*.

Considerou-se uma chuva uniforme em toda a bacia hidrográfica, com valores definidos através da equação IDF. Assim, construiu-se o modelo meteorológico optando pelo parâmetro de cálculo *Specified Hyetograph*. Desconsiderou-se perdas por evapotranspiração.

Para as especificações de controle, definiu-se a data de setembro de 2022, pois reflete período semelhante ao da retirada de imagens espaciais para confecção do coeficiente CN. A simulação foi realizada em um intervalo de 24 horas, sendo superior ao tempo de concentração da bacia estudada e onde se tem a maior contribuição pluvial na vazão de descarga.

A vazão foi calculada para um período de retorno de 100 anos, por ser um período usualmente utilizado em dimensionamento hidráulico de grandes obras civis.

Resultados e discussão

Características Físicas da Bacia

A bacia hidrográfica do Rio Vieira, embora ocupe apenas 1,84% da área da bacia hidrográfica do Rio Verde Grande, tem grande representatividade, por abrigar a área urbana do município de Montes Claros. Exige monitoramento

singular, em razão do alto coeficiente de deflúvio, que é uma das consequências da impermeabilização do solo nas cidades.

Em relação ao relevo, a bacia do Rio Vieira apresenta declividade variando entre 0 a 75%, com média de 8,16%. A área urbanizada tem declividade suave, conforme classificação de

declividade relatada por Embrapa (2018). O ponto mais alto localiza-se próximo à sua nascente e tem elevação aproximada de 1.033,38 m e o ponto mais baixo, próximo a foz, possui elevação de 559,53 m. A Figura 2 apresenta os mapas referentes à declividade e hipsometria.

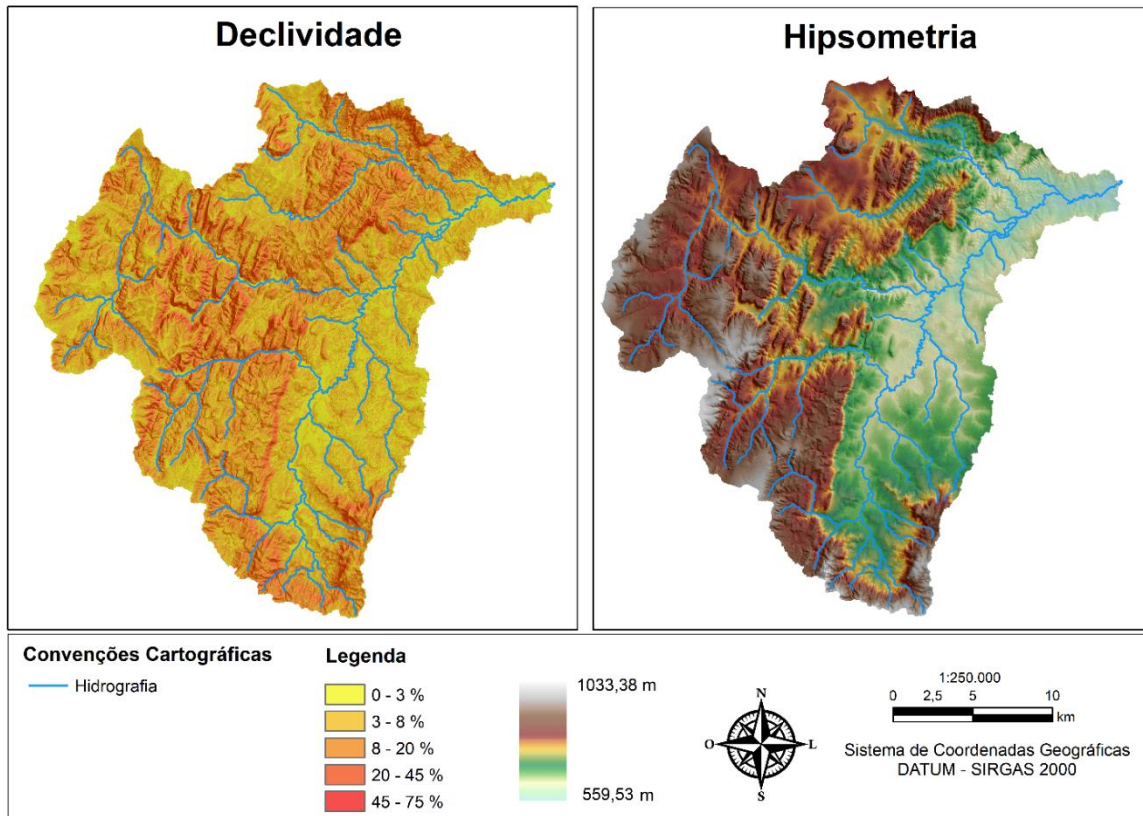


Figura 2 - Declividade e Hipsometria da bacia do Rio Vieiras.

Através da análise dos mapas, pode-se perceber que a bacia hidrográfica do Rio Vieira é cercada por regiões montanhosas e de alta declividade, que contribuem para o rápido escoamento superficial durante as precipitações.

Considerando que o canal do Rio Vieira tem trecho dentro da área urbana do município e que a bacia é cercada por trechos com alta declividade, denota-se que a conservação ambiental desta bacia é determinante para a prevenção de situações de alagamento e, portanto, deve ser objeto de políticas públicas.

Está inserido na bacia do Rio Vieira o Parque Estadual da Lapa Grande, que possui área total de 9.663,1 ha e é referência na região, por possuir mananciais de abastecimento de água para

parte da população do município de Montes Claros e ter grande área sob proteção integral dos recursos naturais.

O uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Vieiras é variado, entretanto, percebeu-se predominância de pastagem, vegetação nativa, solo exposto, afloramento rochoso e urbanização, conforme apresentado na Figura 1. Os resultados encontrados estão em concordância com as atividades econômicas desenvolvidas no município, onde, entre as diversas atividades econômicas que movimentam a economia local, destacam-se a produção agropecuária e a mineração.

A classificação do solo foi realizada de acordo com o levantamento do CPRM (2014) e a

bacia apresentou 5 tipos de solos: NXd1 (nitossolos háplicos distróficos), NXe2 (nitossolos háplicos eutróficos), CXbd21(cambissolos háplicos Tb distrófico), LVAd22 (latossolos vermelho-amarelos distrófico) e LVAd1 (latossolos vermelho-amarelos distrófico). As combinações

das características do uso e classe do solo contribuem para o rápido escoamento superficial, principalmente quando combinado com relevo da área de estudo.

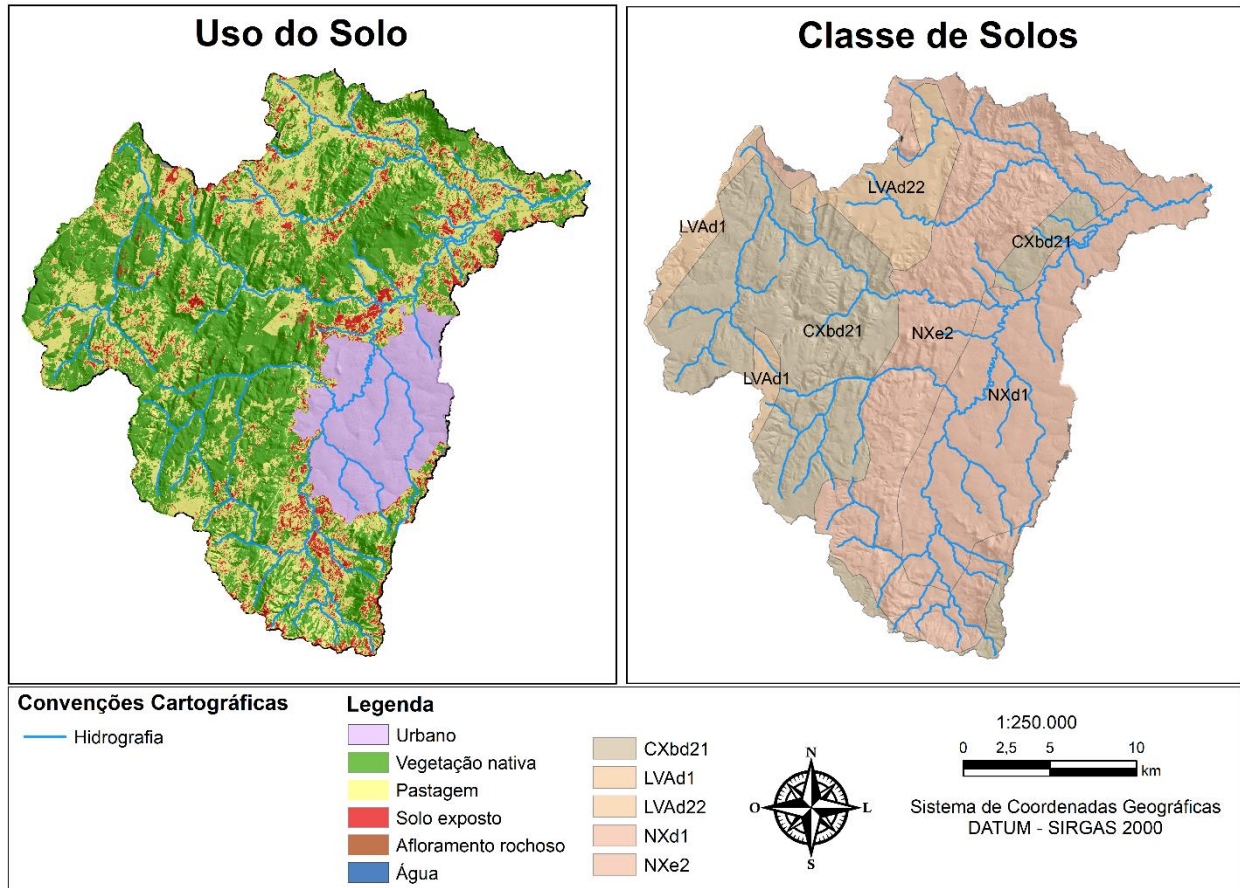


Figura 1 - Uso e classificação do solo da bacia.

Na Figura 2 é apresentada a Carta Imagem da Bacia Hidrográfica do Rio Vieira, de 22 de setembro de 2022, que retrata um período de estiagem da região. Foi elaborada a partir da composição R4G3B2, onde pode ser observada a área urbanizada e a cobertura vegetal da bacia. A figura apresenta ainda o índice CN, extraído a partir das características da bacia.

O CN da bacia em estudo variou de 63,85 nas áreas mais planas e preservadas próximo a foz e 85 nas áreas urbanas e nos afloramentos rochosos, sendo o CN médio de 72,59. Conforme Pezan (2022) os valores de CN varia entre 0 e 100 e dependendo do tipo de solo, das condições de ocupação e da umidade antecedente

Os valores de CN da bacia hidrográfica do

Rio Vieira são considerados altos, possivelmente em razão dos altos índices de afloramentos rochosos, área urbana, pastagens, solos expostos e declividade. Percebe-se uma relação entre a área urbanizada, que tem solo predominantemente impermeável, e o valor elevado de CN. Ao longo do divisor de águas da bacia hidrográfica também se encontram valores elevados de CN.

O mapa apresentado na Figura 4 pode subsidiar a revisão do Plano Diretor do Município de Montes Claros, que é o instrumento básico de ordenamento territorial. Através da análise do mapa, pode-se concluir que a área próxima ao divisor de águas da bacia, a oeste no mapa, necessita de restrições quanto ao uso e ocupação, pois é uma área de recarga do lençol freático que

tem baixa taxa de infiltração, podendo a precipitação que nela ocorre, causar enchentes na zona urbana do município.

Além disso, é possível, estabelecer diretrizes no Plano Diretor Municipal que regulem o uso e ocupação do solo, a fim de diminuir o

escoamento superficial da área urbana, que possui um CN elevado, através do incentivo á criação de áreas verdes, faixas permeáveis em passeios públicos e uso de pavimento ecológico.

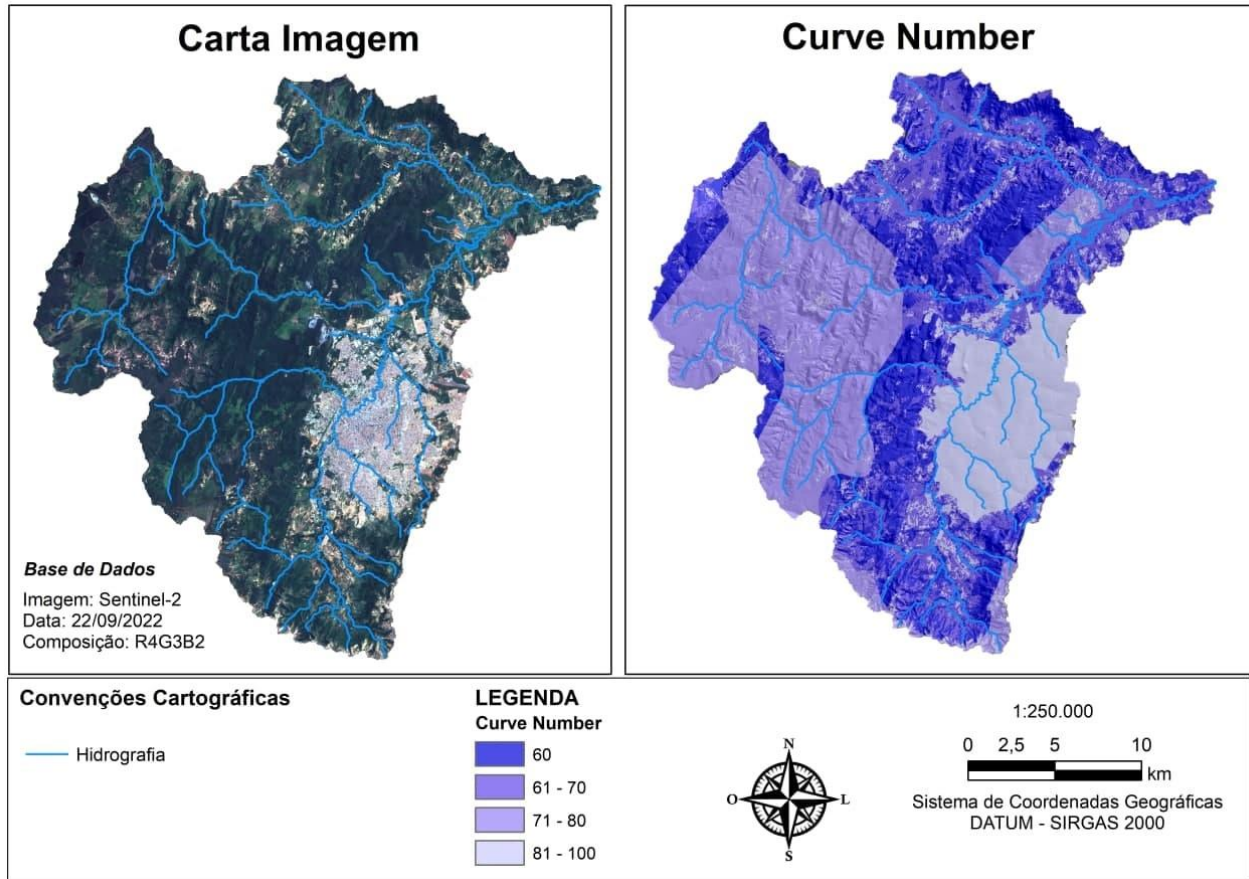


Figura 2 - Carta imagem e *Curver Number* da bacia do Rio Vieiras.

Chuva de Projeto

A chuva de projeto foi calculada para o tempo de retorno de 100 anos, através da Equação IDF, que relaciona a intensidade, duração e frequência. Os dados obtidos são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Tabela 2.

Período Chuvoso (min)	Intensidade (mm/h)
100	67,43
200	38,88
300	27,35
400	21,10
500	17,18
600	14,50
700	12,54

A partir dos dados da intensidade, foi elaborado o hietograma, apresentado na Figura 3. O gráfico mostra a intensidade da chuva ao longo de sua duração. As chuvas, ou hietogramas de projeto, são metodologias de representação simplificada da distribuição temporal da precipitação, utilizadas basicamente como entrada em modelos de simulação chuva-vazão, para dimensionamento de estruturas hidráulicas.

O hietograma foi elaborado conforme o Método dos Blocos Alternados que consiste em dois passos principais: o cálculo das intensidades da chuva para cada período de tempo e tempo de retorno, resultando em blocos que determinam a altura da lâmina precipitada e o limite da duração crítica do evento (geralmente o tempo de

concentração da área contribuinte). O segundo passo, que dá nome ao método, envolve a reordenação do hietograma de forma a posicionar o pico centralizado. Cada bloco de chuva do hietograma é alternado em torno do bloco do pico, tanto à direita quanto à esquerda (Lopes e Meneses Filho, 2022).

Após a definição da duração total da chuva a ser obtida e de seu tempo de retorno, foi calculado, com base na Equação IDF, as intensidades médias para as diversas durações. Os dados são transformados em alturas de chuva e representam os valores acumulados até o último intervalo. Os incrementos entre um valor

acumulado e outro são calculados e rearranjados, de forma que o maior valor se localize entre 1/3 e 1/5 do tempo da duração total da chuva, e os demais sejam dispostos em ordem decrescente, sempre um à direita e outro à esquerda do bloco central, alternadamente.

Para o período de retorno de 100 anos, usualmente adotado para estruturas hidráulicas de médio e grande porte, obteve-se o tempo de concentração de 768,85 minutos, calculado por meio da Equação (2).

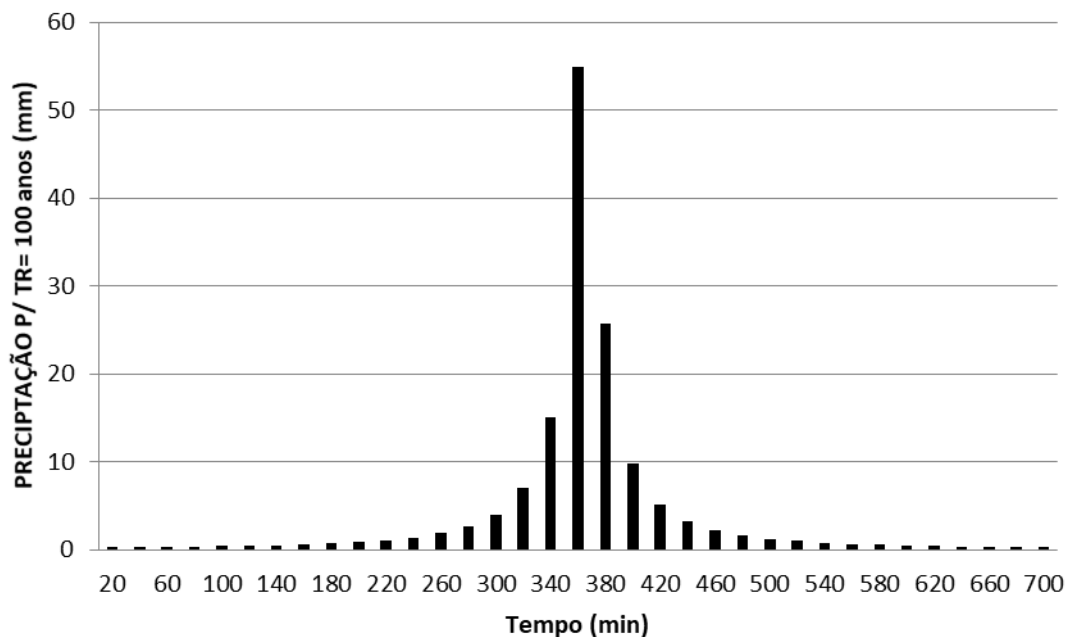


Figura 3 - Hietograma da precipitação de projeto da bacia do Rio Vieiras.

Para o período de retorno de 100 anos, usualmente adotado para estruturas hidráulicas de médio e grande porte, obteve-se o tempo de concentração de 768,85 minutos, calculado por meio da Equação 2.

Simulação no HEC-HMS

A simulação foi realizada considerando a Bacia Hidrográfica do Rio Vieira discretizada em 63 porções, como apresenta a Figura 4. A discretização buscou a subdivisão da área em sub-bacias e, assim, obteve-se frações de terra com características físicas homogêneas, classificadas a partir do modelo digital de elevação (MDE).

Os parâmetros de entrada do modelo HEC-

HMS foram o CN, que foi obtido a partir do método de perda SCS, e o método de transformação do Hidrograma unitário SCS. Os resultados da simulação de pico por sub-bacias estão apresentados na Figura 4.

De acordo com a análise da Figura 4, a menor área foi de 0,09 km² e a maior de 41,33 km², nas sub-bacias W960 e W690 respectivamente. As vazões mínima e máxima de cálculo foram 0,40 m³/s e 92,0 m³/s nas sub-bacias W960 e W790, respectivamente.

Observou-se que a vazão máxima não é a da sub-bacia que possui maior área, outra sub-bacia possui pico de descarga com maior valor, por estar localizada em área de maior declividade e

afloramento rochoso. Foi verificado também que as sub-bacias na área urbanizada apresentaram vazões altas para as áreas de contribuição, isso justifica-se por possuírem solo impermeabilizado, que impossibilita a infiltração. As sub-bacias localizadas em áreas de alta declividade também apresentaram vazões superiores em relação às de baixa declividade, conforme esperado.

Traçando uma comparação entre as sub-bacias

W1050 e W740 o pico de descarga da primeira é maior que o dobro da segunda, sendo as duas com áreas semelhantes, porém, é sabido que a sub-bacia W1050 está localizada em área de alta declividade, solo exposto e afloramento rochoso e a segunda está localizada em região plana e de pastagem, com vegetação.

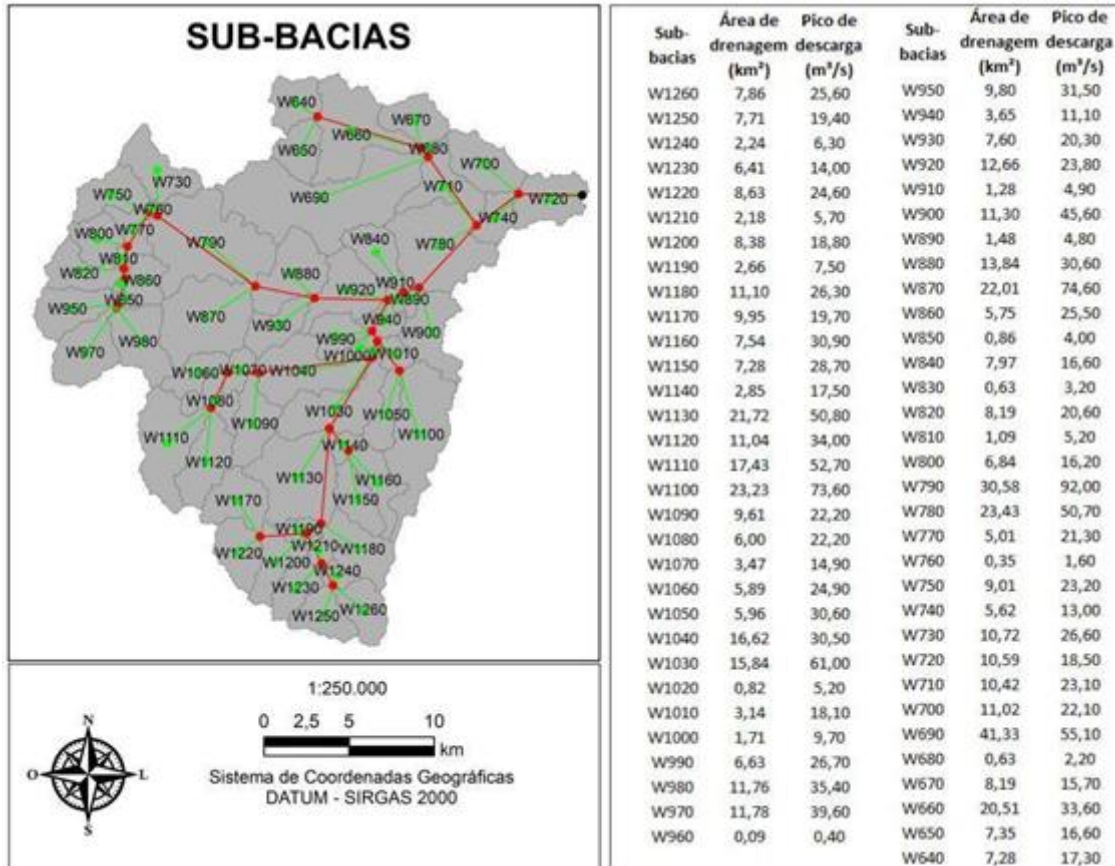


Figura 4 - Discretização da bacia em estudo.

A vazão de pico foi simulada no período de 24 horas apresentou o valor máximo no exutório de

1.447,60 m³/s, às 8:00 horas do período de simulação, conforme a Figura 5.

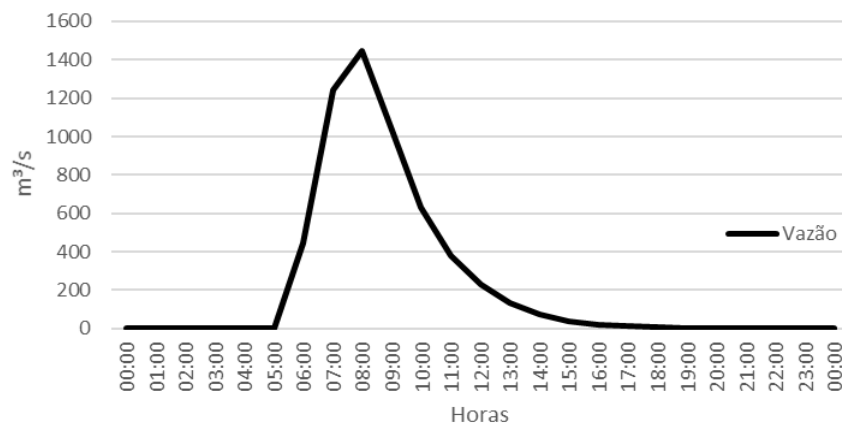


Figura 5 - Simulação do pico de vazão para o período de 24 horas.

O gráfico apresentado na Figura 5 representa a estimativa de vazão máxima de água que passa pela calha do Rio Vieira em um evento crítico de chuva, que tem possibilidade de ocorrer em um período de 100 anos. Tem grande importância no dimensionamento de obras de engenharia, de acordo com Braga, Muzzi e Viana (2022), a compreensão da vazão máxima é fundamental para prever enchentes e planejar obras hidráulicas, enquanto o hidrograma de projeto se torna essencial ao considerar o volume, a distribuição temporal e o pico, garantindo o pleno funcionamento de estruturas como condutos, canais, bueiros e reservatórios.

A vazão de pico do Rio Vieira, considerada elevada em relação à sua vazão média, tem valor excelso, pois a simulação reproduz as condições críticas possíveis de ocorrer. Sendo assim, possivelmente existe um risco dessa vazão ser igualada ou superada em períodos centenários.

Conclusões

O uso do SIG em estudos hidrológicos representa um grande avanço para a ciência, pois pode prover ao estudo maior detalhamento, através da produção de análises espaciais, que permitem integrar diferentes informações em um determinado contexto.

O modelo HEC-HMS se mostrou eficiente para o processamento das informações, permitindo, através da inserção dos dados referentes ao modelo da bacia, modelo meteorológico e especificações de controle, simular o escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Vieiras. Permite a leitura de arquivos digitais produzidos em SIG e, assim, racionaliza o cálculo, proporcionando economia.

De acordo com o estudo, fenômenos meteorológicos críticos podem provocar, em um período de retorno de 100 anos, uma vazão de pico no exutório da bacia hidrográfica do Rio Vieiras da ordem de 1.447,6 m³/s. Representa um volume de água considerável e, por estar inserida no município de Montes Claros e ter seu curso principal percorrendo a zona urbana do município, a bacia requer um manejo ambiental criterioso, principalmente em porção de terra situado a oeste e

na zona urbana, a fim de que sejam evitadas enchentes.

Além disso, verificou-se que a área próxima ao divisor de águas da bacia, a oeste no mapa, necessita de restrições quanto ao uso e ocupação, pois é uma área de recarga do lençol freático que tem baixa taxa de infiltração, podendo a precipitação que nela ocorre, causar enchentes na zona urbana do município.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes) por proporcionar a elaboração desse estudo.

Referências

- ANA. Agência Nacional de Águas, 2013. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande. Brasília.
- Barbosa Júnior, A. R., 2022. Elementos de hidrologia aplicada, 1 ed. Blucher, São Paulo.
- Barbosa, P. I. G., 2020. Modelagem hidráulica com base em dois modelos hidrológicos como subsídio à predição de eventos de cheias na bacia do rio Jucu Braço Sul/ES. Dissertação (Mestrado). Vitória, Universidade Federal do Espírito Santo.
- Braga, L. da S., Muzzi, A. L., Viana, T. M. 2022. Análise de parâmetros hidráulicos e metodologias de dimensionamento para canais de drenagem: estudo de caso - Itabira/MG. Revista Engenharia de Interesse Social 7, 37–65.
<https://doi.org/10.36704/25256041/reis.v7i9.6532>
- Costa Junior, J. R. C., 2022. Como fazer modelagem hidrológica no HEC-HMS? Disponível:
<https://sobreasaguas.com/2022/10/18/como-fazer-modelagem-hidrologica-no-hec-hms/>. Acesso: 05 jun. 2023.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2014. Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações. Brasília.
- Cruz, L. G. A.; Andrade, F. O.; Prestes, M. F.; Bezerra, S. M. C.; Polli, S. A., 2023. Modelagem hidrológica-hidráulica para avaliação da eficiência de medidas de contenção de cheias: estudo de caso do Bolsão Audi-União em Curitiba, Revista Ambiente &

- Água 18, e2894. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2894>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília.
- Fonseca Neto, G. C.; Silva Junior, M. A. B.; Rodrigues, A. B.; Ribeiro Neto, A.; Cabral, J. J. S. P., 2020. Modelagem Bidimensional para a Verificação Hidráulica da Canalização de um Trecho do Rio Frágoso em Olinda (Pernambuco, Brasil). *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 2963-2977. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2963-2977>.
- Garcia, F., R., Júnior., M., J., A., 2022. Comparação de MDTs a partir do acoplamento de modelo hidrológico e hidrodinâmico aplicado à identificação de áreas de inundações urbanas. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 783-803. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p783-803>.
- Leite, M. E.; Santos, I. S.; Almeida, J. W. L., 2011. Mudança de uso do solo na bacia do Rio Vieira, em Montes Claros/MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* 4, 779-792. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i4.232716>
- Lopes, S. G.; Meneses Filho, A. S.; 2022. Análise de desempenho dos dispositivos de saída para reservatórios de detenção no controle de cheias urbanas em Fortaleza. *Revista AIDIS de Ingeniería Y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Y práctica* 15, 1058–1079. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.80375>
- Medeiros, K. T. de B., Lucena, M. M. A. de., 2023. Gestão dos recursos hídricos: uma revisão sob a perspectiva dos objetivos do desenvolvimento sustentável. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* 12, e12549. https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/12549
- Pezan. V. F., 2022. Determinação do SCS-Curve Number usando dados hidrológicos observados de bacias hidrográficas brasileiras. *Disertação (Mestrado)*. São Carlos, EESC/USP.
- Rocha, M. J. D.; Magalhães, J. H. F.; Silveira, C. S., 2022. Aplicação do curve number como forma de avaliar os impactos nas mudanças no uso e ocupação do solo e na resposta hidrológica de uma pequena bacia semiárida. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica* 15, 67-85. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/69364>
- Saboia, M. A. M.; Souza Filho, F. A.; Araujo Junior, L. M.; Silveira, C. S., 2017. Climate changes impact estimation on urban drainage system located in low latitudes districts: a study case in Fortaleza-CE. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 22, e21. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716074>
- Siqueira, P.C.; Pons, N. A. D.; Silva, B. C.; Junior, P. S.; Moreira, L. A.; Martins, A. M., 2022. Aplicação do Modelo Hidrológico MGB-IPH para Simulação de Cenários de Uso do Solo na Bacia do Rio Sapucaí (MG). *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 2414-2429. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2414-2429>
- Tucci, C. E. M., 2012. *Hidrologia: ciência e aplicação*, 4. UFRGS/ABRH, Porto Alegre.
- Usó, M., 2020. *Modelagem hidrológica HEC-HMS da bacia hidrográfica do Rio Bauru. Dissertação (mestrado)*, Botucatu, UNESP.
- USACE. U.S. Army Corps Of Enginners, 2022. *HEC-HMS Hydrologic Modeling System: Hydraulic Reference Manual, version 4.11*. Davis, EUA: Hydrologic Engineering Center. 598 p.