



ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADO AO MAPEAMENTO DE INUNDAÇÕES EM MONTES CLAROS-MINAS GERAIS - BRASIL

MULTICRITERIA ANALYSIS APPLIED TO FLOOD MAPPING IN MONTES CLAROS-MINAS GERAIS - BRASIL

João Vitor Ferreira Fernandes - Unimontes – Montes Claros – Minas Gerais- Brasil
vitoruni1998@gmail.com

Ricardo Henrique Palhares - Unimontes – Montes Claros – Minas Gerais- Brasil
Ricardo.palhares@unimontes.br

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é mapear as áreas susceptíveis a inundações na cidade de Montes Claros-MG. Esta pesquisa justifica-se com base na relevância de se identificar as áreas com maior propensão a ocorrência de inundações na área urbana de Montes Claros-MG, entendendo o alto risco que representa para a população. Para determinação da susceptibilidade a inundações na área de estudo desta pesquisa, optou-se pela utilização da análise multicritério, desenvolvida por Thomas L. Saaty na década de 1970 e é baseada na teoria das decisões multicritério. No contexto desta pesquisa foram determinados quatro critérios: altitude, declividade, uso do solo e classes de solo. Como resultados obteve-se os mapas de hipsometria, declividade, uso do solo e classes de solo, que utilizando o método AHP resultou no mapa de susceptibilidade a inundações. Também foi utilizado uma base de dados de ocorrência de inundações na cidade, bem como notícias e reportagens sobre o tema a fim de se avaliar se as áreas susceptíveis segundo o modelo condiziam com a realidade histórica. A aplicação do método de análise multicritério foi satisfatório, ao passo que apresentou com boa exatidão áreas que historicamente são inundadas em períodos de alta pluviosidade.

Palavras-chave: Susceptibilidade, geotecnologias, inundações

ABSTRACT

The aim of this research is to map flood-prone areas in the city of Montes Claros-MG. This research is justified based on the significance of identifying areas with a higher propensity for flood occurrences within the urban area of Montes Claros-MG, recognizing the significant risk it poses to the population. To assess flood susceptibility in the research area, a multicriteria analysis approach was adopted, developed by Thomas L. Saaty in the 1970s and based on multicriteria decision theory. Within the context of this research, four criteria were established: elevation, slope, land use, and soil classes. As outcomes, maps depicting hypsometry, slope, land use, and soil classes were generated. Through the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology, these maps were integrated to produce the flood susceptibility map. Additionally, a dataset containing historical flood occurrences in the city, along with news articles and reports related to the subject, were employed to assess

whether the susceptibility areas indicated by the model aligned with historical realities. The implementation of the multicriteria analysis method yielded satisfactory results, accurately identifying areas historically prone to flooding during periods of high rainfall.

Keywords: Susceptibility, geotechnologies, floods

INTRODUÇÃO

Historicamente, a formação das cidades no mundo liga-se aos recursos hídricos, uma vez que grande parte dos aglomerados urbanos teve seu crescimento a partir da proximidade com os cursos d'água, como estratégia de facilitar o desenvolvimento das atividades econômicas. No Brasil, em 1950, a população rural representava 64% da população nacional. A partir da década de 1970, essa tendência se inverteu, com a maioria da população se tornando urbana. Esse fenômeno convergiu para a elaboração de espaços urbanos, cujo à dinâmica espacial estava ligada aos recursos hídricos, com paisagens naturais artificializadas através da ocupação antrópica.

A partir das décadas de 1980 e 1990 observou-se um intenso processo de crescimento das cidades médias no Brasil, que passaram a atrair grandes parques industriais, à medida que aumentava o potencial de geração de empregos da cidade (BOLAY, 2020). Contudo, esse processo desencadeia uma série de transformações nestas cidades, relacionadas ao rápido crescimento populacional e, muitas vezes, à ocupação desordenada do espaço urbano.

As áreas urbanas são particularmente vulneráveis às inundações devido à alta concentração de pessoas e infraestrutura em áreas de risco, como encostas íngremes, margens de rios e áreas baixas. A urbanização acelerada também pode contribuir para o aumento da impermeabilização do solo, reduzindo a capacidade do solo de absorver a água da chuva. Neste sentido torna-se necessário adotar medidas de prevenção e mitigação de tais fenômenos. Isso inclui a construção de infraestrutura de drenagem e proteção contra inundações, desenvolvimento de sistemas de alerta precoce, a implementação de planos de evacuação e a educação da população sobre como se preparar e agir em caso de uma inundação, e em casos mais graves realocação da população em áreas susceptíveis e vulneráveis a inundações.

As inundações são um dos principais desastres naturais que afetam as áreas urbanas em todo o mundo. Esses eventos, de maneira geral são causados por uma variedade de fatores, incluindo a urbanização acelerada, o aumento da impermeabilização do solo, o desmatamento, as mudanças climáticas e o aumento do nível do mar. Sendo assim podem ter um impacto devastador na vida urbana, afetando as atividades econômicas, a infraestrutura, a saúde e a segurança das comunidades. As inundações podem causar danos materiais e físicos, bem como interromper o acesso aos serviços básicos, como água potável, energia elétrica e transporte.

Em 2009, o município de Montes Claros foi atingido severamente pelo processo de inundação, proveniente do aumento dos índices pluviométricos por vários dias consecutivos e superou a média histórica, que atingia a área urbana do município. Nesse ano, cerca de 135 desabrigados e 135.000 habitantes foram afetados pela inundação-

No contexto histórico recente, segundo Rodrigues (2019), entre 2005 e 2018 foram contabilizadas um total de 587 ocorrências em Montes Claros, que englobavam: enxurradas, inundações e alagamentos. A pesquisa supracitada destacou que a ocorrência desses acontecimentos estava intrinsecamente ligada aos altos índices pluviométricos que ao passar dos anos com o aumento da quantidade de chuva, tem-se maiores ocorrências desses fenômenos. A ocorrência dos eventos concentra-se nos meses de novembro a janeiro, em que a média pluviométrica é mais acentuada. Recentemente entre outubro e novembro de 2021 foram verificadas ocorrências de inundações e alagamentos na cidade, em virtude dos altos índices pluviométricos.

Cunha (2013) destaca que o conceito de susceptibilidade é caracterizado pela probabilidade de ocorrência de um dado evento no espaço. O autor enfatiza ainda que o conceito de susceptibilidade não pode ser completamente separado do de probabilidade ou eventualidade, “porque a probabilidade espacial decorre claramente, também, da probabilidade temporal de ocorrência do evento em cada local, razão pela qual, por vezes a susceptibilidade pode tomar o sentido mais amplo de perigosidade” (CUNHA, 2013, p.156).

Corroborando com o anteriormente apresentado, cabe destacar alguns exemplos de utilização do conceito de susceptibilidade consoante com o empregado na presente

pesquisa. Ao abordar a temática “escorregamento de massa”, em sua dissertação de mestrado, Saito (2004, p.32) entende que o conceito de suscetibilidade é “entendido como característica inerente do meio, representando a fragilidade do ambiente em relação aos escorregamentos e quedas de blocos” (SAITO, 2004 p. 32). Logo a suscetibilidade está ligada à capacidade do meio físico de ser afetado por processos de inundação, assim como às intervenções humanas que podem aumentar essas suscetibilidades. Isso é observado por meio da análise das formas de ocupação urbana ou rural (FUJIMOTO; 2010, p. 2). Já para a UNDP (2004) apud (MULER; BONETTI, 2011), este conceito está relacionado exclusivamente às características físicas do meio ambiente, isto é, refere-se à probabilidade ou intensidade com que uma região específica será afetada por um perigo natural.

Para determinação da susceptibilidade a inundações na área de estudo desta pesquisa, optou-se pela utilização da análise multicritério, que se caracteriza por ser uma técnica utilizada para tomada de decisões em situações complexas, que envolvem múltiplos critérios e alternativas. Ela foi desenvolvida por Thomas L. Saaty na década de 1970 e é baseada na teoria das decisões multicritério. Tal análise é uma técnica bastante utilizada em diversas áreas, como administração, engenharia, finanças, entre outras. Ela permite que os decisores considerem diversos critérios ao tomar uma decisão e, assim, tomem uma decisão mais informada e consistente, abarcando desde estudos ambientais, sociais e econômicos.

Como enfatiza Fernandes (2019) a técnica de AHP tem sido utilizada em diversas situações e pode ser útil na análise de vulnerabilidade ambiental. Como muitos dos dados necessários para a tomada de decisões são relacionados à localização geográfica, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas importantes que permitem integrar informações de maneira coerente e ajudam os pesquisadores a determinar a vulnerabilidade de áreas ocupadas pelo homem.

Esta pesquisa justifica-se com base na relevância de se identificar as áreas com maior propensão à ocorrência de inundações na área urbana de Montes Claros-MG, entendendo o alto risco que representa para a população. Ressalta-se ainda a série de danos socioeconômicos que as áreas acometidas podem sofrer. As informações obtidas

por meio desta pesquisa servem de base para o planejamento e gestão dos recursos hídricos nas áreas de estudo, contribuindo para a elaboração de políticas públicas voltadas para mitigá-la e/ou sanar os danos causados.

Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é mapear as áreas susceptíveis a inundações na cidade de Montes Claros-MG. Tem-se como objetivo secundário a avaliação do método empregado na metodologia da pesquisa.

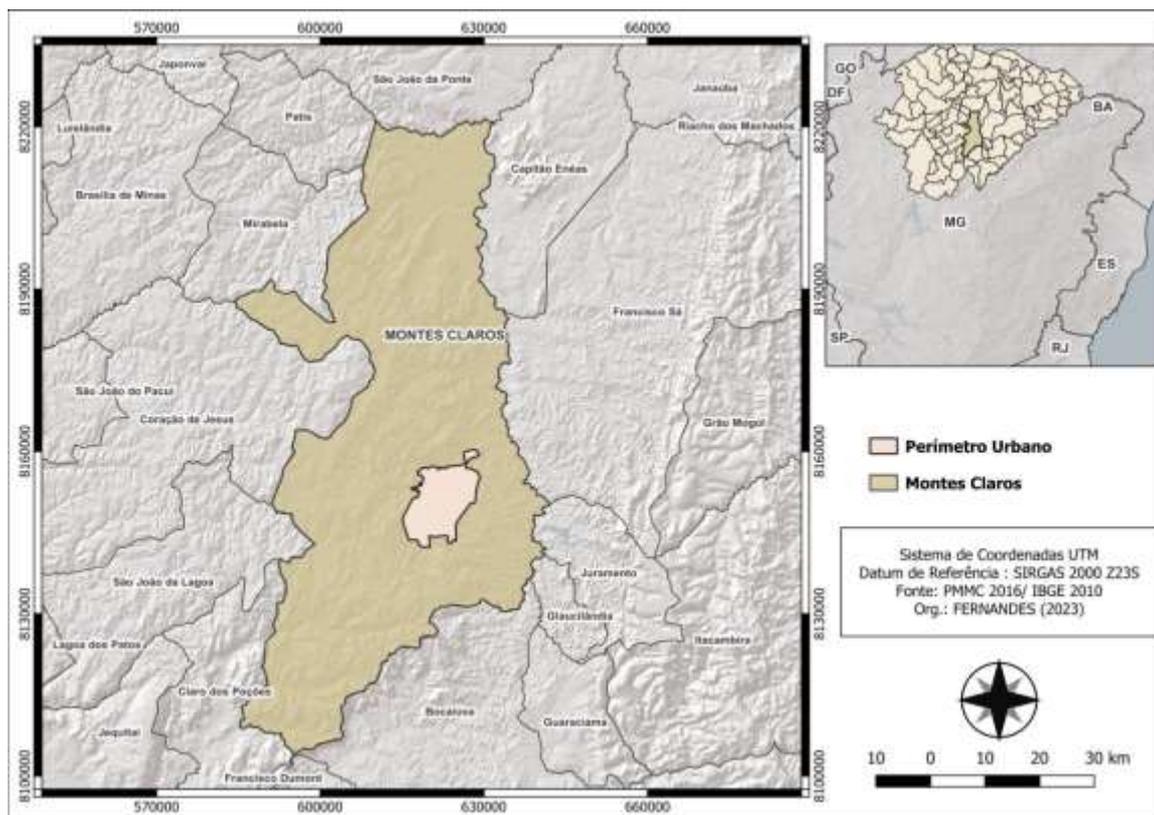
METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende o perímetro urbano de Montes Claros-MG, município localizado no Norte de Minas Gerais, como pode ser observado na figura 1. Montes Claros está localizada na região Norte de Minas Gerais, entre as coordenadas de latitude sul 16º 04' 57" e 17º 08' 41", e longitude oeste 43º 41' 56" e 44º 13' 01". Em termos climáticos, o município apresenta um clima tropical subúmido úmido, com características próximas ao limite do clima subúmido seco. Isso se traduz em períodos de chuvas intensas concentradas entre os meses de outubro a março, enquanto o período de estiagem ocorre entre junho e agosto. A precipitação média anual na região é de aproximadamente 1.080 milímetros (mm), e a temperatura média anual é de 24,2 graus Celsius (°C) (NIMER; BRANDÃO, 1989).

Segundo dados do censo demográfico, de 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município contava com uma população de 361.915 habitantes, contudo a população do município de acordo com o censo demográfico 2022 passou a ter 414.240 habitantes, com densidade demográfica de 115,39 habitantes por quilômetro quadrado (hab/km²). Com base nestes dados verifica-se que Montes Claros possui a 5ª maior população do estado de Minas Gerais. Tais dados mostram que o município teve um crescimento de 14,38%. A representatividade deste município ressalta a necessidade de se entender a susceptibilidade.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autores

Procedimentos Teóricos Metodológicos

Nesta pesquisa optou-se pela utilização do método *AnalyticHierarchyProcess* (AHP) utilizado para resolver problemas de decisão com múltiplos critérios, com a ajuda das geotecnologias. Ele foi desenvolvido por Thomas Saaty (1977) e é considerado uma das técnicas quantitativas mais intuitivas e fáceis de usar para esse tipo de problema. O método funciona criando uma hierarquia de níveis e atribuindo pesos a cada um dos critérios, permitindo a comparação entre eles através de uma escala pré-definida. No contexto desta pesquisa foram determinadas quatro variáveis de análise: altitude, uso e ocupação do solo, declividade e solos.

O método de análise multicritério estabelecido pelo autor utiliza uma escala numérica que permite a comparação de critérios e alternativas em relação a um critério de referência. Essa escala é chamada de escala de Saaty ou escala de razão. A escala numérica varia de 1 a 10 e é utilizada para comparar a importância relativa dos critérios.

Na escala, o número 1 representa a igualdade entre dois critérios, enquanto o número 9 representa uma diferença extremamente forte entre dois critérios

Na matriz de decisão dos pesos utilizou-se como referência trabalhos que utilizaram este método em diferentes contextos, como por exemplo, Braga *et al* (2020), Magalhães *et al* (2011) e Coelho (2017). Sendo assim a determinação dos pesos e o grau de susceptibilidade atribuído a cada critério foram embasados nestes trabalhos.

Tabela 1: Critérios

FATORES	ORGANIZAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO		
	Classes (m)	Grau de susceptibilidade	Peso do fator
Altitude	884 - 909	1	
	800 - 884	2	
	764 - 800	3	
	724 - 764	4	
	684 - 724	5	7
	644 - 684	6	
	604 - 644	7	
	584 - 604	8	
	564 - 584	9	
Uso e ocupação do solo	Classes	Grau de susceptibilidade	Peso do fator
	Corpos hídricos	10	
	Áreas não vegetadas	8	5
	Solo exposto/pastagem	5	
	Áreas verdes	2	
Declividade	Classes (%)	Grau de susceptibilidade	Peso do fator
	0 - 3%	9	
	3 - 8%	8	
	8 - 20%	7	
	20 - 45%	5	3
	45 - 75%	2	
	>75 %	1	
Classes de solo	Classes	Grau de susceptibilidade	Peso do fator
	Nitossolos háplicos eutróficos	3	
	Nitossolos háplicos distróficos	7	1

Org.: Autores

O fator com maior peso foi a altitude, ao passo que as áreas com maior altitude em geral são menos propensas a inundações, neste sentido foram classificadas dez classes com 20 metros de equidistância. Os dados de altitude foram obtidos através do modelo digital de elevação do ALOS PALSAR com resolução espacial de 12 metros.

Derivado do MDE ALOS PALSAR também foi obtido os dados de declividade, seguindo a classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). A aplicação do grau de susceptibilidade para este fator segue a lógica de que as áreas com maior grau de inclinação são menos susceptíveis a inundações ao passo que favorecem o processo de escoamento superficial a percolação. Já as áreas com menor inclinação favorecem o acúmulo de água em períodos chuvosos.

O fator uso e ocupação do solo foi classificado em quatro classes conforme a tabela 1. Os dados de uso do solo foram obtidos do projeto MAPBIOMAS, com a ferramenta do *Google Earth Engine*. O MapBiomass é um projeto colaborativo que reúne organizações da sociedade civil, universidades, empresas de tecnologia e agências governamentais. Embora o foco principal seja a área continental brasileira, a iniciativa está se expandindo gradualmente para outros países da América Latina e Ásia. O principal propósito desses mapas é fornecer estimativas mais precisas das emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao uso do solo. Para alcançar esse objetivo, o MapBiomass utiliza o conhecimento local específico de cada bioma mapeado pela iniciativa, bem como a vasta coleção de imagens e a capacidade de processamento de alto desempenho fornecidas pelo *Google Earth Engine*. As classes com maior grau de susceptibilidade foram a hidrografia e as áreas não vegetadas. As áreas não vegetadas (em sua maioria áreas urbanizadas) dificultam o processo de infiltração da água no solo e quando associadas a baixas altitudes e planas potencializam a ocorrência de inundações. Em contrapartida áreas vegetadas favorecem a infiltração de água no solo, minimizam o potencial de ocorrência de inundações.

O fator solo recebeu o menor peso muito em função da baixa diversidade no contexto da área de estudo. Logo se constatou que a classe dos nitossolos háplicos eutróficos estão associados a áreas mais íngremes e em cotas altimétricas mais elevadas, tendo assim menor grau de susceptibilidade. A classe dos

nitossolos háplicos distróficos recebeu maior grau de susceptibilidade por estar sobrepostos às áreas mais planas e com cotas altimétricas baixas. A base de dados de solo utilizada foi da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), entidade que faz parte do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA), com escala de 1:500000.

Logo para a obtenção do mapa de susceptibilidade a inundações foi aplicada a equação 1, com o auxílio da ferramenta “Calculadora *Raster*”, do programa “*Qgis 3.26.1*”.

Equação 1

$$\text{Susceptibilidade a inundações} = (0.5650 \times \text{Altitude}) + (0.2622 \times \text{Uso e ocupação do solo}) + (0.1175 \times \text{Declividade}) + (0.0553 \times \text{Classe de solo})$$

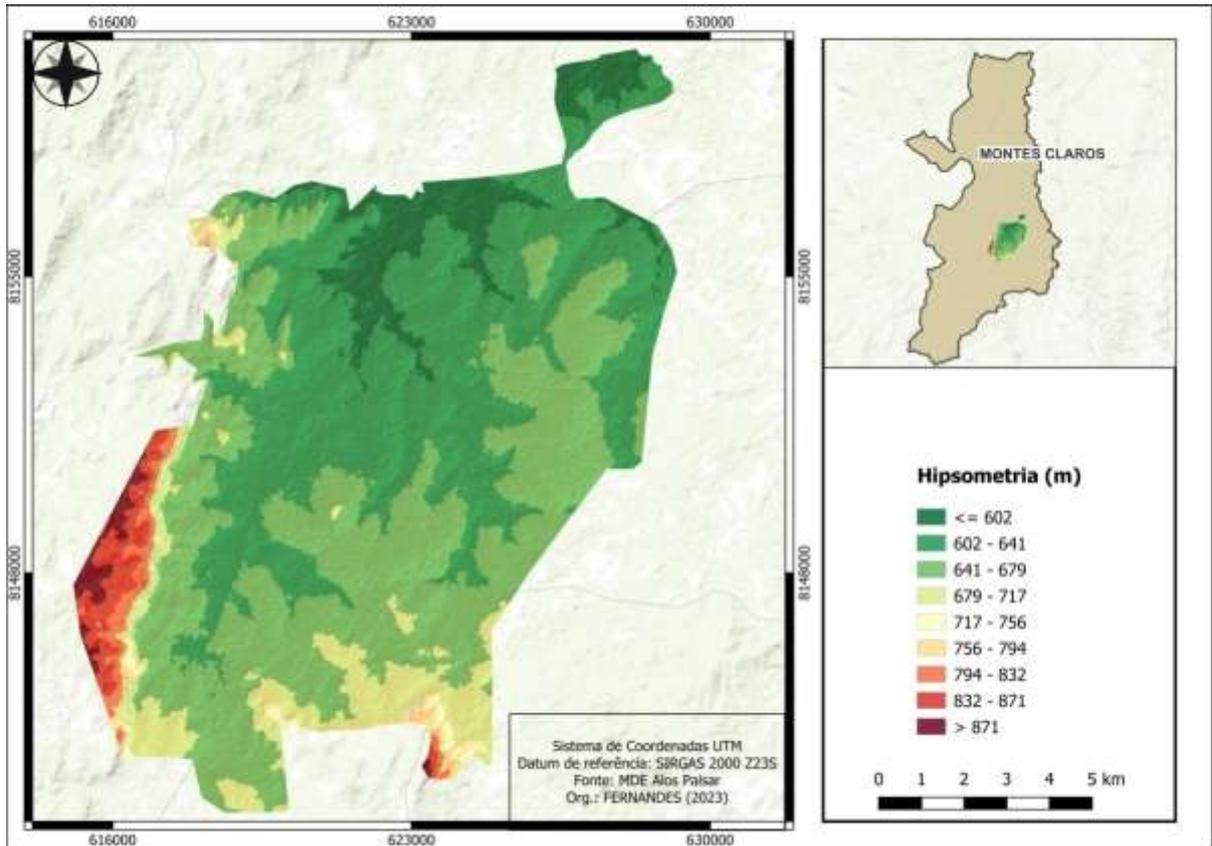
Após a aplicação da equação o mapa final foi reclassificado em cinco classes, com os valores variando de 1 a 10, em que os valores próximos de 1 equivalem as áreas com baixíssima probabilidade de inundações e os valores próximos a 10 são as áreas com altíssima susceptibilidade a inundações.

Além da aplicação do modelo matemático, também foi utilizado como instrumentos da pesquisa uma base de dados com as ocorrências de inundações na cidade de Montes Claros entre 2011 e 2018, disponibilizada pelo 7º batalhão do corpo de bombeiros de Montes Claros - 7º BBM. Para maior aprofundamento na temática utilizou-se também como fonte de pesquisa notícias e reportagens sobre eventos de inundações na cidade.

Resultados

O primeiro produto obtido foi o dado acerca da hipsometria da área de estudo, que pode ser observado na figura 2. Através do mapa constata-se que a altitude do terreno varia entre 564 e 909 metros, conforme o MDE AlosPalsar. Nota-se que a maior parte da área de estudo compreende as cotas altimétricas entre 564 e 638 metros, em geral estas cotas representa demasiado grau de susceptibilidade a inundações conforme aponta a bibliografia, como por exemplo, Kang et al. (2013), Rudari et al. (2014) e Oliveira et al. (2004).

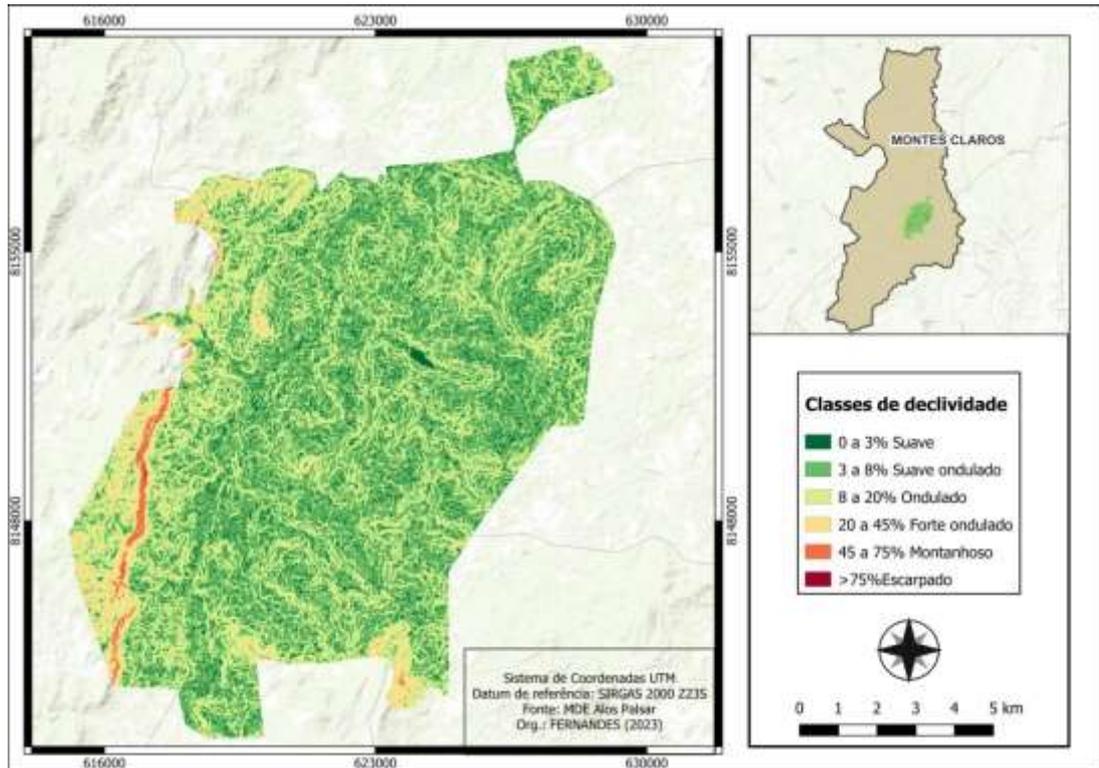
Figura 2: Mapa Hipsométrico



Fonte: Autores

Outro produto derivado do MDE foi a declividade do relevo, a qual foi classificada conforme os critérios da EMBRAPA. Neste sentido na área de estudo constata-se que grande parte do relevo é classificado como suave ondulado e ondulado, entre as classes de 3 a 8% e 8 a 20% de inclinação, respectivamente. Contudo é possível áreas com alto índice de inclinação (Forte ondulado e montanhoso), principalmente na extremidade oeste do perímetro urbano. No geral essas áreas mais inclinadas são menos susceptíveis a inundações ao passo que favorecem o escoamento superficial.

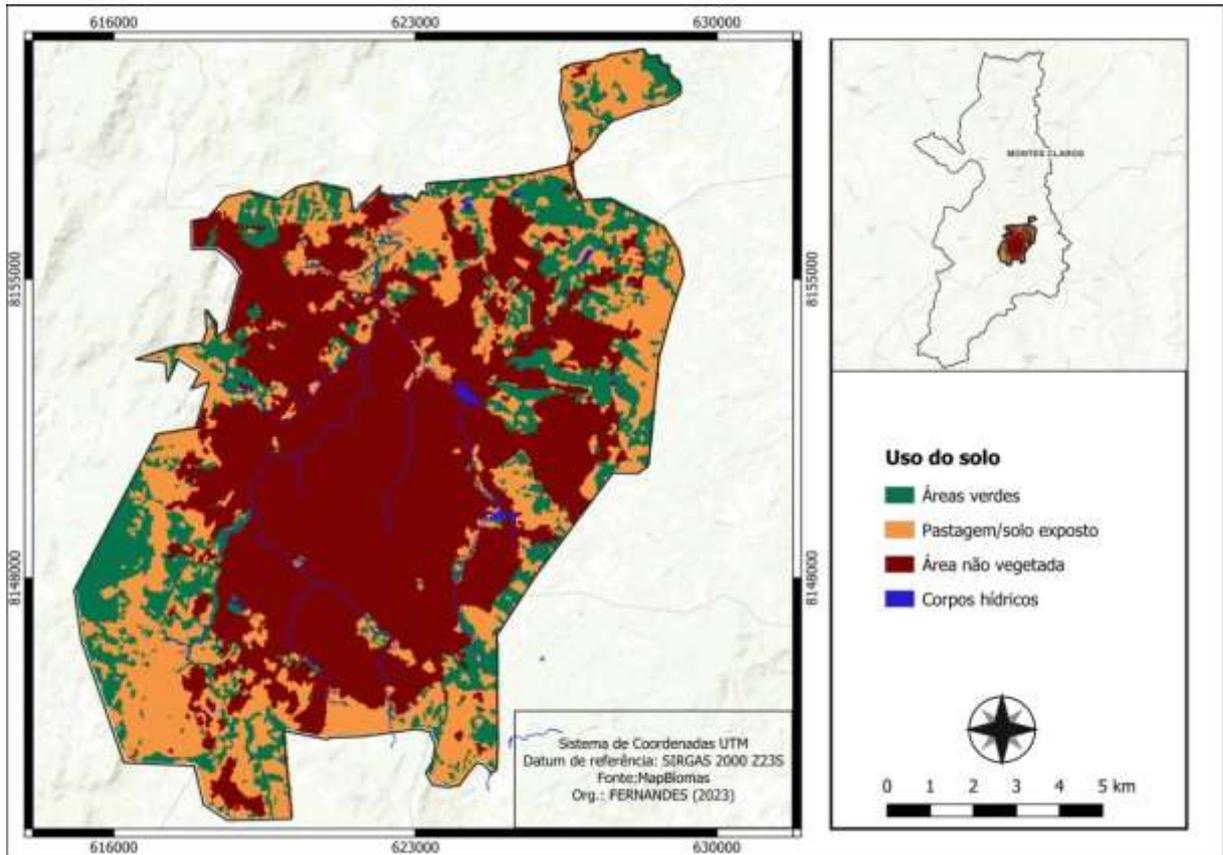
Figura 3: Mapa de Declividade



Fonte: Autores

Através do MapBiomas foi obtido a classificação de uso e ocupação do solo (Figura 4), ao analisar este terceiro produto depreende-se que a grande parte da área é de ocupação de áreas não vegetadas, geralmente de uso urbano, o que potencializa os fenômenos de inundações, ademais áreas urbanizadas apresentam grande adensamento populacional, representando uma preocupação a mais, devido a exposição da população a este risco. Outro uso significativo são as áreas de pastagem/solo exposto, que também são potencialmente inundáveis. Já as áreas verdes que atuam mitigando as inundações (REIS *et al.*, 2012), estão mais presentes apenas nas bordas do perímetro urbano. A ocorrência deste perfil de uso ao longo do perímetro urbano poderia mitigar a ocorrência de inundações.

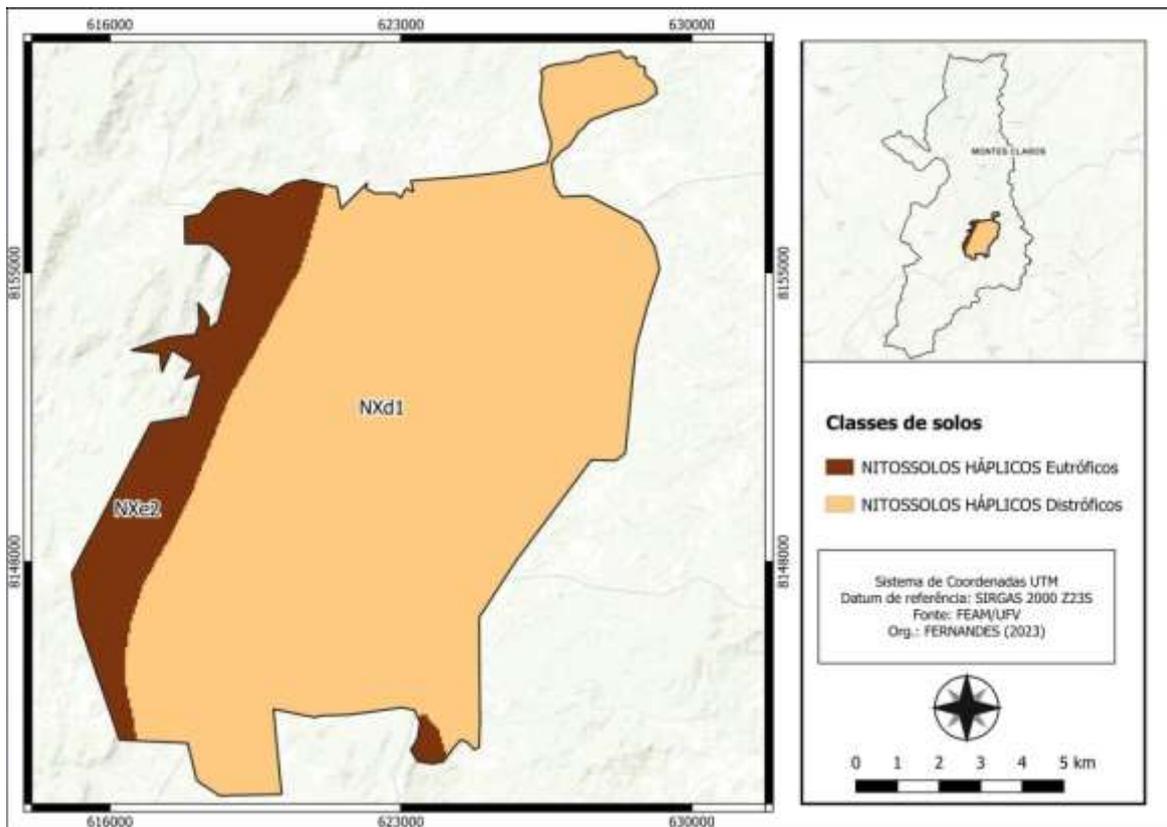
Figura 4: Mapa de uso e ocupação do solo



Fonte: Autores

O mapa pedológico da área de estudo apontou a ocorrência de apenas dois perfis de solo, conforme observado na figura 5. Este fator foi o que teve menor influência na determinação dos pesos para a matriz de decisão. O critério estabelecido acentua-se no fato de que, os nitossolos háplicos eutróficos estão localizados em áreas íngremes e alta declividade, corroborando com o critério utilizado no fator declividade, estas áreas são pouco propensas à ocorrência de inundações, por serem áreas com grande escoamento superficial. A maior parte da área compreende o perfil dos nitossolos háplicos distróficos, que estão associados a áreas com menor declividade.

Figura 5: Mapa pedológico



Fonte: Autores

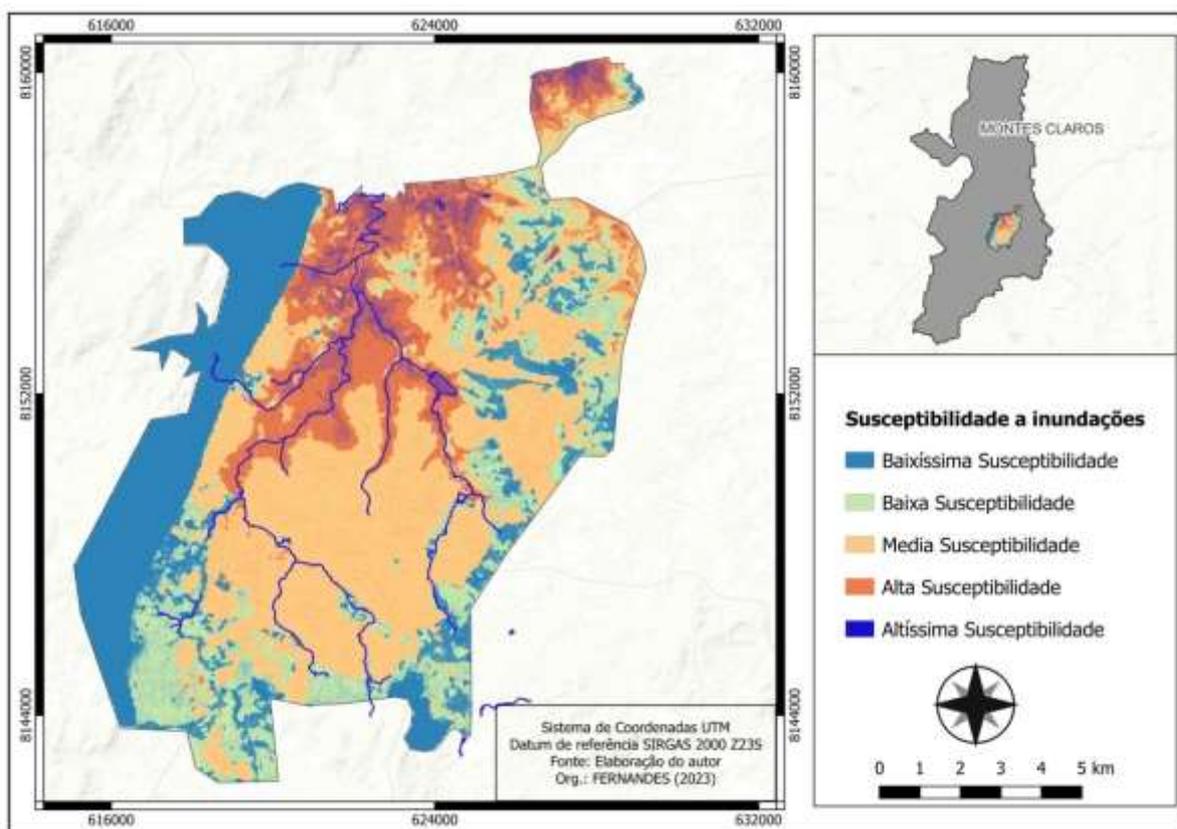
Com os quatros produtos anteriores (hypsometria, declividade, uso do solo e classes de solo) foi aplicada a equação 1 para determinar as áreas com maior susceptibilidade a inundações na cidade de Montes Claros. Como resultado obteve-se o mapa da figura 6 em que são representadas em cinco classes as áreas com maior e menor susceptibilidade a inundações.

Através da análise do mapa é possível observar a presença de grandes áreas com alta susceptibilidade, em geral nas áreas próximas a rede de drenagem, já as áreas com altíssima susceptibilidade estão associadas aos limites da rede de drenagem. Nos locais com média susceptibilidade representam áreas que podem ser inundadas em eventos esporádicos de grande índice de pluviosidade ocorridos em pequeno espaço de tempo.

Na borda lateral oeste do perímetro urbano localiza-se as áreas em que temos a menor possibilidade de ocorrência de inundações em virtude desta área apresentar as maiores altitudes, alto grau de inclinação relevo e pouca presença de uso urbano e

ausência de rede de drenagem. Em contrapartida a metodologia aplicada destacou como mais propensas a inundações as áreas em que se sobreponham baixas altitudes; relevo suave ou suave ondulado; presença de corpos hídricos e áreas não vegetadas.

Figura 6: Susceptibilidade a inundações em Montes Claros

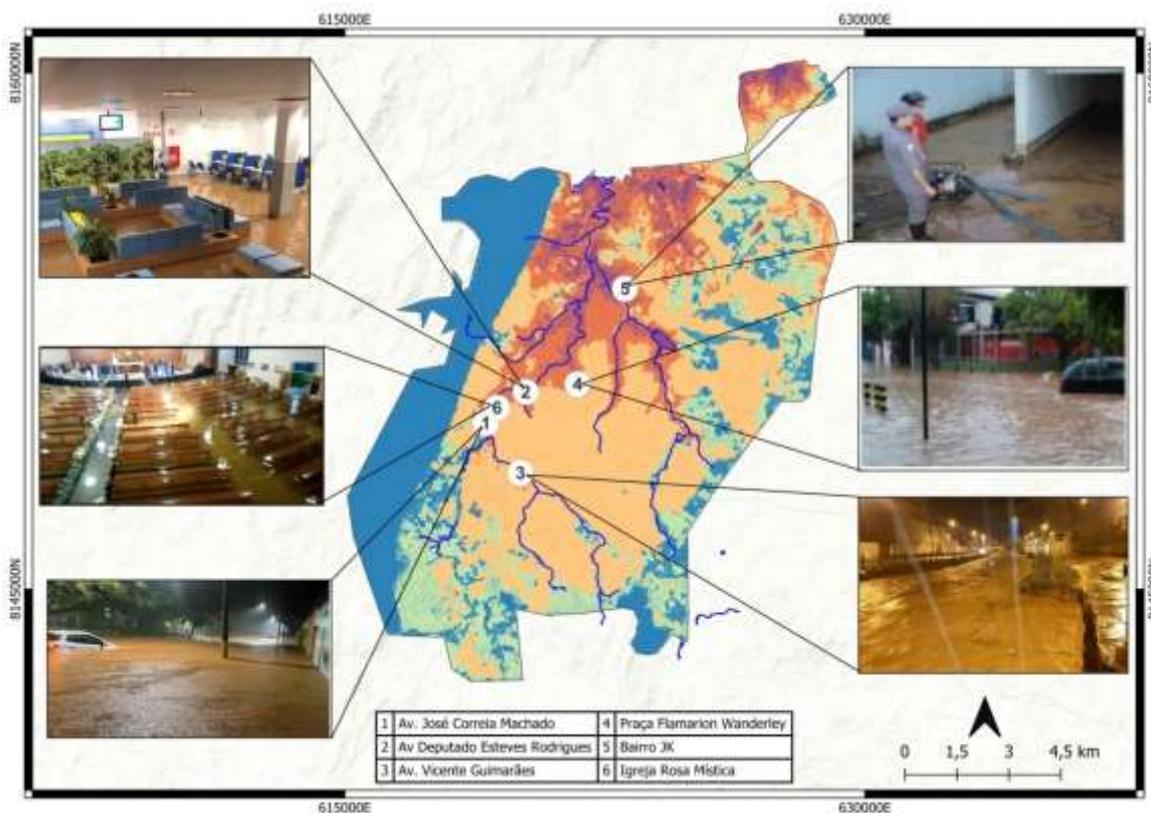


Fonte: Autores

A base de dados do 7º BBM mostrou que foram registrados entre 2011 e 2018, 363 ocorrências de inundações na cidade de Montes Claros. Os bairros com maior quantidade de ocorrências foram Juscelino Kubitschek (67); Planalto (28); Monte Carmelo (24) e Santa Rita (23). Outras áreas que frequentemente são inundadas em períodos de alta pluviosidade, como observado nos noticiários não apresenta grande quantidade de ocorrência conforme a base de dados do corpo de bombeiros, mas também estão imersas em áreas de alta e altíssima susceptibilidade.

O mapa da figura 7 mostra uma relação de ocorrência de inundações em Montes Claros em diferentes pontos da cidade e que se associam a áreas classificadas como alta e altíssima susceptibilidade.

Figura 7: Ocorrência de inundações na cidade de Montes Claros-MG



Fonte: Autores

O ponto 1 na Avenida José Correia Machado vem frequentemente sendo noticiado com a ocorrência de inundações, a área é limítrofe a um curso fluvial que foi canalizado e retificado com a construção de uma avenida, o que pode ter potencializado a ocorrência de inundações na área. De acordo com a base de dados do Corpo de Bombeiros a área se encontra no bairro Ibituruna em que foram registradas 5 ocorrências de inundações. Em área próxima e com contexto similar situa-se o ponto 6 destacado no mapa, no qual em 13/12/2021 a igreja Católica Rosa Mística foi alvo de inundações, tanto o evento retratado pelas imagens dos pontos 1 e 6 foram registrados neste mesmo dia.

O ponto 2 situa-se na avenida Deputado Esteves Rodrigues local em que diversas ocorrências de inundações foram noticiadas. O local apresenta grande diversidade de

estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços, o que implica diversos danos para a economia da cidade quando este ponto é acometido por processos de inundações. A imagem do ponto 2 exemplifica esta situação ao mostrar os impactos de uma inundação que atingiu a região central da cidade em 08/02/2017, o bairro Centro, segundo base do 7º BBM contabiliza 15 ocorrências de inundações. No mesmo dia no bairro Santa Rita uma garota de 9 anos de idade foi arrastada pela água da chuva, sendo salva por moradores do bairro que perceberam a situação.

O ponto 3 presente na Avenida Vicente Guimarães no bairro Canelas (7 ocorrências), ocorrida no dia 07/01/2020, neste mesmo dia foram 13 ocorrências de inundação em diversas áreas da cidade. Recentemente a Prefeitura Municipal de Montes Claros realizou uma série de obras no local a fim de mitigar este tipo de evento no local. O ponto 4 refere-se a Praça Flamarion Wanderley, situada no bairro São José, de acordo com o corpo de bombeiros foram registradas 3 ocorrências no local. A região também é importante para a população visto que abriga uma série de estabelecimentos de comércio e prestação de serviços, assim como a praça é utilizada para o lazer e realização de uma tradicional feira do bairro.

O ponto 5 mostra uma casa atingida por inundação no bairro com maior incidência destes eventos, segundo o corpo de bombeiros, o bairro Juscelino Kubitschek (67). Este bairro é próximo ao Planalto, segundo com maior ocorrência de inundações (28). Ambos foram identificados pelo modelo com áreas de alta e altíssima susceptibilidade a inundações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Logo com base na bibliografia utilizada e no contexto da cidade de Montes Claros fica evidente os impactos danosos que as inundações provocam. As inundações em áreas urbanas podem ter um impacto significativo em diversos aspectos. Esses eventos podem causar danos extensos às propriedades urbanas, incluindo residências, edifícios comerciais e infraestrutura pública. A água pode destruir estruturas, equipamentos e móveis, resultando em perdas financeiras substanciais. Podem também representar

riscos à segurança das pessoas. O rápido aumento do nível da água pode levar a situações de afogamento e colocar em perigo aqueles que não conseguem sair de áreas inundadas, como o caso citado no texto. Além disso, podem causar deslizamentos de terra e danificar estruturas, aumentando o risco de lesões e até mesmo mortes. Vale ressaltar ainda o impacto econômico, ao passo que empresas podem sofrer perdas financeiras devido a danos às instalações, interrupção da produção e perda de estoques.

O mapeamento e delimitação das áreas susceptíveis constitui-se em um grande aliado para a elaboração de planos estratégicos de prevenção a estes desastres. Ter essas áreas mapeadas contribui para os órgãos estatais planejarem políticas voltadas para mitigar a ocorrência de inundações (como por exemplo obras de melhoria da drenagem urbana), tal como campanhas de conscientização da população residente nestas áreas de como agir em ocasiões extremas.

A aplicação do método de análise multicritério foi satisfatório, ao passo que apresentou com boa exatidão áreas que historicamente são inundadas em períodos de alta pluviosidade. Contudo é importante ressaltar que outras variáveis podem ser incorporadas neste ou em outros modelos para melhor compreensão deste fenômeno. Outros estudos podem complementar o entendimento destes fenômenos, como por exemplo a análise de vulnerabilidade social das populações em áreas de risco, e melhorar a tomada de decisão antes, durante e após ocorrência de inundações.

REFERÊNCIAS

BRAGA, Salatiel Ewen et al. Aplicação da Análise Hierárquica para mapeamento de risco de inundação: O caso no município de Limoeiro (Pernambuco-Brasil). **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 1, 2020.

COELHO, André Luis Nascentes. Método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundação urbana após evento de chuva concentrado. **Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, n. 20, p. 183-199, 2017.

CUNHA, Lúcio. Vulnerabilidade: a face menos visível do estudo dos riscos naturais. **LOURENÇO, L; MATEUS, M. Riscos naturais, antrópicos e mistos. Homenagem ao Professor Fernando Rebelo. Coimbra**, p. 153-165, 2013.

FERNANDES, Januário Chirieleison et al. Análise multicritério com uso da ahp para avaliação temporal na vulnerabilidade ambiental: estudo de caso na bacia hidrográfica

do uberabinha, mg. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 141-158, 2019.

FUJIMOTO, Nina S. V. M. Implicações ambientais na área metropolitana de Porto Alegre - RS: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana. **Geosp - Espaço e Tempo**, São Paulo, n.12, p. 141-177, 2002.

IBGE. Censo Demográfico de 2010, Características da População e dos Domicílios. Resultados do Universo. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/resultados_do_universo.pdf . Acesso em: Março de 2023.

KANG, M.S.; GOO, J.H.; SONG, I.; CHUN, J.A.; HER, Y.G.; HWANG, S.W.; PARK, S.W. Estimatingdesingfloodsbasedonthecriticalstormduration for smallwatersheds. **Journalof Hydro-environmentResearch**, v. 7, p. 209-218, 2013.

MAGALHÃES, Ivo Lopes et al. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, p. 63-70, 2011.

MULER, M.; BONETTI, J. Variação da Suscetibilidade e Vulnerabilidade à ação de perigos costeiros na praia dos ingleses (Florianópolis-SC) entre 1957 e 2009. In: **XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do quaternário ABEQUA**, Rio de Janeiro. 2011.

NIMER, Edmon; BRANDÃO, Ana Maria. **Balanço hídrico e clima da região dos cerrados**. Secretaria de Planejamento e Coordenação da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M.S.; CURTI, N.; RESCK, D.V.S. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após 20 anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 335-344, 2004.

PEREIRA, Marina. **Moradores se unem para limpar casas invadidas pela chuva no JK**. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/grande-minas/noticia/2013/01/moradores-se-unem-para-limpar-casas-invadidas-pela-chuva-no-jk.html>. Acesso em: 12 jul. 2023.

PEREIRA, Marina. **Forte chuva provoca alagamentos e derruba árvore em Montes Claros, no Norte de Minas**. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/grande-minas/noticia/2020/01/07/forte-chuva-provoca-alagamentos-e-derruba-arvore-em-montes-claros-no-norte-de-minas.ghtml>. Acesso em: 12 jul. 2023.

R7.COM. **Chuva forte inunda Montes Claros (MG), derruba casa e deixa moradores ilhados**. 21 jan. 2016. Disponível em: <https://noticias.r7.com/minas-gerais/chuva-forte-inunda-montes-claros-mg-derruba-casa-e-deixa-moradores-ilhados-21012016>. Acesso em: 11 jul. 2023.

REIS, Patrícia Elizamma et al. O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: Estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, bacia do Ribeirão Arrudas. **Geociências**, v. 31, n. 1, p. 31-46, 2012.

RIBEIRO, Luiz. **Temporal em Montes Claros causa morte e alaga igreja durante casamento**. 24 dez. 2021. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/12/24/interna_gerais,1333560/temporal-em-montes-claros-causa-morte-e-alaga-igreja-durante-casamento.shtml. Acesso em: 12 jul. 2023.

RUDARI, R.; GABELLANI, S.; DELOGU, F. A simple model to map areas prone to surface waterflooding. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 10, p. 428-441, 2014.

SAATY, T. L. Scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, San Diego, CA, v. 15, p. 234-281, 1977.

SAITO, S. **Estudo analítico da suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no maciço central de Florianópolis-SC**. Dissertação (Mestrado) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, p. 132. 2004

VALE, João Henrique do. **Criança é arrastada por enxurrada em Montes Claros; veja o vídeo**. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/02/08/interna_gerais,846033/crianca-e-arrastada-por-enxurrada-em-montes-claros-veja-o-video.shtml. Acesso em: 12 jul. 2023.

VIEGAS, Fernanda. **Bombeiros registram 14 inundações durante forte chuva em Montes Claros | O TEMPO**. 27 nov. 2013. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/bombeiros-registram-14-inundacoes-durante-forte-chuva-em-montes-claros-1.752153>. Acesso em: 11 jul. 2023.

João Vitor Ferreira Fernandes - Graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES). Mestrando do Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGEO-UNIMONTES). Bolsista da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ricardo Henrique Palhares - Professor permanente do Departamento de Geociências e do Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGEO/ Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES. Bacharel licenciado em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2004). Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial - PUC Minas (Bolsista CNPq, 2010). Doutor em Geografia - PUC Minas (Bolsista CAPES, 2018).

Recebido para publicação em 22 de agosto de 2023.

Aceito para publicação em 24 de outubro de 2023.

Publicado em 30 de março de 2024.