

Comparação Entre Área Inundável Obtida por Análise Geomorfológica e Simulação no Modelo Hand: Estudo de Caso Para o Município de Muriaé, MG

Clívia Dias Coelho¹; Leandro Antônio Roque²; Leonardo Andrade de Souza³; Eduardo Antônio Gomes Marques⁴; & Rafael Petruceli Coelho Lima⁵

Resumo: As inundações são um problema em todo o mundo e estão se tornando mais significativas e graves a cada ano, se destacando pela amplitude dos impactos sobre o espaço construído e, conseqüentemente, na vida da população. Por isso, é importante modelar e prever a extensão das inundações, o que constitui uma informação crítica para a atenuação das mesmas e para a preparação dos esforços de planejamento e resposta. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar e comparar o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação pelos métodos de análise geomorfológica e por simulação do modelo HAND, tendo como estudo de caso a área urbana do município de Muriaé (MG). As manchas de inundação foram comparadas através da área inundada e da contagem de residências atingidas por cada uma das manchas. As manchas geradas pelos modelos geomorfológico e HAND ocuparam áreas de inundação muito próximas, de 2,4 km² e 2,3 km², respectivamente. O número de casas atingidas pelas duas manchas também foi muito similar, de 2387 casas no modelo geomorfológico e de 2136 casas no modelo HAND. Concluiu-se, portanto, que os dois modelos geram resultados muito próximos de área inundável no município. Considera-se que dados topográficos com resolução espacial maior poderão gerar simulações mais precisas.

Palavras-Chave: HAND; Inundação; NASADEM; Modelagem.

Abstract: Flooding is a problem all over the world and is becoming more significant and serious every year. They are notable for the extent of their impact on the built environment and, consequently, on people's lives. It is therefore important to model and predict the extent of flooding, which is a critical information for flood mitigation and for planning and response efforts. Motivated by this problem, the aim of this study was to evaluate and compare the mapping of areas susceptible to flooding using geomorphological analysis method and HAND model simulation, for the urban area of the municipality of Muriaé (MG) as a case study. The flood maps were compared using the area flooded and the count of homes affected by each map. The maps generated by the geomorphological and HAND models occupied very close flood areas of 2.4 km² and 2.3 km², respectively. The number of houses affected by the two maps was also very similar, 2387 houses in the geomorphological model and 2136 houses in the HAND model. It was therefore concluded that the two models generate very close results for the flooded area in the municipality, and that topographical data with a higher spatial resolution could generate more accurate simulations.

Keywords: HAND; Flood, NASADEM, Modelling.

INTRODUÇÃO

As inundações são uma parte natural do ciclo hidrológico. No entanto, elas estão entre as catástrofes com maior poder de destruição e com o potencial de criar um impacto altamente negativo nas populações em termos de fatalidades, ferimentos, deslocamento de pessoas e danos a infraestruturas, patrimônios culturais e ambientais e atividades econômicas (CREDUNDRR, 2020).

¹ Universidade Federal de São João Del-Rei, Rod. MG 443, Km 7 - Fazenda do Cadete, Ouro Branco, MG 36495-000, clivia.coelho@ufsj.edu.br

² Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900, leandroroque1@hotmail.com

³ Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900, leonardo@zemlya.com.br

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900, emarques@ufv.br

⁵ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, Fazenda do Meio Pé da Serra, s/nº, BR 367, Km 278, Araçuaí, MG, 39600-000, petruceli@ifnmg.edu.br



Além disso, algumas atividades humanas contribuem para um aumento da probabilidade de ocorrência de inundações e de seus impactos negativos. Alguns efeitos antropogênicos, como a impermeabilização dos solos, podem causar a limitação das capacidades naturais de retenção e de transformação das bacias hidrográficas, o que potencializa a ocorrência dos eventos de inundação (Reis e Schmidt, 2017).

O mapeamento das áreas inundáveis permite o zoneamento das planícies de inundação, que são mapas gerados com base em cotas conhecidas de inundação na região ou com base em cheias de projeto, associadas a tempos de retorno. A partir dos mapas de limite da inundação, a área de restrição a ocupação pode ser determinada simplesmente pela consideração de uma cota segura, ou através da delimitação de uma zona de passagem da cheia (Larentis et al. 2020).

No trato da cartografia de suscetibilidade, os métodos heurísticos/qualitativos, como a análise morfológica, são utilizados com sucesso na espacialização de riscos a inundações e enchentes (Silva et al., 2018). Segundo Dramis e Bisci (1998), os mapas geomorfológicos são entendidos como o resultado do processo de representação das formas, depósitos e processos geomorfológicos e, quando realizados em escala de detalhe, são importantes documentos de base para estudos aplicados, tal como a delimitação de áreas de inundação e, como consequência, do perigo a elas associado.

Em regiões com escassez de dados, a modelagem de menor complexidade pode ser uma alternativa para a simulação de manchas de inundação, como é o caso do modelo HAND (Hu and Demir, 2021). A formulação matemática do HAND é relativamente simples, e consiste em determinar a diferença da cota de cada ponto do terreno em relação à drenagem mais próxima, utilizando dados de modelos digitais do terreno (MDT). Com base nessa informação, é possível delimitar áreas sujeitas à inundação, bem como estimar a extensão e profundidade da água em caso de eventos de inundações (Nobre et al., 2011; Mengue, et al. 2016).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação pelos métodos de análise geomorfológica, utilizando mapas geomorfológicos, e por simulação do modelo HAND, utilizando um MDT com remoção de viés causado pela vegetação, tendo como estudo de caso o município de Muriaé, localizado na Zona da Mata, em Minas Gerais.

MÉTODOS

Área de Estudo

O município de Muriaé está localizado na zona da mata mineira, na região sudeste do Brasil, e possui área territorial de 841,69 km² e população de 104,11 mil habitantes (IBGE, 2022; CENSO, 2022). A sua área urbana está situada às margens das rodovias BR-116 e BR-393. A área de estudo do presente trabalho compreende aproximadamente 3.344,12 ha do perímetro urbano do município, como apresentado na Figura 1. O município de Muriaé está totalmente inserido na bacia do rio Paraíba do Sul e os principais cursos d'água que cortam o município são os rios Muriaé (afluente do rio Paraíba do Sul) e Glória (afluente do Muriaé).

Análise Geomorfológica

A análise geomorfológica é um método qualitativo baseado, principalmente, na experiência de campo dos técnicos, a partir da combinação de diferentes mapas e dados referentes a diversos parâmetros importantes para a caracterização dos terrenos e definição das áreas de atingimento de cheias. Assim, o primeiro procedimento para o mapeamento das áreas inundáveis foi baseado na cartografia das planícies aluvionares da área de estudo, na caracterização morfométrica da bacia, no histórico de áreas de atingimento das inundações a partir dos registros de Defesa Civil e Corpo de

Bombeiros e, principalmente, em trabalhos envolvendo o reconhecimento em campo das áreas suscetíveis à inundação. O resultado obtido com este procedimento pode ser visualizado na Figura 2.

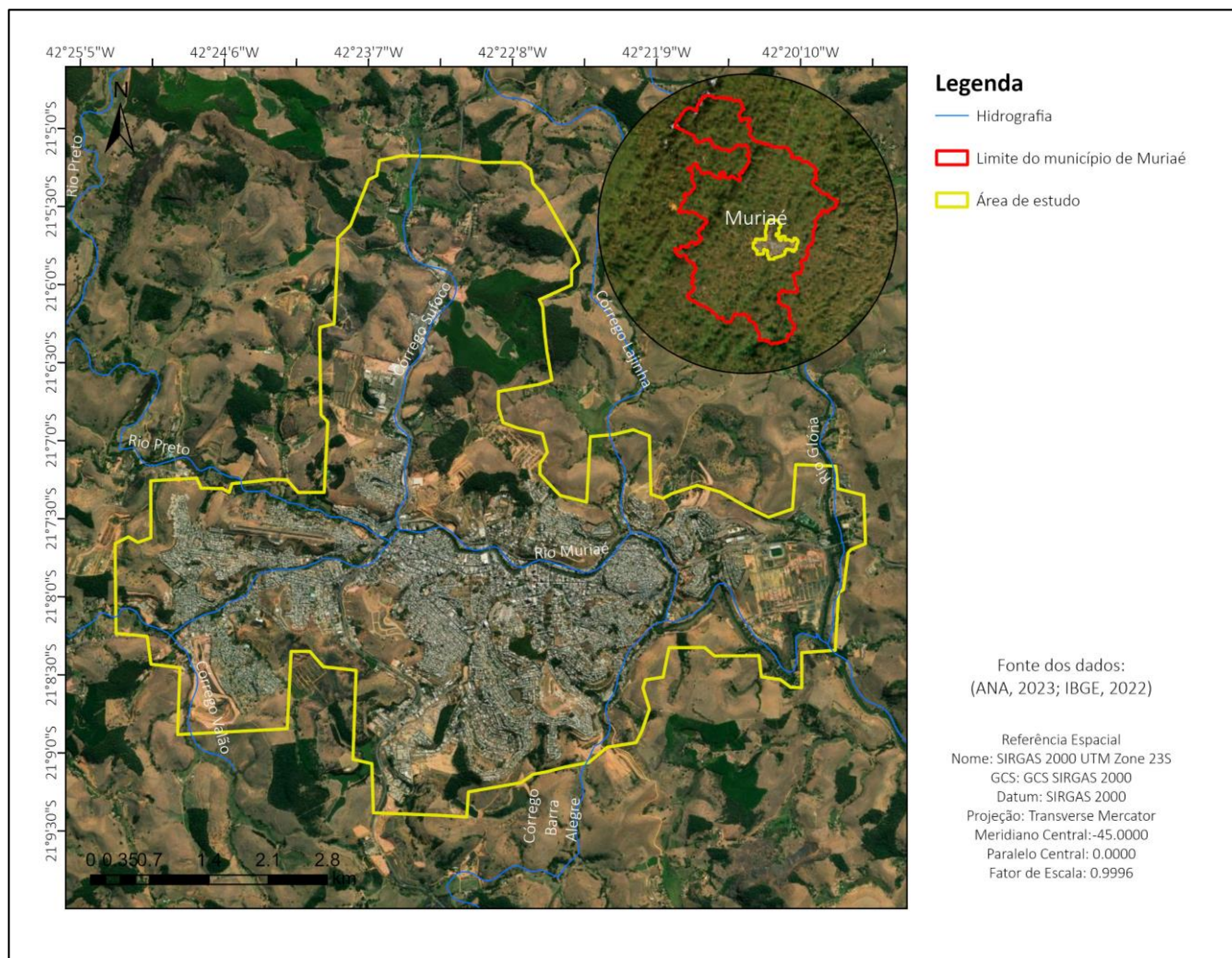


Figura 1 – Limite da área de estudo para fins de mapeamento da suscetibilidade à inundação.

Simulação no HAND

O mapeamento das áreas inundáveis através de modelagem hidrológica teve por base o emprego do modelo HAND, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este modelo possibilita a geração de simulações de cotas de inundações através de dados topográficos em formato matricial, como MDT, resultando no mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação, fundamentando-se na distância vertical à drenagem mais próxima (Nobre et al., 2015).

Neste trabalho foi utilizado como dado de entrada o ANADEM, modelo digital do terreno (MDT), desenvolvido com remoção de viés causado pela vegetação no modelo digital de elevação (MDE) Copernicus GLO-30, com resolução espacial de 30 metros, e disponível para toda a América do Sul, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através de termo de cooperação (Laipelt, et al. 2023).

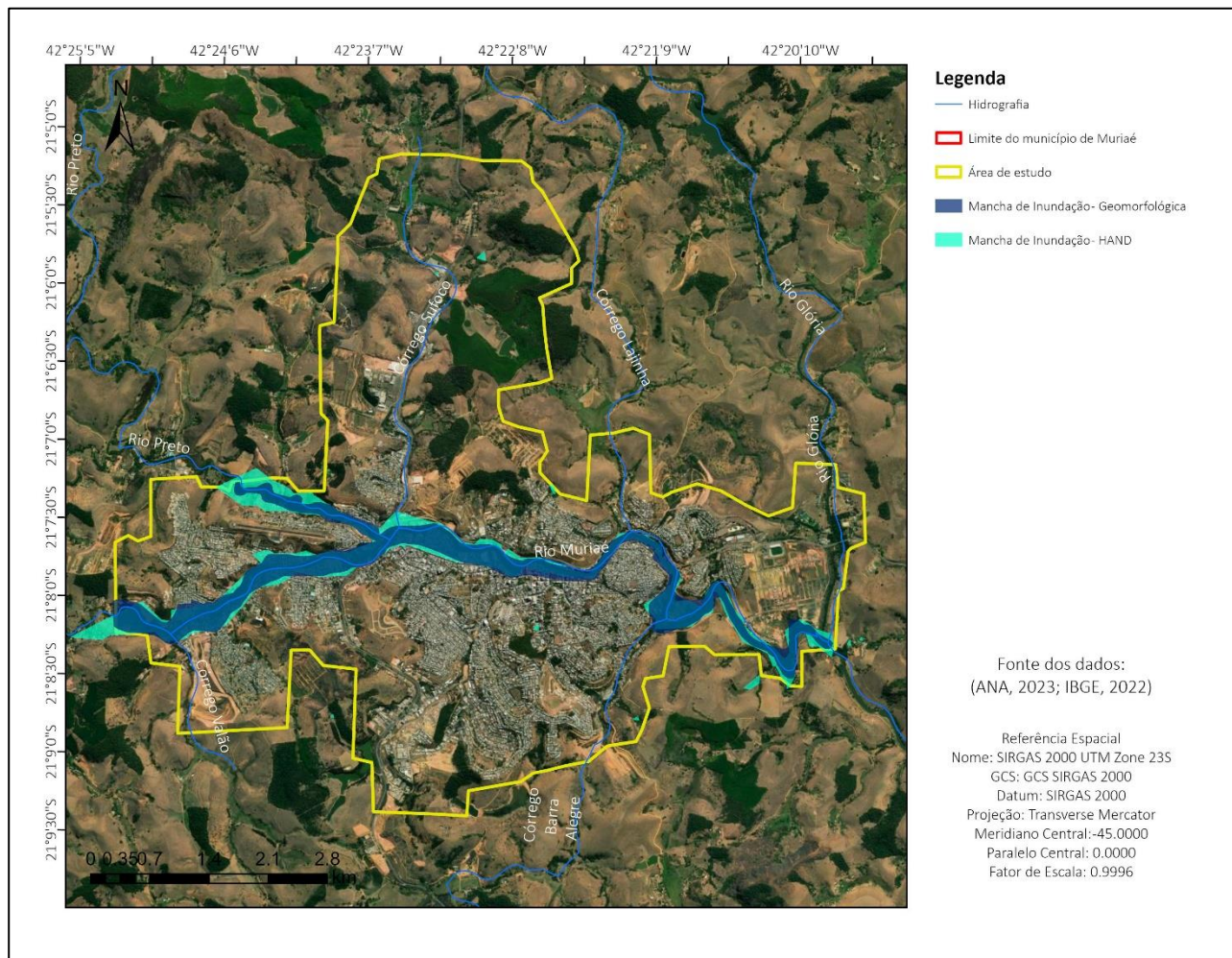


Figura 2 – Mapeamento da suscetibilidade à inundação para o município de Muriaé (MG).

Para regularizar as imperfeições do MDT utilizou-se a rotina de regularização da drenagem Breaching, presente no HAND, que corrige as imperfeições do dado topográfico, tais como a presença de sumidouros. O valor do limiar (threshold), parâmetro para geração da rede de drenagem, foi testado para os valores de 500, 1000, e 1500 pixels, sendo que os melhores resultados foram obtidos para o limiar de 500 pixels. O valor do limiar é uma contagem do número de pixels cujos fluxos da drenagem convergem para um pixel considerado. Seu valor modifica alguns parâmetros, como a densidade de drenagem da área de estudo.

Ao final do processamento, a profundidade máxima de inundação foi definida com base no histórico de inundação do município e nos níveis de atingimento verificados em campo, sendo definida como 8,0 m. Esse valor foi utilizado para gerar a mancha de áreas com alta suscetibilidade à inundação na área de estudo, que engloba a maior parte da área urbana, do município de Muriaé. Por fim, a mancha de inundação foi recortada para considerar apenas as áreas inundadas ao redor do rio principal (Rio Muriaé) para tornar compatível a comparação com o resultado gerado pelo modelo geomorfológico.

Comparação entre os mapas de inundação

Para comparação dos resultados obtidos foi utilizado o software Arcgis Pro® e a ferramenta Intersect, a fim de calcular e visualizar as áreas de concordância entre os mapas gerados através da

análise geomorfológica e da simulação no HAND. Para complementar, foi feita a contagem de residências atingidas por cada uma das manchas de forma manual, com o auxílio de uma ortofoto da área urbana edificada do município de Muriaé, obtida utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT) equipado com câmera de alta resolução para o registro fotográfico e sistema de posicionamento global (GPS) com resolução espacial de 15 cm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificado que a simulação através do modelo HAND, utilizando imagens ANADEM, gerou um mapeamento das áreas inundáveis muito próximo visualmente daquele obtido através do método de análise geomorfológica, para o município de Muriaé, MG. Ambos os mapeamentos criaram manchas com larguras em torno de 200 metros ao redor do rio Muriaé, curso d'água principal, que corta a maior parte do município (Figura 2).

A mancha de inundação gerada pelo modelo HAND ocupou uma área de 2,4 km², enquanto a mancha gerada pelo modelo geomorfológico ocupou uma área correspondente a 2,3 km². A área de sobreposição entre as duas manchas simuladas foi de 2,0 km², o que representa 83% do mapa obtido pelo modelo HAND e 87% do mapa obtido pela análise geomorfológica. Já o número de casas atingidas na mancha de inundação gerada pelo HAND foi de 2.136 casas, enquanto na mancha gerada pelo modelo geomorfológico foi de 2.387 casas, com uma diferença de aproximadamente 10%. Percebe-se, portanto, que os dois modelos apresentam resultados muito próximos de área inundada para o Município em estudo.

Deve-se ressaltar que o modelo digital de elevação empregado na simulação do modelo HAND impõe limitações à simulação da mancha de inundação devido à sua baixa resolução espacial (30 metros), o que prejudica a delimitação dos cursos d'água e do relevo. Este método possui ainda uma limitação relacionada ao fato de a cota máxima de inundação estar atrelada a algum ponto conhecido de inundação, observado em campo. Isso torna os resultados do modelo HAND dependentes de outros dados ou mapas pré-existentes, o que pode justificar, nesse estudo, o resultado similar ao obtido pelo modelo geomorfológico.

Além disso, tanto a simulação no HAND como a simulação geomorfológica não consideram elementos de drenagem urbana, cujo funcionamento está diretamente ligado à ocorrência de eventos de inundação nas áreas urbanas dos municípios, demonstrando outra limitação de ambos os métodos. Porém, é possível afirmar que, quando a análise geomorfológica é feita na escala de detalhe considerando a cartografia da planície aluvionar, como no caso do presente estudo, o resultado obtido é satisfatório, desde que não existam a montante da área ocupada estruturas de regularização de vazão.

CONCLUSÃO

Neste estudo foram avaliadas e comparadas duas manchas de inundação, geradas pelos métodos de análise geomorfológica e simulação através do modelo HAND, tendo como estudo de caso o município de Muriaé, em Minas Gerais.

Foi verificado que a simulação através do modelo HAND, utilizando imagens ANADEM, gerou um mapeamento das áreas inundáveis próximo aquele obtido através do método de análise geomorfológica, para o município de Muriaé, MG. A área de sobreposição entre as duas manchas simuladas foi acima de 80% e a diferença no número de casa atingidas foi de aproximadamente 10%. Porém destaca-se algumas limitações metodológicas do modelo HAND que levaram à semelhança dos resultados, como a baixa resolução espacial do modelo digital de elevação e cota máxima de inundação atrelada a algum ponto conhecido de inundação.

Pela disponibilidade gratuita dos dados e aplicabilidade rápida e satisfatória, essas duas metodologias podem ser empregadas em outras regiões, respeitando-se as especificidades locais. Neste sentido, dados topográficos com resolução espacial maior poderão gerar simulações mais precisas das áreas inundáveis e deverão ser avaliadas para os dois métodos descritos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto sob o qual esta pesquisa foi realizada.

REFERÊNCIAS

- CENSO. Malha Municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 8 fev. 2024.
- CRED-UNDRR. The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000–2019). Centre for Research on the Epidemiology of Disasters — UN Office for Disaster Risk Reduction, 2020. https://cred.be/sites/default/files/adrs_2019.pdf
- Hu, A.; Demir, I. (2021). “*Real-time flood mapping on Client-Side web systems using HAND model.*” *Hydrology*, 8, pp. 1-12. <https://doi.org/10.3390/hydrology8020065>.
- IBGE. (2022). Malha Municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>. Acesso em: 8 fev. 2024.
- Larentis, D. G.; Nogare, M.; Tucci, C. E. M.; Pohlmann, P. (2020) “*Procedimentos e critérios para zoneamento de planícies de inundação em áreas urbanas.*” *Gestão de Água da América Latina*, 17, pp. 1-13. doi: <https://doi.org/10.21168/rega.v17e13>.
- Mengue, V.P.; Scottá, F.; Silva, T.S.; Farina, F. (2016) “*Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai.*” *Geociências*, 43, pp. 41-53.
- Nobre, A. D.; Cuartas, L. A.; Momo, M. R.; Severo, D. L.; Pinheiro, A.; Nobre, C. A. (2016) “*HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent.*” *Hydrological Processes*, 30(2), pp. 320-333. <https://doi.org/10.1002/hyp.10581>.
- Nobre, A.D.; Cuartas, L.A.; Hodnett, M.; Rennó, C.D.; Rodrigues, G.; Silveira, A.; Waterloo, S.; Saleska, S. (2011) “*Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model.*” *Hydrology*, 404, pp. 13-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>.
- Reis, P. A.; Schmidt, M. A. R. (2017). “*Avaliação dos Modelos HEC-RAS e GRASS na Identificação de Áreas Vulneráveis a Inundações em Áreas Urbanas.*” *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(1), pp. 115-126. https://doi.org/10.11137/2017_1_115_126
- Silva, F. G.; Leite, M. E.; Ferreira, M. F. F. (2018). “*Análise Espacial das Áreas de Inundações em Montes Claros/MG, Assinaladas pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de 2015.*” *Geoambiente On-line*, 31, pp. 16-37.
- Dramis, F., Bisci, C. (1998). “*Cartografia Geomorfológica: manuale di introduzione al rilevamento ed alla rappresentazione degli aspetti fisici del territorio.*” Pitagora Ed., Bologna. 215p.