



## GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO HIDROLOGICAMENTE CONSISTENTE PARA DELIMITAÇÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA NA AMAZÔNIA

Kevin Hyslop<sup>1</sup>; Sérgio Galdino<sup>2</sup>

Nº 21510

**RESUMO** – O objetivo deste trabalho foi gerar um modelo digital de terreno hidrologicamente consistente (MDTHC) para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Taxidermista no município de Alta Floresta, localizado no norte do estado de Mato Grosso, no bioma Amazônia. Essa região é uma das áreas de estudo definidas no projeto “Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto da agricultura familiar amazônica (ASEAM)”. Para a geração do MDTHC, inicialmente foram utilizados dados referentes a pontos cotados, curvas de nível e hidrografia, provenientes de cartas topográficas, utilizando o interpolador Topo to Raster, do software SIG ArcMap (versão 10.8). Em seguida, o MDTHC foi gerado por meio do aprofundamento da drenagem, utilizando a ferramenta Arc Hydro Tools do ArcMap. O MDTHC foi utilizado na delimitação da bacia hidrográfica do rio Taxidermista, na região de Alta Floresta. O modelo digital de terreno (MDT) gerado pelo interpolador Topo to Raster mostrou-se preciso quando comparado à delimitação feita com base em um modelo digital de elevação (MDE) derivado do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Igualmente, o MDTHC gerado mostrou-se eficaz na delimitação da bacia hidrográfica do rio Taxidermista, no bioma Amazônia.

**Palavras-chave:** geotecnologia, sensoriamento remoto, serviços ecossistêmicos, sistema de informações geográficas.

1 Autor, Estagiário: Bacharel em Geografia, PUC Campinas, Campinas-SP; kevin.hyslop@colaborador.embrapa.br.

2 Orientador: Pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas-SP; sergio.galdino@embrapa.br.



**ABSTRACT** – *Our objective in this work was to produce a hydrologically consistent digital terrain model (HCDTM) to delimit the Taxidermista river watershed in the municipality of Alta Floresta, located in the north portion of the state of Mato Grosso, in the Amazônia biome. This region is one of the study areas of the project “Knowledge construction and systematization of experiences on valuation and payment for ecosystem and environmental services in the context of Amazonian family agriculture (ASEAM)”. To produce the HCDTM, we first used data on spot height, contour level and hydrography from topographic maps in the Topo to Raster interpolator in ArcMap (version 10.8). The HCDTM was then generated by deepening the drainage, using ArcMap’s Arc Hydro Tools. The HCDTM was used to delimit the Taxidermista river watershed, in Alta Floresta. The digital terrain model (DTM) generated using the Topo to Raster interpolator proved to be accurate when compared to the delimitation based on a digital elevation model (DEM) derived from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Likewise, the generated HCDTM proved to be effective to delimit the Taxidermista river watershed, in the Amazônia biome.*

**Keywords:** geotechnology, remote sensing, ecosystem services, geographic information system.

## 1. INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, observou-se acelerado processo de crescimento na exploração de recursos naturais, atrelado ao desenvolvimento técnico-científico e social. Como consequência dessa exploração, ocorreu a degradação ambiental de grandes áreas em diferentes biomas, graças a práticas inadequadas de exploração dos recursos naturais e ao uso inadequado de terras, o que coloca em pauta as questões ambientais e de preservação dos ecossistemas e biomas (Uhl et al., 2002; Cunha et al., 2008).

Dessa forma, a realização de estudos de caráter ambiental é imprescindível para o planejamento, a preservação, utilização e tomada de decisões corretas em relação aos recursos naturais e serviços ecossistêmicos. Dentre as diversas possibilidades de análise, destaca-se a utilização de uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Através do emprego da bacia hidrográfica (e da análise sistêmica), as características físico-espaciais e socioambientais podem ser estudadas em conjunto, resultando em uma análise completa do “sistema” que é a bacia hidrográfica e da região que está compreendida dentro dela (Christofoletti, 1999; Cazula, Mirandola, 2010; Lima, Nery, 2017).



Com o desenvolvimento das geotecnologias e dos sistemas de informações geográficas (SIGs), tornou-se possível delimitar bacias hidrográficas de forma rápida e eficaz, utilizando, para o processo de delimitação, um modelo digital sobre o qual o SIG faz a delimitação. Esses modelos podem ser gerados com base em imagens de satélites e são muito utilizados graças à sua acessibilidade. Podem ser classificados como: modelos digitais de elevação (MDEs), modelos digitais de terreno (MDTs) e modelos digitais de superfície (MDSs). A grande diferença entre os modelos está, dentre outros aspectos, na aferição da elevação e representação do solo. Os MDEs captam a elevação, levando em consideração o dossel vegetal (copa das árvores); os MDSs captam toda e qualquer estrutura presente no solo (como edificações e árvores); e os MDTs ignoram o dossel vegetal, assim como estruturas, fazendo a captação com base na superfície do terreno (solo nu). Este último pode ser utilizado para análises que demandam maior detalhamento de informações ou menor escala de análise, e é ainda recomendado para estudos hidrológicos, possibilitando delimitação mais precisa, uma vez que, ao fazer a aferição com base no solo nu, gera uma representação mais fiel do terreno a ser estudado (Chagas et al., 2010; Hirt, 2015).

Um MDT pode ser gerado através de pontos cotados, curvas de nível e hidrografia, que podem ser obtidos de cartas topográficas, bases governamentais ou de empresas especializadas (Carrara et al., 1997; Hirt, 2015). É necessário, porém, ater-se à qualidade do modelo, que deve ser hidrológicamente consistente para poder ser utilizado na delimitação de bacias hidrográficas, especialmente em regiões com alta presença de cobertura vegetal, como no bioma Amazônia. Um modelo digital de terreno hidrológicamente consistente (MDTHC) é aquele que não apresenta depressões espúrias, falsas depressões criadas graças às células de maior valor que cercam uma célula de menor valor. Portanto, um MDTHC representa corretamente o terreno em questão, possibilitando a análise e simulação adequadas dos processos hidrológicos inerentes à região (Baena, 2002; Poletto et al., 2008). Segundo ESRI (1997), um MDTHC é “a melhor representação digital do relevo capaz de reproduzir, com precisão, o caminho preferencial de escoamento da água superficial observado no mundo real”.

A estimativa das perdas de solo e a valoração desse importante serviço ecossistêmico compõem um dos objetivos do projeto “Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto da agricultura familiar amazônica” (ASEAM), no qual este trabalho está inserido. Para realizar esses processos de estimativa e valoração, é de extrema importância utilizar bacias hidrográficas corretamente delimitadas, o que, por sua vez, implica na obtenção e no emprego de um MDTHC.

Assim, o objetivo deste trabalho foi gerar, a partir de pontos cotados, curvas de nível e hidrografia, um modelo digital de terreno hidrológicamente consistente para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Taxidermista, localizado no bioma Amazônia, no estado de Mato Grosso.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo foco deste trabalho está localizada entre as coordenadas UTM (Fuso 21, *datum* WGS 84) 8.894.416 a 8.926.815 m de latitude Sul e 581.976 a 609.033 m de longitude, na porção norte do estado de Mato Grosso, dentro do município de Alta Floresta e engloba a cidade de mesmo nome, assim como o rio Taxidermista. A região é antropizada e predominantemente coberta por áreas de pastagem, apresentando poucas edificações. A área de interesse, os limites dos municípios e a cidade de Alta Floresta são apresentados na Figura 1.

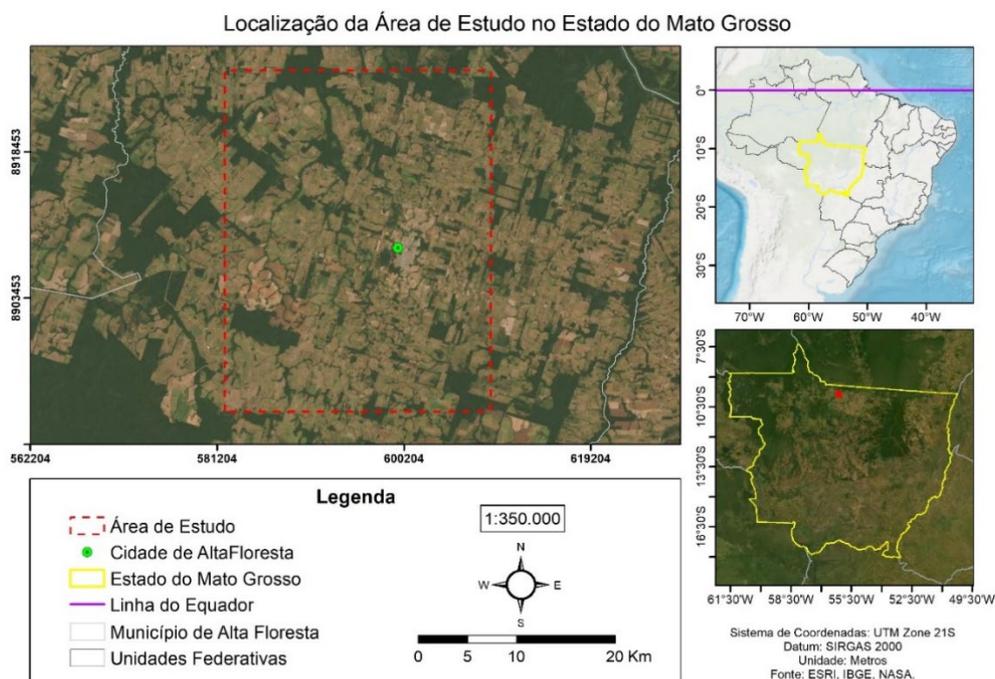


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no estado de Mato Grosso.

### 2.2 Seleção e tratamento dos dados

A topografia determina o comportamento do escoamento superficial, fase do ciclo hidrológico mais diretamente associada à erosão hídrica, e necessita de análise rigorosa e eficaz em toda a sua extensão. Tal análise é possível a partir, principalmente, do uso de MDE ou MDT.



No caso específico deste estudo, foi gerado um MDTHC, ou seja, um modelo digital em que a topografia determina o comportamento do escoamento superficial. Para gerar um MDTHC, é necessário antes criar um MDT (utilizando um interpolador) e corrigi-lo utilizando um processo de condicionamento (*DEM Reconditioning*) para remover inconsistências (células nulas e depressões espúrias), criando, assim, um MDTHC. São necessários dados confiáveis e padronizados; quanto mais precisos e atuais forem os dados, melhor será a qualidade do MDT gerado. Os dados necessários são: pontos cotados, curvas de nível e hidrografia. Também é possível utilizar um polígono como limite (*Boundary*) para o arquivo *raster* (arquivo matricial) que será gerado, criando, assim, uma área dentro da qual o MDT será gerado utilizando os pontos cotados, as curvas de nível e a hidrografia ali presentes.

Para criar o MDT, os pontos cotados e as curvas de nível foram extraídos de cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:100.000 (dada a indisponibilidade de cartas na escala de 1:50.000 e a falta de detalhamento e precisão nas cartas na escala de 1:250.000). A carta topográfica utilizada foi a folha referente ao município de Alta Floresta em Mato Grosso, obtida do site do IBGE, georreferenciada utilizando no processo o *datum* WGS 84 (*World Geodetic System 1984*). Feito o georreferenciamento, os pontos cotados, as curvas de nível e a hidrografia foram extraídos da carta por vetorização manual, utilizando o SIG ArcMap (versão 10.8). As curvas apresentavam disposição organizada em um intervalo de 50 m, e foram extraídas mantendo-se o mesmo intervalo.

Obtidos os pontos cotados, as curvas de nível e a hidrografia, todos os dados foram projetados para o *datum* WGS 84, visando padronizar os dados a fim de evitar possíveis erros durante os processos de geração do MDT e do MDTHC. Posteriormente, os dados finais gerados foram reprojatados para o *datum* Sirgas 2000 e para o sistema de coordenadas planas UTM (Universal Transversa de Mercator) 21 Sul, que corresponde à região de Alta Floresta, MT.

### 2.3 Geração de modelo digital de terreno hidrologicamente consistente – MDTHC

Feita a adequação e organização dos dados, para a geração do MDTHC, foram utilizados o interpolador *Topo to Raster* e a extensão *Arc Hydro Tools*, presentes no ArcMap 10.8. O interpolador foi desenvolvido com base nos estudos produzidos por Hutchinson (1988, 1989). Essa técnica de interpolação propicia a criação de MDTs com base em dados vetoriais, como pontos cotados, curvas de nível e hidrografia, utilizando, para tanto, a ponderação do inverso do quadrado da distância.



Os dados foram inseridos e foi atribuída a cada um a classificação de “Campo” (*Field*) e “Tipo” (*Type*):

- Para pontos cotados e curvas de nível, foi selecionado o campo “Cota”, e para o campo “Tipo” foram selecionados *Point Elevation* e *Contour*, respectivamente.
- Para a hidrografia, o “Tipo” selecionado foi *Stream*; automaticamente a ferramenta altera o item “Campo” para nulo/branco.
- Para o polígono da área de estudo, o “Tipo” selecionado foi *Boundary*; automaticamente a ferramenta altera o “Campo” para nulo/branco.

A opção de forçar a drenagem (hidrografia) para a criação do MDT é padrão da ferramenta (*Enforce*) e foi mantida. Para o tipo primário de dado utilizado, foi selecionada a camada das curvas de nível (*Contour*). O tamanho de cada célula (pixel) foi de 30 x 30 m.

O interpolador *Topo to Raster* foi executado diversas vezes, a fim de testar e avaliar as possíveis configurações e a qualidade dos MDTs gerados. Um erro no valor da cota altimétrica de um dos pontos cotados foi corrigido, possibilitando a criação correta do MDT.

## 2.4 Adequação do MDTHC e delimitação da bacia hidrográfica do rio Taxidermista, MT

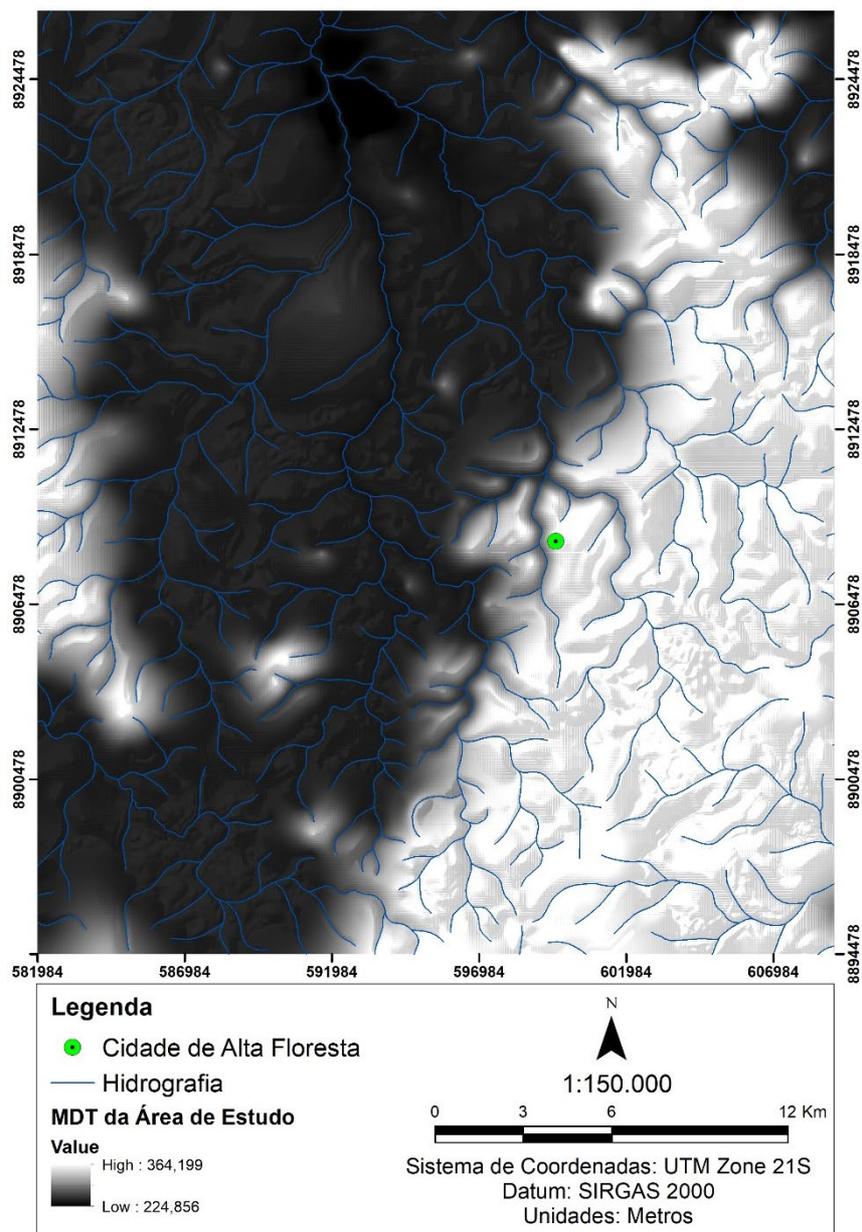
O MDT gerado pelo interpolador *Topo To Raster* do ArcMap apresentou depressões espúrias e foi corrigido para tornar-se hidrologicamente consistente, ou seja, um MDTHC.

Foi utilizada a extensão *ArchHydro Tools* do software ArcMap 10.8. Dentro da extensão, as ferramentas *DEM Reconditioning* e *Fill Sinks* foram empregadas. A primeira tem como função o aprofundamento da drenagem (forçando-a) sobre o MDT original, tornando a criação da rede hidrográfica mais precisa e facilitando, assim, a delimitação de uma bacia hidrográfica. Todas as variáveis foram definidas como 5 m, para que o aprofundamento fosse eficaz, mas não ocasionasse inconsistências ou perda de qualidade do MDTHC.

Para corrigir as depressões espúrias no MDT, foi utilizada a ferramenta *Fill Sinks* sobre o modelo. O objetivo foi eliminar as depressões espúrias e outras inconsistências do MDT, a fim de torná-lo consistente e correto para uso na delimitação da bacia do rio Taxidermista. Como produto desses processos, um MDTHC foi gerado. Esse MDTHC foi aplicado na delimitação da bacia hidrográfica do rio Taxidermista, utilizando a extensão *ArchHydro Tools* e a metodologia preconizada por Camargo et al. (2016) e Merwade (2019).

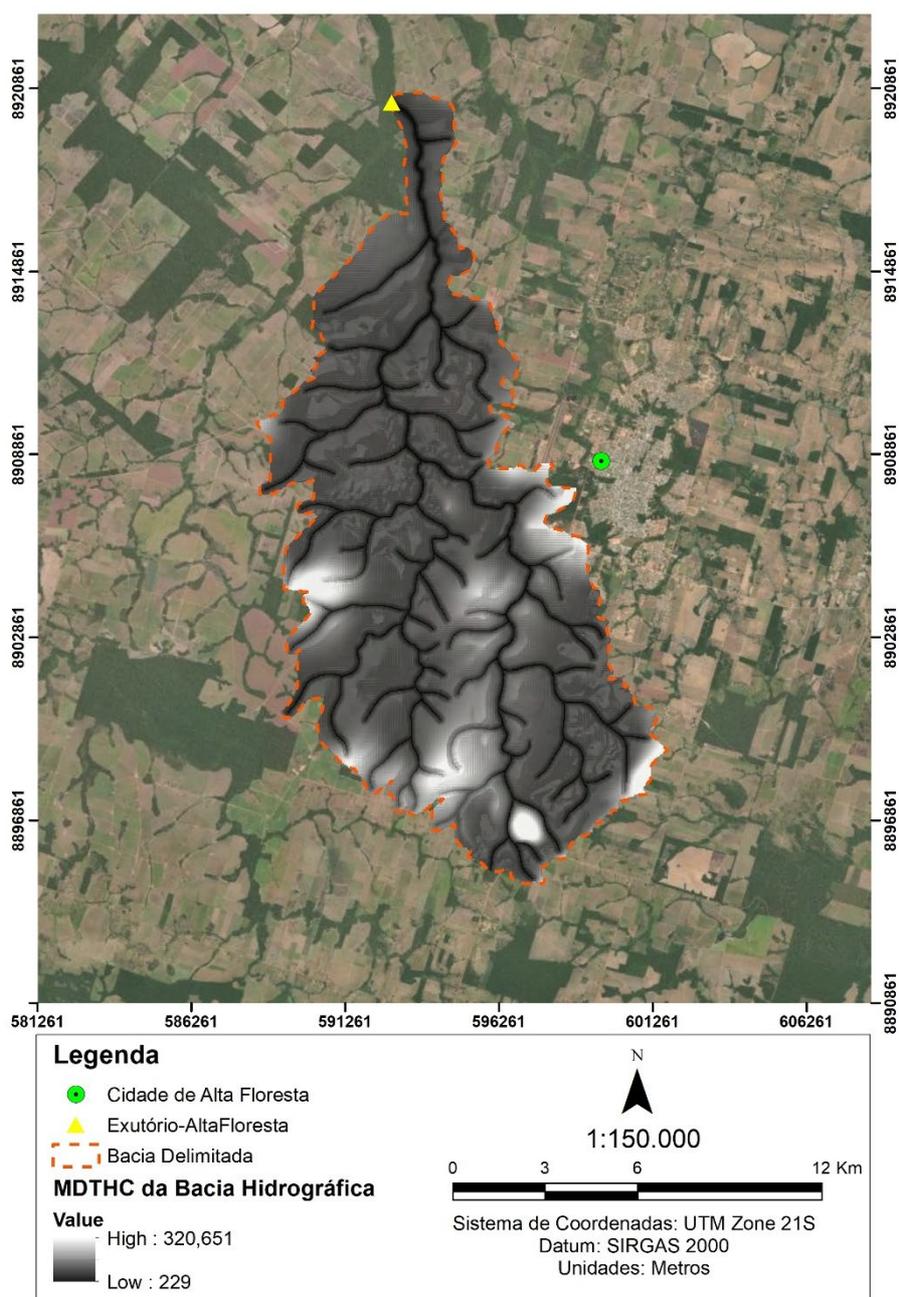
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O MDT gerado para a área de estudo de Alta Floresta utilizando o interpolador *Topo to Raster* é apresentado na Figura 2, assim como a hidrografia da região. O MDT é resultado da interpolação e da qualidade dos dados vetoriais empregados.



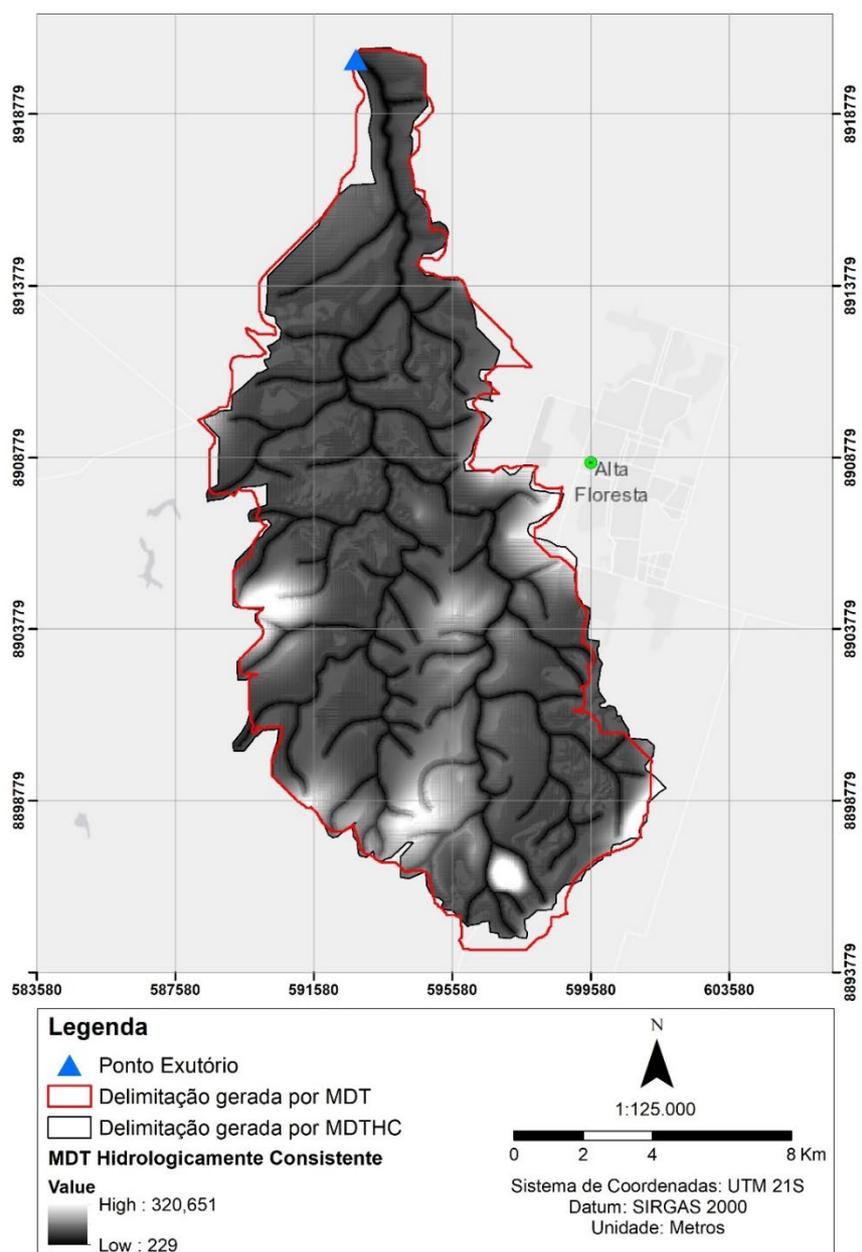
**Figura 2.** Modelo digital de terreno gerado por interpolação e hidrografia da área de estudo.

Utilizando o MDTHC, foi feita a delimitação da bacia hidrográfica do rio Taxidermista no estado de Mato Grosso. A bacia delimitada, o ponto exutório e o recorte do MDTHC são apresentados na Figura 3.



**Figura 3.** Bacia hidrográfica do rio Taxidermista em Alta Floresta, MT, delimitada a partir do modelo digital de terreno hidrológicamente consistente.

Por fim, a Figura 4 apresenta uma comparação entre os limites obtidos na delimitação da bacia hidrográfica utilizando o MDTHC e um MDT. Nota-se a diferença entre os limites gerados por cada MDT ao analisar as porções laterais das bacias.



**Figura 4.** Comparação entre as delimitações geradas a partir de MDTs hidrológicamente consistente e inconsistente.

Essa diferença é produto dos fatores: 1) falta de precisão do MDT; 2) ao não consistir o MDT, o algoritmo que faz a delimitação acaba por atribuir valores errôneos a diferentes células, o que leva



ao erro de delimitação; 3) limitação de dados, pois quanto maior é a quantidade de pontos cotados e curvas de nível utilizados, melhores serão o detalhamento e a qualidade do MDT gerado.

#### 4. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi criar um modelo digital de terreno hidrologicamente consistente (MDTHC) para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Taxidermista, no município de Alta Floresta, MT.

Para tanto, foram extraídos de cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) os pontos cotados, as curvas de nível e a hidrografia da área de estudo. Os dados, uma vez padronizados em relação ao seu sistema de coordenadas, foram utilizados em conjunto com um interpolador (*Topo to Raster*) para gerar um modelo digital de terreno (MDT). Esse MDT apresentou falhas – depressões espúrias – que tornam o modelo hidrologicamente inconsistente. O MDT foi corrigido utilizando a extensão *ArchHydro Tools* e seus processos, e tornou-se hidrologicamente consistente, ou seja, um MDTHC.

Por fim, o MDTHC gerado foi utilizado para delimitar a bacia hidrográfica do rio Taxidermista, MT, e mostrou-se muito eficaz e preciso quando sua delimitação foi comparada à feita utilizando o MDT.

A utilização de informações/dados extraídos de cartas topográficas para gerar modelos digitais de terreno (MDTs) e modelos digitais de terreno hidrologicamente consistentes (MDTHCs) é viável. Contudo, aspectos como a escala das cartas, a data de elaboração dessas cartas, a quantidade de informações a serem extraídas e a região para a qual será gerado o MDT devem ser levados em consideração. Na ausência de MDTs gerados por meio de radar, radar aerotransportado, lidar etc., a criação de um MDT de forma manual, com o uso de um interpolador *raster*, é uma escolha segura e eficaz para a solução do problema.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À Embrapa Territorial, pela oportunidade de desenvolver e colaborar com pesquisas no projeto “Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto da agricultura familiar amazônica (ASEAM)”.



## 6. REFERÊNCIAS

- BAENA, L. G. N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente**. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/9466>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- CAMARGO, A. A.; GALDINO, S.; QUARTAROLI, C. F. Delimitação de bacias hidrográficas utilizando modelo digital de terreno gerado a partir de mapas topográficos e imagens de alta resolução espacial. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., 2016, Campinas. **Anais...** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2016. 1 p.
- CARRARA, A.; BITELLI, G.; CARLA, R. Comparison of techniques for generating digital terrain models from contour lines. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 11, n. 5, p. 451-473, jul. 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/136588197242257>.
- CAZULA, L. P.; MIRANDOLA, P. H. Bacia hidrográfica – conceitos e importância como unidade de planejamento: um exemplo aplicado na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado/SP-Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas**, v. 12, n. 1, p. 101-124, nov. 2010.
- CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W. de.; SOUZA NETO, N. C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 218-226, fev. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000200014>.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999.
- CUNHA, N. R. da S.; LIMA, J. E. de; GOMES, M. M. F. de; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 2, p. 291-323, jun. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-20032008000200002>.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ARC/INFO v.7.1.1. Help on line**. Redlands, California: ESRI, 1997.
- HIRT, C. Digital Terrain Models. In: SIDERIS, M. G. (Ed.). **Encyclopedia Of Geodesy**. Springer International Publishing, 2015. p. 1-6. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0\\_31-1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0_31-1).
- HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, n. 3/4, p. 211-232, 1989.
- HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING, 3., 1988, Columbus. **Proceedings...** Columbus, Ohio: International Geographical Union, 1988. p. 117-133.



LIMA, Â. J. R.; NERY, J. T. Revisitando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão e a governança das águas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17.; CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1., 2017, Campinas. **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2017. p. 726-738. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1846>.

MERWADE, V. **Terrain Processing using ArcHydro/GeoHMS**. 2019. School of Civil Engineering, Purdue University. Disponível em: <https://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/>. Acesso em: 23 jun. 2021.

POLETO, L. J. do C.; SILVA, C. H. C. da; RIBEIRO JÚNIOR, S.; VIEIRA, C. A. O.; SANTOS, A. de P. dos. Validação de Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2., 2008, Recife. **As Ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação no contexto de estudos e aplicações em geociências, engenharias e meio ambiente**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008. p. 1-8. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/297001154\\_VALIDACAO\\_DE\\_MODELO\\_DIGITAL\\_DE\\_ELEVACAO\\_HIDROLOGICAMENTE\\_CONSISTENTE\\_MDEHC#read](https://www.researchgate.net/publication/297001154_VALIDACAO_DE_MODELO_DIGITAL_DE_ELEVACAO_HIDROLOGICAMENTE_CONSISTENTE_MDEHC#read). Acesso em: 28 jun. 2021.

UHL, C.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A.; BARROS, A. C.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; SOUZA JUNIOR, C. Capítulo 5: uma abordagem integrada de pesquisa sobre o manejo dos recursos naturais na Amazônia. In: BARROS, A. C. (Ed.). **A Expansão Madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará**. 2. ed. Belém: Imazon, 2002. p. 1-166. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/a-expansao-madeireira-na-amazonia-impactos-e.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.