



## AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE (MDS) NA DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRIRIM-AP UTILIZANDO O SOFTWARE INVEST

Kevin **Hyslop**<sup>1</sup>; Sérgio **Galdino**<sup>2</sup>; Carlos Fernando **Quartaroli**<sup>3</sup>; Cornélio Alberto **Zolin**<sup>4</sup>;  
Sérgio Gomes **Tosto**<sup>5</sup>

Nº 20506

**RESUMO** – O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes modelos digitais de superfície (MDSs) na delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piririm, no estado do Amapá, utilizando o software livre InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs). Essa bacia é uma das áreas de estudo 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)”. Os MDSs avaliados foram: ALOS World 3D, Aster GDEM v.3 e NASADEM. A bacia foi delimitada utilizando sistemas de informações geográficas (SIGs) e os três MDSs foram comparados a um modelo digital de terreno (MDT). O MDT, com resolução espacial de 2,5 m, foi obtido a partir de radar aerotransportado. O MDT e os MDSs foram processados na extensão ArcHydro Tools do SIG ArcGIS 10.6.1 e usando a ferramenta DelineateIT do software InVEST 3.6.0. A ferramenta DelineateIT possibilitou a delimitação da bacia hidrográfica para os MDSs e MDT de forma rápida, eficaz e precisa. Entre os três MDSs avaliados, os que apresentaram melhor resultado, comparativamente ao MDT, foram o ALOS World 3D, desenvolvido pela Agência Japonesa de Exploração Espacial (JAXA), e o MDS da National Aeronautics and Space Administration (NASA), ambos com 30 m de resolução espacial.

**Palavras-chave:** geotecnologias, serviço ecossistêmico, sistema de informação geográfica.

<sup>1</sup> Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Geografia, PUCC, Campinas-SP; kevin.hyslop@colaborador.embrapa.br.

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

<sup>3</sup> Colaborador: Pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas-SP.

<sup>4</sup> Colaborador: Pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop-MT.

<sup>5</sup> Colaborador: Pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas-SP.



**ABSTRACT** – *Our objective was to evaluate the performance of different digital surface models (DSMs) in delimiting the Piririm river watershed, in the state of Amapá, using the free software InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs). This watershed 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)". The DSMs evaluated were: ALOS World 3D, Aster GDEM v.3, and NASADEM. The watershed was delimited using geographic information systems (GISs), and all three DSMs were compared to a digital terrain model (DTM). The spatial resolution of the DTM was of 2.5 m, and it was obtained by means of an airborne radar. The DTM and DSMs were processed using ArcHydro Tools, in ArcGIS 10.6.1, and the DelineateIT tool, in InVEST 3.6.0. The DelineateIT tool enabled us to quickly, effectively, and precisely delimit the watershed for all DSMs and DTM. Among the DSMs evaluated, the best results in the comparison against the DTM were obtained for ALOS World 3D, developed by Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), and the DSM developed by National Aeronautics and Space Administration (NASA), both with a 30 m spatial resolution.*

**Keywords:** geotechnologies, ecosystem service, geographic information system.

## 1 INTRODUÇÃO

As questões ambientais têm sido pauta recorrente de discussão, no Brasil e em escala internacional, intensificando a preocupação quanto à preservação do meio natural na busca da sustentabilidade. Nesse contexto, torna-se importante a gestão correta e efetiva dos recursos naturais pelos poderes público e privado.

Grande parte dos estudos e pesquisas ambientais faz uso de modelos digitais de elevação (MDEs) em suas análises. MDEs podem ser criados a partir de curvas de nível e pontos cotados extraídos de cartas topográficas. Porém, apresentam limitação quanto ao seu uso devido à escala das cartas e ao fato de os dados estarem geralmente em formato analógico, não sendo aptos para estudos mais detalhados. Dessa forma, modelos digitais criados com base em imagens de satélites têm sido amplamente utilizados nas mais diversas formas de pesquisa, graças à sua acessibilidade e precisão (Chagas et al., 2010). Existem três tipos de modelos digitais distintos que podem ser obtidos por imagens de satélite e/ou outras formas: modelos digitais de elevação (MDEs), que



captam a elevação, assim como o dossel vegetal; modelos digitais de terreno (MDTs), que captam a elevação com base no terreno, ignorando o dossel vegetal (solo nu); e modelos digitais de superfície (MDSs), que captam todas as elevações sobre o solo (como edificações, ruas, árvores etc.).

O avanço tecnológico dos sistemas de informações geográficas (SIGs) tornou possível corrigir e processar os diferentes modelos digitais para os mais diversos fins. Outra opção para trabalhar com MDSs e MDTs é o software InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) (Sharp et al., 2018). Desenvolvido pelo “Natural Capital PROJECT”, o InVEST constitui um conjunto de algoritmos usados para quantificar, mapear e valorar diversos serviços ambientais, para dar suporte a decisões. Os módulos e ferramentas do InVEST permitem, dentre outras possibilidades, delimitar uma bacia hidrográfica a partir de um modelo digital (seja ele de superfície ou de terreno).

O Projeto ASEAM (“Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto da agricultura familiar amazônica”), do qual este trabalho faz parte, prevê, dentre outros objetivos, a estimativa das perdas de solo e a valoração desse serviço ambiental/ecossistêmico. Para tanto, faz-se necessária a utilização de um modelo digital preciso, para a delimitação de bacias hidrográficas pertinentes ao projeto. O projeto conta com recursos financeiros do Fundo Amazônia.

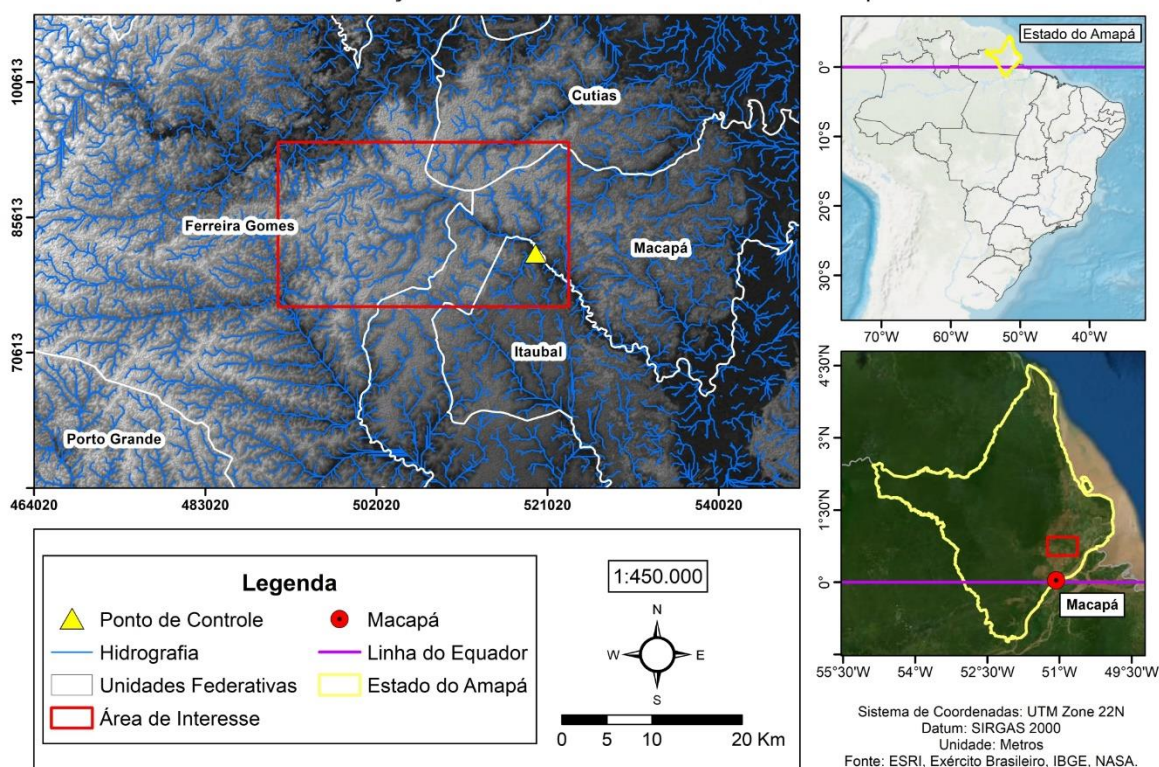
Assim o objetivo deste trabalho é avaliar diferentes modelos digitais de superfície em relação a um modelo digital de terreno, na delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piririm, localizada no estado do Amapá, utilizando o software InVEST.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo deste trabalho está localizada no estado do Amapá, ao norte da capital Macapá, entre os municípios de Cutias, Ferreira Gomes, Itaubal e Macapá. A área de interesse, os limites dos municípios, a hidrografia, o ponto de controle (exutório) das bacias a serem delimitadas e o MDE da área de estudo no estado do Amapá são apresentados na Figura 1.

### Localização da área de estudo no Estado do Amapá



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo no estado do Amapá, apresentando hidrografia, municípios e ponto de controle (exutório).

## 2.2 Delimitação das bacias hidrográficas do Rio Pirim – AP

Para a delimitação das bacias do Rio Pirim, foram utilizados um MDT e três MDSs:

- MDT gerado a partir de radar aerotransportado, disponibilizado pelo Governo Estadual do Amapá, com resolução espacial de 2,5 m.
- MDS ALOS World 3D, desenvolvido pela Agência Japonesa de Exploração Espacial (JAXA), utilizando o satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*). O modelo conta com resolução espacial de 30 m e foi desenvolvido para o projeto de mapeamento digital preciso em 3D (ALOS World 3D), com base nas cenas/imagens capturadas pelo satélite “DAICHI” (ALOS), que operou entre os anos de 2006 e 2011 (Tadono et al., 2014).
- MDS NASADEM, desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), com resolução espacial de 30 m. O NASADEM foi gerado com base nos dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Os dados do NASADEM são resultado da “melhora do processamento, controle de elevação, preenchimento de vazios e união com dados indisponíveis na época do SRTM original” (NASA, 2020).



- MDS ASTER GDEM v.3, desenvolvido pela NASA em conjunto com o Ministério de Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI), utilizando o *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), um instrumento a bordo do satélite japonês TERRA. O modelo digital de elevação global (GDEM) está em sua terceira versão e dispõe de resolução espacial de 30 m (NASA, 2019, 2012).

### 2.3 Tratamento dos dados

Para a delimitação precisa e eficaz das bacias do Rio Pírim (AP), visando também diminuir possíveis erros, foi estabelecida uma área de interesse que compreende tanto a área da bacia e do seu entorno quanto o exutório da bacia (ponto de controle).

Foi extraída uma área recorte, que corresponde à área de interesse, de cada modelo já apresentado. Os modelos recortados tiveram seu sistema de coordenadas padronizado para o sistema de coordenadas geográficas (GCS) SIRGAS 2000. Em seguida, foram reprojetoados para o sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM) Fuso 22 Norte, que corresponde à área de estudo localizada no estado do Amapá.

Foi feito um processo de correção para cada um dos modelos digitais, utilizando o SIG ArcGIS versão 10.6.1, no qual foi empregado o comando "*Fill*", da extensão Arc Toolbox, para preencher vazios nos modelos digitais, com o objetivo de aperfeiçoar a qualidade dos modelos e minimizar erros nos resultados finais.

### 2.4 Delimitação das bacias hidrográficas do Rio Pírim – AP

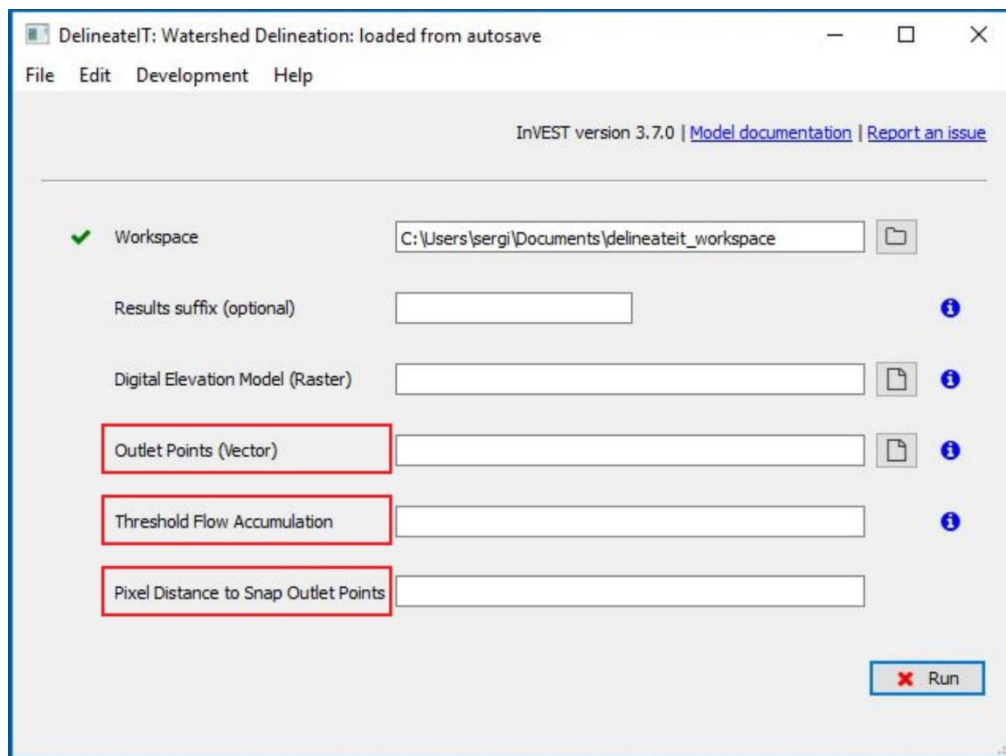
Para a delimitação das bacias hidrográficas do Rio Pírim, foi utilizada a ferramenta DelineateIT do software InVEST. A ferramenta, como o próprio InVEST, não permite a edição e/ou criação de arquivos em formato vetorial (*shapefile*) e matricial (*raster*), sendo necessária a utilização de SIG – como o ArcGIS e/ou o QGIS – para a criação desses arquivos.

A ferramenta DelineateIT do InVEST necessita de alguns dados para produzir a delimitação de uma bacia: um "*Outlet Point*" (ponto de controle/exutório) em formato *shapefile* de ponto e um modelo digital da área, que pode ser um MDT ou um MDS.

Com base na metodologia apresentada por Camargo Júnior et al. (2016), foi gerado um ponto de controle no Rio Pírim utilizando-se o ArcHydro Tools, conjunto de ferramentas disponível no SIG para tratamento de dados hidrológicos.

Os arquivos foram inseridos na ferramenta *DelineateIT*, assim como os valores para os parâmetros "*Threshold Flow Accumulation*" (limiar de acumulação de fluxo) e "*Pixel Distance to*

*Snap Outlet Points*”, com os valores de 1000 e 100, respectivamente (Sharp et al., 2018). A Figura 2 apresenta a interface da ferramenta *DelineateIT*.



**Figura 2.** Interface do módulo DelineateIT do InVEST.

Ao fim da execução do programa, são gerados diferentes arquivos (em formato *shapefile* e *raster*):

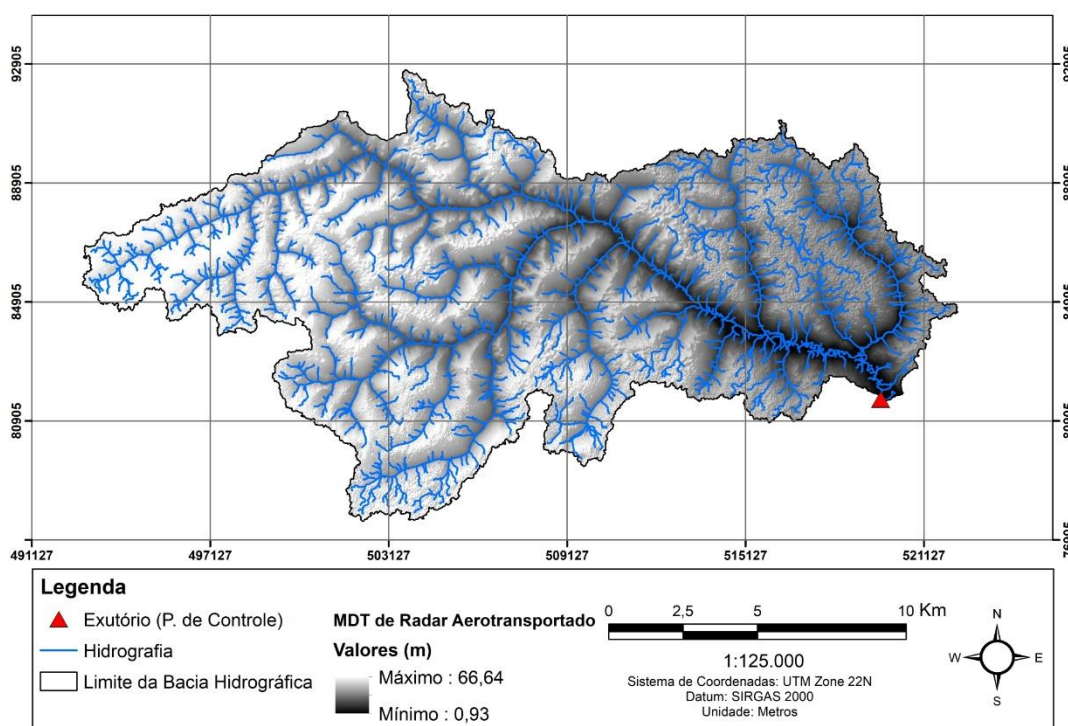
- Arquivos *raster*: acumulação de fluxo, direção de fluxo, MDE preenchido e linhas de drenagem (hidrografia);
- Arquivos *shapefile*: bacia hidrográfica delimitada, exutório inserido e exutório processado.

Executado o modelo, as bacias geradas foram inseridas no ArcGIS 10.6.1, para a comparação entre a bacia delimitada pelo MDT e pelos MDSs da área de estudo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada modelo digital foi delimitada uma área correspondente a uma bacia hidrográfica. As variações entre os limites das bacias delimitadas são resultado direto da resolução espacial e qualidade de cada modelo digital empregado no processo.

A bacia delimitada a partir do MDT (Bacia-MDT), por não apresentar o efeito do dossel, foi utilizada como base de comparação entre as outras três delimitações. A Figura 3 apresenta a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piririm (AP) gerada com base no MDT para a área. A Figura 4 corresponde à bacia hidrográfica gerada a partir do MDS NASADEM (Bacia-NASADEM). A Figura 5, por sua vez, corresponde à bacia hidrográfica gerada com base no MDS ALOS W3D (Bacia-ALOS). Finalmente, a Figura 6 corresponde à bacia hidrográfica gerada a partir do MDS ASTER GDEM v.3 (Bacia-ASTER). A Figura 7 mostra a comparação entre as diferentes bacias, possibilitando uma visualização dos limites das quatro bacias.



**Figura 3.** Limite da bacia hidrográfica do Rio Piririm (AP) delimitado a partir de radar aerotransportado com representação da hidrografia e do exutório.

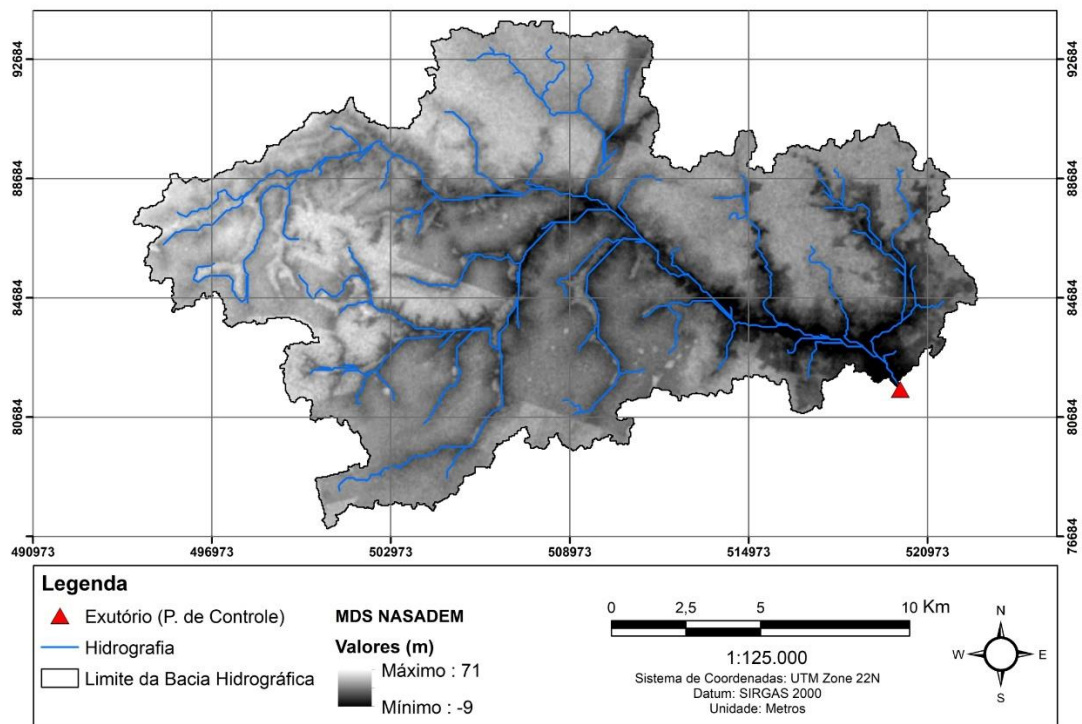


Figura 4. Bacia hidrográfica gerada com base no MDS NASADEM, sua hidrografia e exutório.

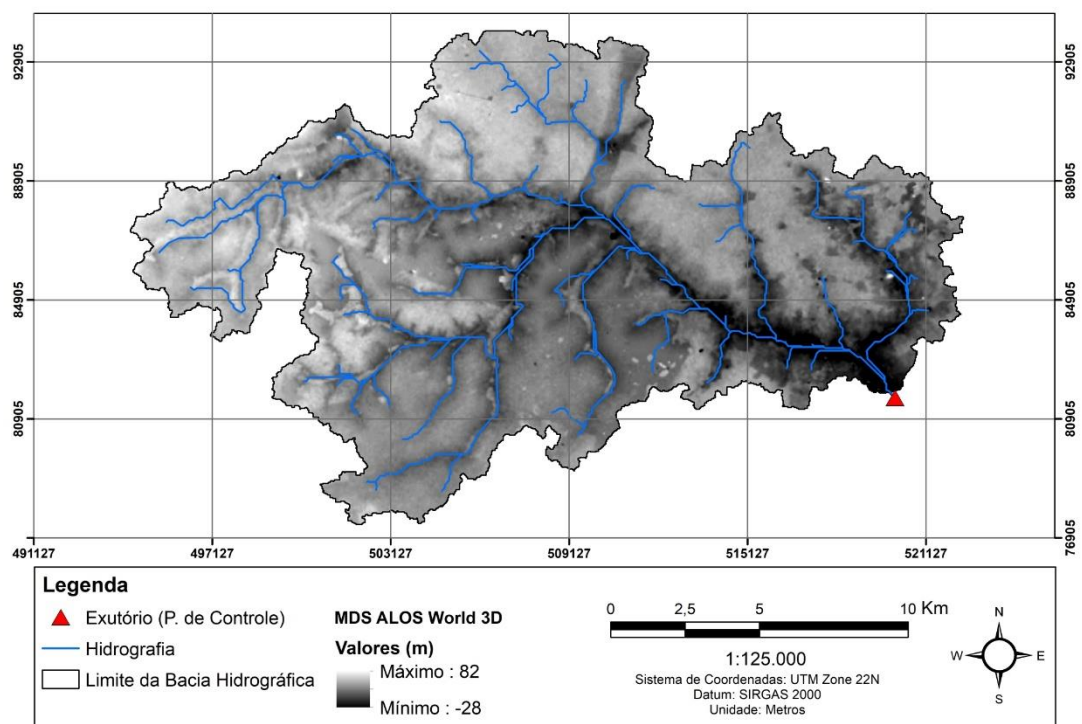
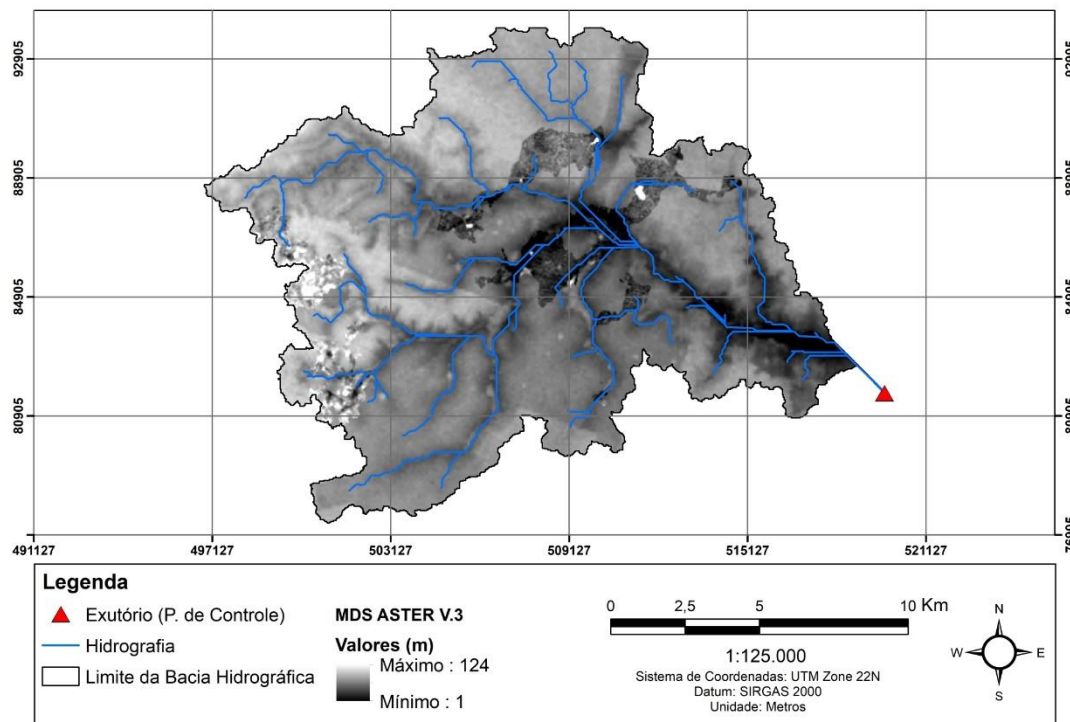
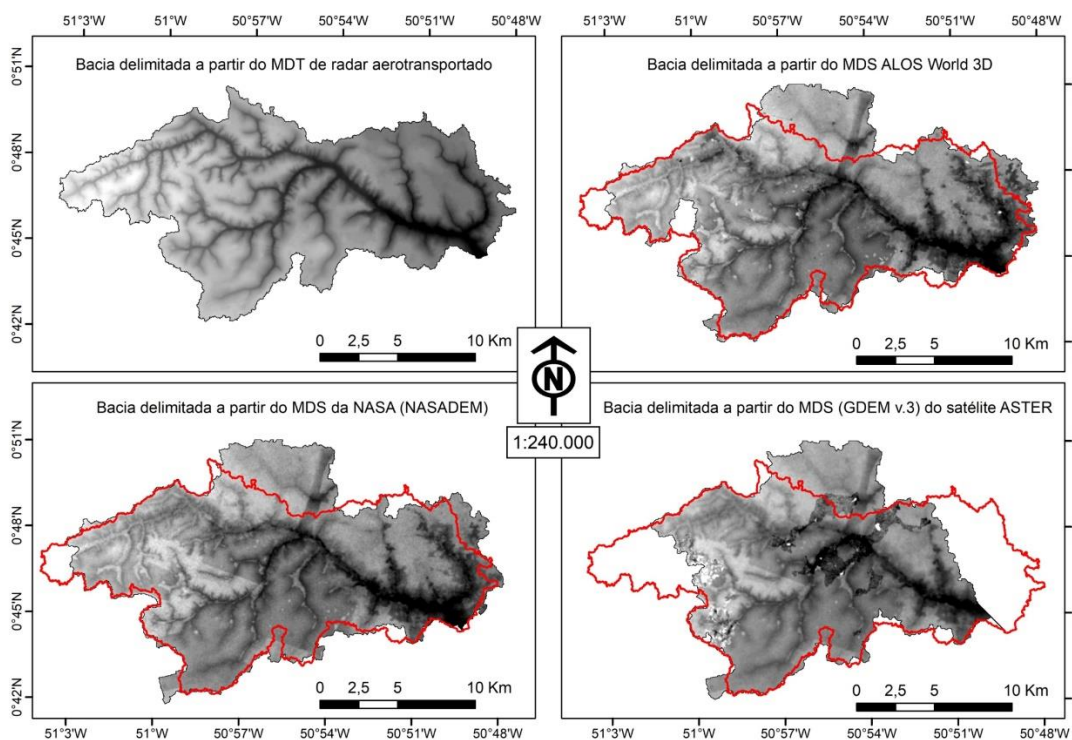


Figura 5. Limite da bacia delimitada utilizando o MDS ALOS W3D, sua hidrografia e exutório.





**Figura 6.** Bacia produto da delimitação feita com base no MDS ASTER GDEM v.3 e sua hidrografia e exutório.



**Figura 7.** Comparação entre as diferentes bacias, delimitadas pela ferramenta *DelineateIT*.



A Tabela 1 apresenta a área total, em hectares, assim como o total de área coincidente e divergente para cada uma das três bacias geradas a partir de MDSs em relação à bacia hidrográfica do MDT-Piririm.

**Tabela 1.** Área totais, coincidentes e divergentes das três bacias geradas por MDSs em relação ao MDT.

MDT/MDS	Área (ha)	Área coincidente		Área divergente	
		ha	%	ha	%
Bacia-MDT	22.869,20	-	-	-	-
Bacia-NASADEM	25.816,00	21.704,95	94,91	5.275,24	23,07
Bacia-ALOS	25.198,40	21.423,00	93,67	5.221,55	22,83
Bacia-ASTER	20.203,10	17.260,84	75,48	8.550,60	37,39

Pode-se observar, pelos resultados da Tabela 1, que os MDSs NASADEM e ALOS foram os que menos divergiram da área da bacia obtida pelo radar aerotransportado e que, nesse quesito, o pior MDS foi o ASTER.

Para avaliar a acurácia dos modelos digitais, foi utilizada a média dos erros absolutos, ou MAE na sigla em inglês, considerada precisa e robusta como medida de habilidade de modelos numéricos em reproduzir a realidade (Fox, 1981). O MAE entre a altimetria do NASADEM e o MDT para a área coincidente entre esses modelos digitais foi de 11,32 m. O MAE entre os valores de altimetria do ALOS e o MDT foi de 9,23 m. Por fim, o MAE da altimetria entre o ASTER e o MDT foi de 15,27 m.

O MDS do ALOS foi o mais preciso, enquanto o MDS ASTER foi o pior nesse quesito. Isso decorre da qualidade dos sensores que compõem o ASTER, assim como do processo de criação do MDS, que foi feito por meio da correlação de pares de imagens estereoscópicas. Outro fator que afeta a qualidade do MDS ASTER é a ausência de informações precisas de áreas marítimas ou continentais, assim como a ausência de uma máscara para corpos de águas continentais, que se torna um problema para usos específicos do ASTER em aplicações para fins hidrológicos (Hirt et al., 2010).

#### 4 CONCLUSÃO

A ferramenta *DelineateIT*, do software livre InVEST, mostrou-se eficaz e rápida na delimitação de bacias hidrográficas independentemente do modelo digital empregado. O InVEST atendeu os objetivos propostos para este trabalho e tem potencial para atingir os objetivos previstos pelo projeto ASEAM do Fundo Amazônia.



Dentre as três bacias geradas, as bacias delimitadas a partir dos MDSs ALOS e NASADEM foram as que mais se aproximaram do MDT obtido por radar aerotransportado. A bacia gerada com base no modelo ASTER GDEM v.3 foi mais imprecisa.

O presente estudo reiterou que, para a delimitação e obtenção da rede de drenagem de bacias hidrográficas, principalmente em áreas com grande oscilação da altura do dossel, é imprescindível o uso de MDTs gerados por radar aerotransportado. Na ausência desse tipo de MDT, uma alternativa para a delimitação e obtenção da rede de drenagem de bacias hidrográficas localizadas na região amazônica pode ser o emprego dos MDSs ALOS e NASADEM.

## 5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa PIBIC; à Embrapa Territorial, pela oportunidade de pesquisa 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

CAMARGO JUNIOR, 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.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W.; 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. <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000200014>.

FOX, D. G. Judging Air Quality Model Performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 62, p. 599-609, 1981.

HIRT, C.; FILMER, M. S.; FEATHERSTONE, W. E. Comparison and validation of the recent freely available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 57, n. 3, p. 337-347, abr. 2010. <http://dx.doi.org/10.1080/08120091003677553>.

NASA. Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology. **ASTER Global Digital Elevation Map Announcement**. fev. 2012.

NASA. **NASADEM**: creating a new NASA Digital Elevation Model and Associated Products. fev. 2020.

NASA. **NASA and METI Release ASTER Global DEM Version 3**. ago. 2019.



SHARP, R.; TALLIS, H.T.; RICKETTS, T.; GUERRY, A.D. WOOD, S.A.; CHAPLIN-KRAMER, R.; NELSON, E.; ENNAANAY, D.; WOLNY, S.; OLWERO, N.; VIGERSTOL, K.; PENNINGTON, D.; MENDOZA, G.; AUKEMA, J.; FOSTER, J.; FORREST, J.; CAMERON, D.; ARKEMA, K.; LONSDORF, E.; KENNEDY, C.; VERUTES, G.; KIM, C.K.; GUANNEL, G.; PAPERFUS, M.; TOFT, J.; MARSIK, M.; BERNHARDT, J.; GRIFFIN, R.; GLOWINSKI, K.; CHAUMONT, N.; PERELMAN, A.; LACAYO, M. MANDLE, L.; HAMEL, P.; VOGL, A. L.; ROGERS, L.; BIERBOWER, W.; DENU, D.; DOUGLASS, J. **InVEST 3.7.0.post9+ug.h12fced18548 User's Guide**. The Natural Capital Project; Stanford University; University of Minnesota; The Nature Conservancy; World Wildlife Foundation, 2018. 308 p.

TADONO, T.; NAGAI, H.; ISHIDA, H.; ODA, F.; NAITO, S.; MINAKAWA, K.; IWAMOTO, H. Generation of the 30 M-Mesh Global Digital Surface Model by ALOS Prism. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B4, p. 157–162, 2016.