

# CAPÍTULO 12

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E MODELO DIGITAL DE TERRENO HIDROLOGICAMENTE CONSISTENTE NA ESTIMATIVA DA EXPORTAÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IQIRI (ITUXI)-AC

Rogério Resende Martins Ferreira  
Gabriel de Paula Rodrigues

### RESUMO


Estudos sobre serviços ecossistêmicos vêm ganhando destaque no uso de técnicas de modelagem, com ferramentas modernas para análise e avaliação. São exemplos dessas técnicas os modelos usados para alcançar melhor compreensão do impacto das atividades de uso do solo e de diferentes práticas de gestão sobre os processos hidrológicos que afetam a superfície hídrica, a erosão do solo e o transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas. Dentre as ferramentas de gestão de serviços ecossistêmicos, o software InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) destaca-se pela sua simplicidade. Desenvolvido como parte do projeto Capital Natural, uma parceria entre Universidade de Stanford, The Nature Conservancy (TNC), World Wildlife Fund (WWF) e outras instituições, o software InVEST tem como o objetivo avaliar os benefícios e trade-offs dos serviços ecossistêmicos sob uma variedade de cenários de uso e cobertura da terra e auxiliar no processo de tomada de decisão de gestores ambientais. Tendo em vista dar suporte para resultados mais precisos sobre perdas de sedimentos em bacias hidrográficas, este trabalho teve como objetivo fazer uma análise comparativa entre modelo digital de elevação (MDEs) e modelo digital de terreno hidrologicamente consistente (MDTHCs) na estimativa da exportação de sedimentos localizados na área de estudo na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi)–AC, utilizando o software InVEST a partir do atual cenário de cobertura e uso da terra. Considerando-se a bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) no estado do Acre e o uso do modelo Sediment Delivery Ratio do software InVEST, as estimativas das taxas de sedimentos exportados empregando-se os mapas gerados pelo modelo digital de elevação (MDE) e pelo modelo digital de terreno hidrologicamente consistente (MDTHC) devem ser utilizadas com bastante precaução, principalmente o MDE, visto que as altitudes são tomadas no topo da vegetação e não no nível do solo. É necessário ater-se à qualidade dos modelos para que não apresentem depressões espúrias e falsas depressões criadas às células de maior valor que cercam uma célula de menor valor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão; Modelagem; Sustentabilidade.

### 1 INTRODUÇÃO

A integração dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), ferramentas de análise estatísticas, Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e Modelos Digitais de Terreno (MDT) têm aumentado o poder analítico da geomorfologia (EVANS *et al.*, 2009).

Os MDEs são muito utilizados por prover coberturas contínuas para áreas extensas e com relativo baixo custo, sendo que a computação digital automatizada fornece as medidas de formas da superfície, de contexto, de padrões e de textura que podem ser utilizados como substitutos para os critérios considerados na interpretação visual de imagens ou fotografias aéreas (HENGL; MACMILLAN, 2009).



Conceitualmente, conforme apontam Pike *et al.* (2009) e Li *et al.* (2005), há muitas divergências conceituais entre os termos empregados, sobretudo entre “Modelo Digital de Elevação” e “Modelo Digital de Terreno”, sendo que muitas vezes ambos são empregados como sinônimos.


Segundo El-Sheimy *et al.* (2005), os Modelos Digitais de Terreno (MDT) se referem aos valores altimétricos do terreno desconsiderando quaisquer objetos na superfície (como árvores ou construções). Já os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) se referem aos valores altimétricos contemplando os objetos existentes na superfície.

Quanto às aplicações, Hengl e MacMillan (2009) citam que o principal argumento da utilização de MDEs e MDTs para o mapeamento e modelagem de paisagens naturais é a variedade de medidas, mensurações e objetos que podem ser derivados pela análise automatizada dos dados. Essa análise pode extrair, de modo rápido e consistente, muitos parâmetros ou objetos que podem ser considerados como análogos diretos dos critérios utilizados pelo intérprete manual para identificar e delinear objetos aplicados à pedologia, ecologia, geomorfologia e geologia.

Estudos sobre serviços ecossistêmicos vêm ganhando destaque no uso de técnicas de modelagem, com ferramentas modernas para análise e avaliação. São exemplos dessas técnicas os modelos usados para alcançar melhor compreensão do impacto das atividades de uso do solo e de diferentes práticas de gestão sobre os processos hidrológicos que afetam a superfície hídrica, a erosão do solo e o transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas (GOLMOHAMMADI *et al.*, 2014).

Dentre as ferramentas de gestão de serviços ecossistêmicos, o software InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) destaca-se pela sua simplicidade. Desenvolvido como parte do projeto Capital Natural, uma parceria entre Universidade de Stanford, The Nature Conservancy (TNC), World Wildlife Fund (WWF) e outras instituições, o software InVEST tem como o objetivo avaliar os benefícios e trade-offs dos serviços ecossistêmicos sob uma variedade de cenários de uso e cobertura da terra e auxiliar no processo de tomada de decisão de gestores ambientais (DENNEDY-FRANK *et al.*, 2016).

O modelo SDR (Sediment Delivery Ratio) do software InVEST consiste, basicamente, em um modelo espacialmente explícito, pois utilizam dados em formato matricial como fonte de informações e quase todos os seus resultados são expressos em mapas (SHARP *et al.*, 2020). Porém, para que os resultados sejam expressos em quantidades absolutas, é necessário fazer a



calibração e validação do modelo; caso contrário, somente resultados em quantidades relativas são alcançados. A resolução espacial adotada no modelo é flexível, permitindo análises em escala local, regional ou global. É possível criar cenários para elevar o nível de informação sobre a área de avaliação. As principais características são: compilação de modelos teóricos consagrados que requerem uma quantidade pequena de dados e foco nas ações para subsidiar a tomada de decisão sobre a gestão ambiental.

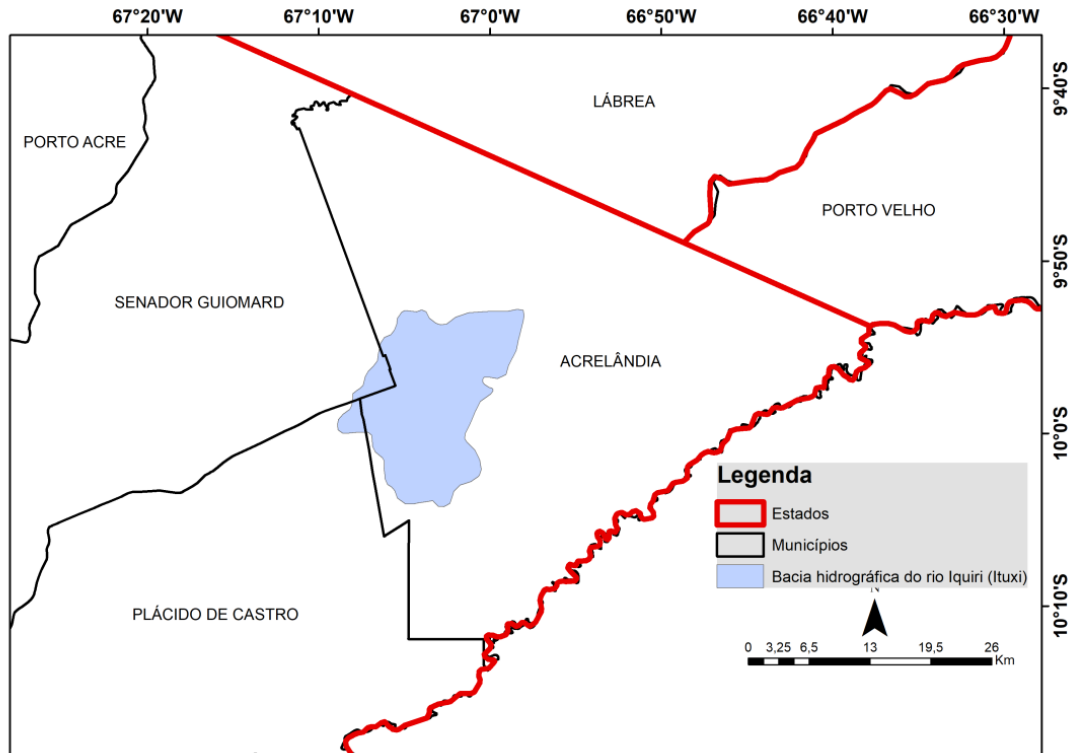
O SDR estima a perda de solos por erosão laminar a partir da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos – USLE – (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Apesar de suas limitações, constitui o modelo empírico mais conhecido e utilizado, e possibilita estimar valores referentes às perdas de solos anuais por erosão laminar e à exportação de sedimentos, identificando áreas mais críticas que necessitam de monitoramento e que constituem áreas prioritárias para a conservação dos recursos hídricos e implantação de programas de serviços ambientais que visam o controle da erosão e sedimentação.

Tendo em vista dar suporte para resultados mais precisos sobre perdas de sedimentos em bacias hidrográficas, este trabalho teve como objetivo fazer uma análise comparativa entre modelo digital de elevação (MDEs) e modelo digital de terreno hidrologicamente consistente (MDTHCs) na estimativa da exportação de sedimentos localizados na área de estudo na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi)– AC, utilizando o software InVEST a partir do atual cenário de cobertura e uso da terra.

## 2 METODOLOGIA

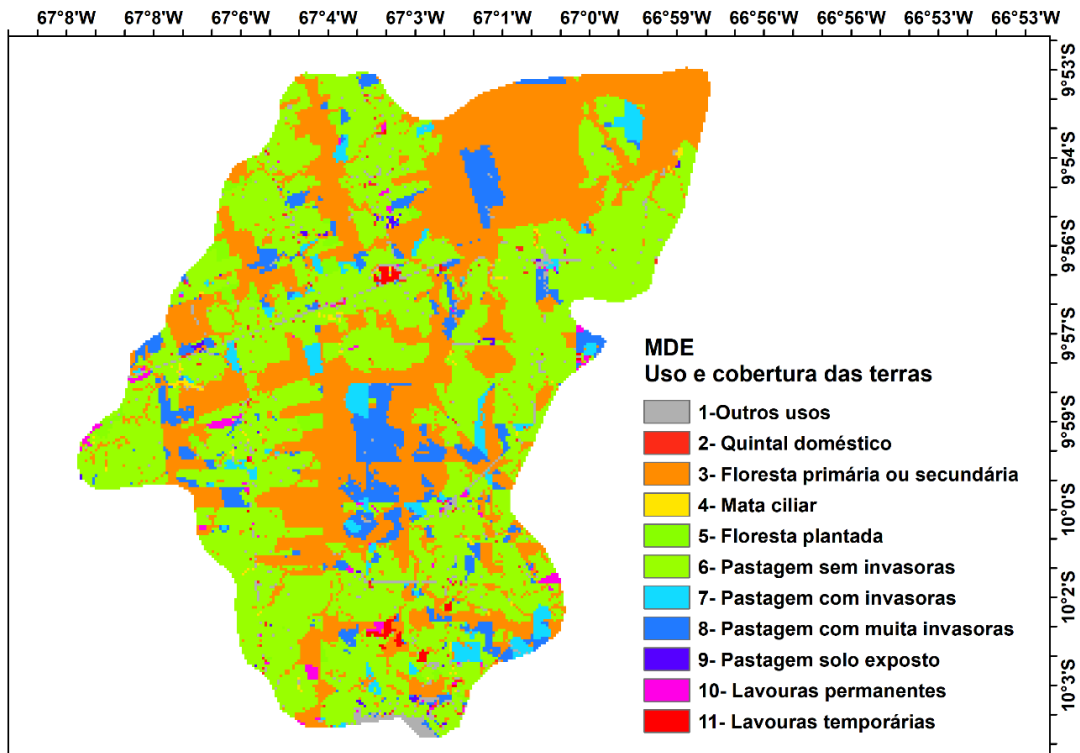
A área de estudo, com 24.612,05 ha está situada no estado do Acre (Figura 1). Corresponde à parte da bacia do Rio Ituxi ou Iquiri a montante da foz de um de seus afluentes da margem direita, situada no ponto de coordenadas 66°57'56,6"W e 9°53'0,5"S. Abrange parte dos municípios de Acrelândia, Senador Guimard e Plácido de Castro. A figura 2 apresenta o uso e ocupação do solo atual (QUARTAROLI *et al.*, no prelo).

**Figura 1:** Área de estudo na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) - AC.

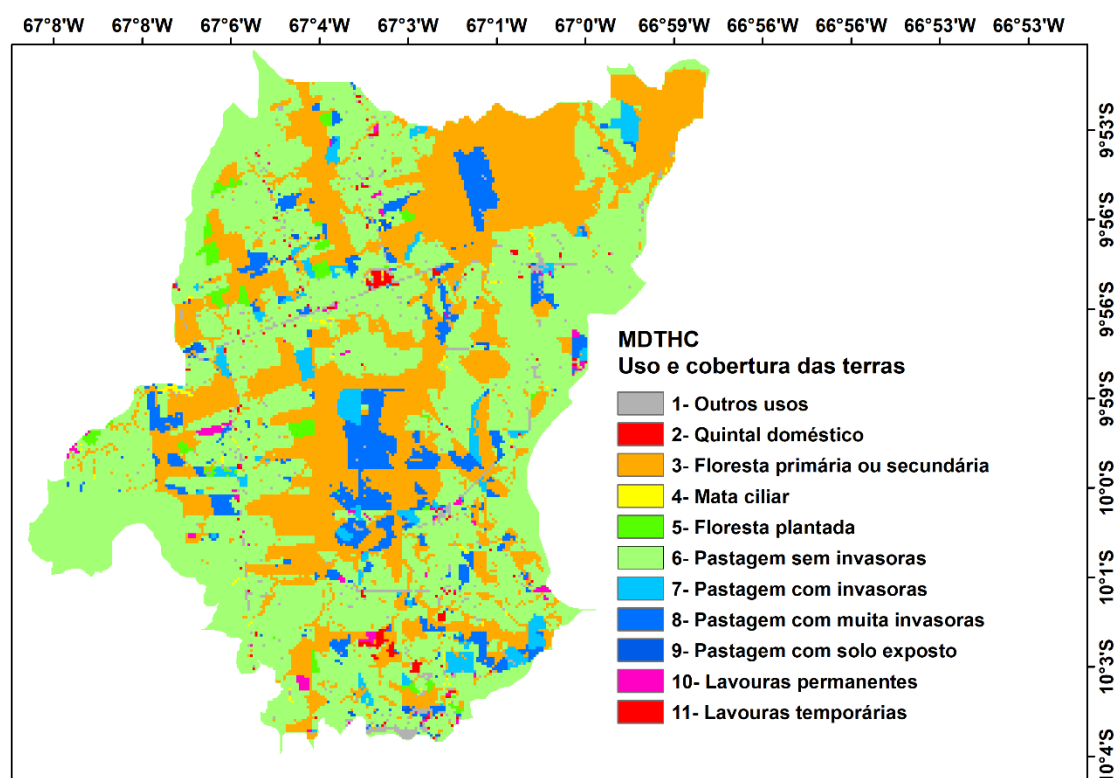
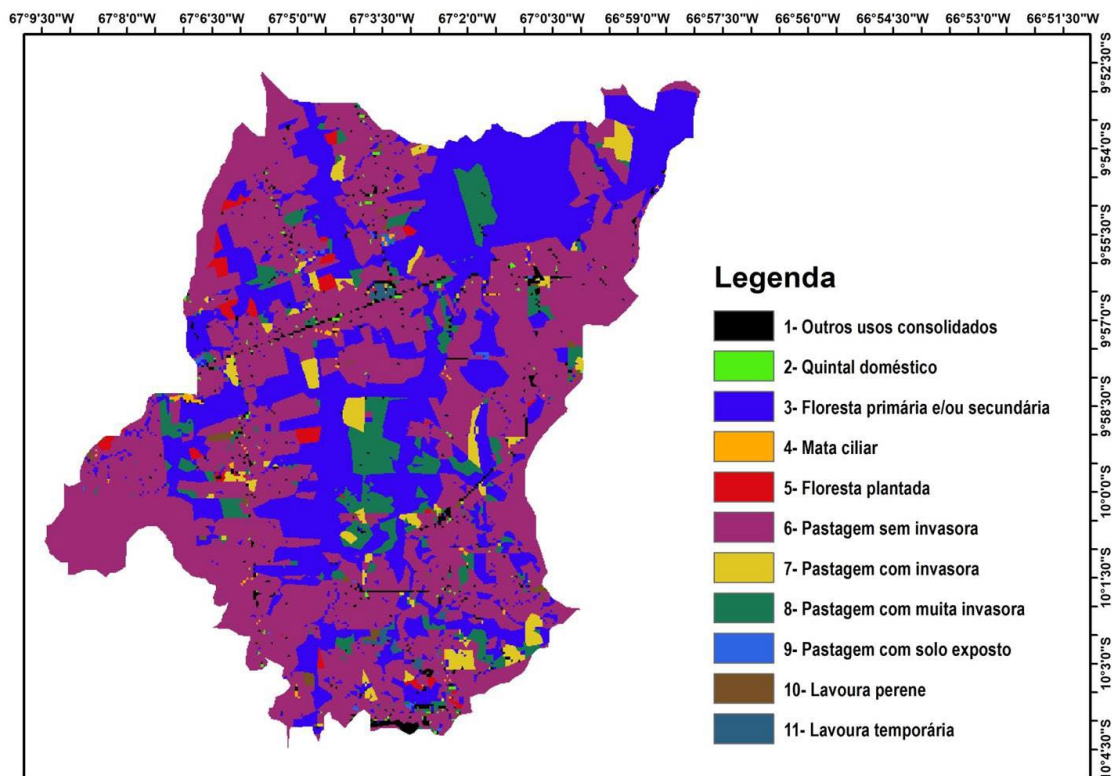


Fonte: Dados da pesquisa (2024).

**Figura 2:** Classes de uso e ocupação da terra atual na área de estudo da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) - AC nos limites MDE e MDTHC.







Fonte: Quartaroli (*et al.*, 2023, p. 48.).

Em termos da análise sedimentológica, o SDR foi aplicado como forma de estimar a erosão total e a grandeza dos sedimentos na área estudada. Para tanto, o modelo baseia na abordagem conceitual proposta por Borselli *et al.* (2008), representado pela Equação 1.

$$\text{Total exportado} = \sum_{\text{pixel } i} \text{usle}_i \times \text{SDR}_i \quad (1)$$

Assim, calcula-se a quantidade de sedimentos erodidos ( $\text{usle}_i$ ) e, posteriormente, o sedimento exportado ( $\text{SDR}_i$ ) representa a proporção da perda de solo que realmente atinge o exutório da bacia. Enquanto que a carga de sedimento pixel de interesse ( $E_i$ ) é dada pela equação 2:

$$E_i = \text{usle}_i \times \text{SDR}_i \quad (2)$$

O modelo utiliza a equação de perda de solo (USLE) dada pela equação 3:

$$\text{usle}_i = R * K * L * S * C * P \quad (3)$$

Onde:

$\text{usle}_i$  = Perda de solo em  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

R = fator erosividade, índice de erosão pela chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );

K = fator erodibilidade dos solos face suas características físicas ( $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ );

L = índice relativo ao comprimento da vertente ou rampa;

S = índice relativo à declividade média da vertente ou rampa;

C = índice relativo ao uso e manejo da terra;

P = índice relativo à prática conservacionista adotada.

A equação da taxa de sedimento exportado (SDR) proposta por Vigiak *et al.* (2012), é dada pela equação 4:

$$\text{SDR}_i = \text{SDR}_{\text{max}} / 1 + \exp[(\text{IC}_0 - \text{IC}_i)/k] \quad (4)$$

Onde  $\text{SDR}_{\text{max}}$  é o SDR teórico máximo, ajustado para um valor médio de 0,8 (VIGIAK *et al.*, 2012), e  $\text{IC}_0$  e  $k$  são parâmetros de calibração que definem a forma da relação SDR-IC (função crescente).

O índice de conectividade (IC) demonstrado na Equação 4 foi desenvolvido por Borselli *et al.* (2008) para reproduzir o transporte de sedimentos em escoamento superficial. O índice modela a exportação ou retenção do sedimento, pixel a pixel, com base na relação entre as declividades dos pixels vizinhos, conforme dado pela equação 5:

$$\text{IC} = \log_{10} (D_{\text{acima}} / D_{\text{abaixo}}) \quad (5)$$

Onde:

$D_{\text{acima}}$  é a declividade do pixel acima

$D_{\text{abaixo}}$  é a declividade do pixel abaixo

A partir da integração de dados morfométricos (declividades e comprimento de rampa), de precipitações (erosividade), propriedades dos solos (erodibilidade) e classes de uso e cobertura da terra, o módulo SDR permite calcular a perda de solo média anual de cada parcela de terra, além de determinar o quanto de solo pode chegar a um determinado ponto de interesse e avaliar o custo de remoção do sedimento acumulado (THOMPSON; FIDALGO, 2013).

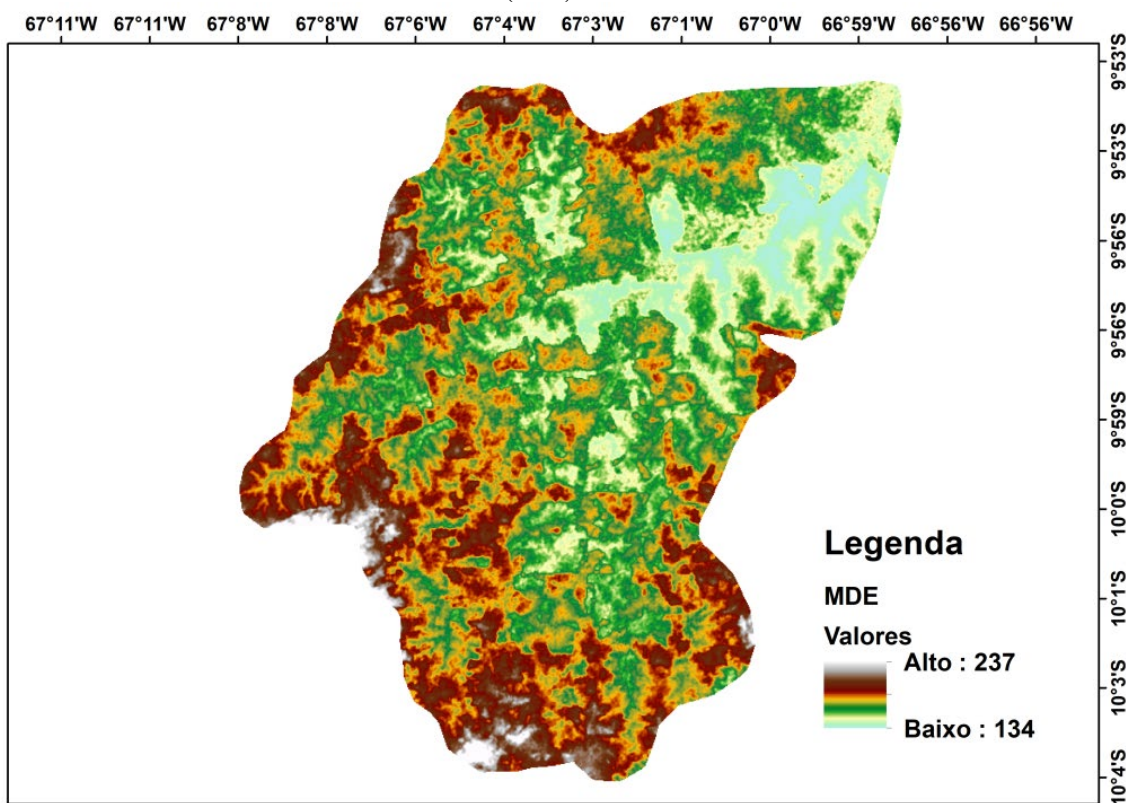
Os dados morfométricos (índices L e S) são obtidos automaticamente pelo InVEST a partir de um modelo digital de elevação (MDE) ou modelo digital de terreno (MDT). Para análise comparativa nessa pesquisa utilizaram-se:

1) MDE – produto da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (Carvalho; Bayer, 2008) que gerou MDE com pixel de 30m x 30 m de resolução. (Figura 3). Destaca-se o erro do modelo com a cobertura vegetal, pois as altitudes são tomadas no topo da vegetação e não no nível do solo. Em áreas na Amazônia, com florestas de até 30 metros de altura em contato com áreas desmatadas gera desníveis abruptos de 30 metros no terreno, inexistentes.

2) MDTHC – produto do interpolador Topo to Raster e a extensão Arc Hydro Tools, presentes no ArcMap 10.8 (HUTCHINSON, 1988), que gerou um MDTHC com pixel de 30m x 30m (Figura 4). A interpolação é realizada com base em dados vetoriais, com pontos cotados, curvas de nível e hidrografia. 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. Para o polígono da área de estudo, o “Tipo” selecionado foi Boundary. Para o tipo principal de dado utilizado, foi selecionada a camada das curvas de nível (Contour) (HYSLOP; GALDINO, 2021).

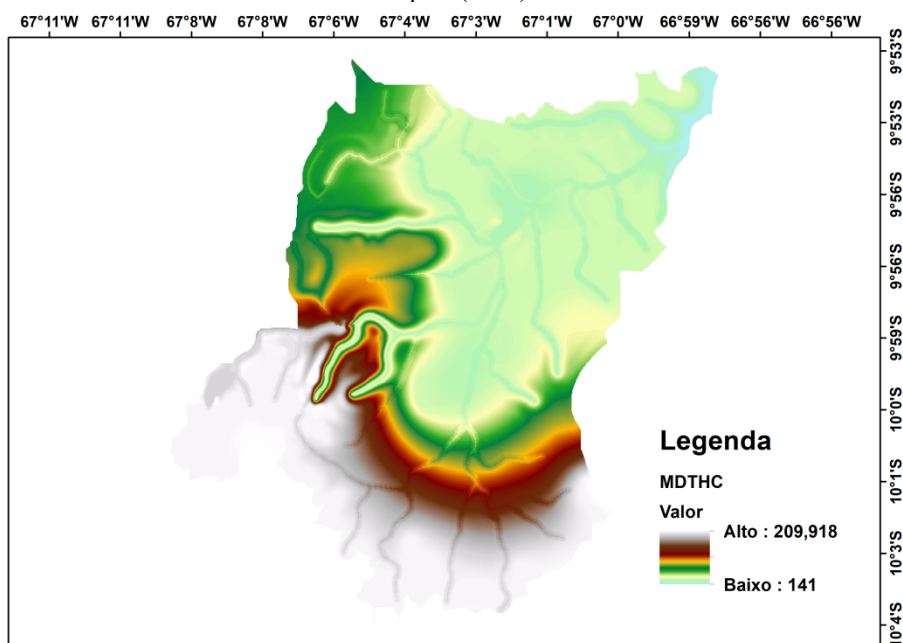


**Figura 3:** Modelo digital de elevação (MDE, SRTM 30 m) da área de estudo da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi)-AC.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

**Figura 4:** Modelo digital de terreno hidrológicamente consistente (MDTHC, SRTM 30 m) da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi)-AC.



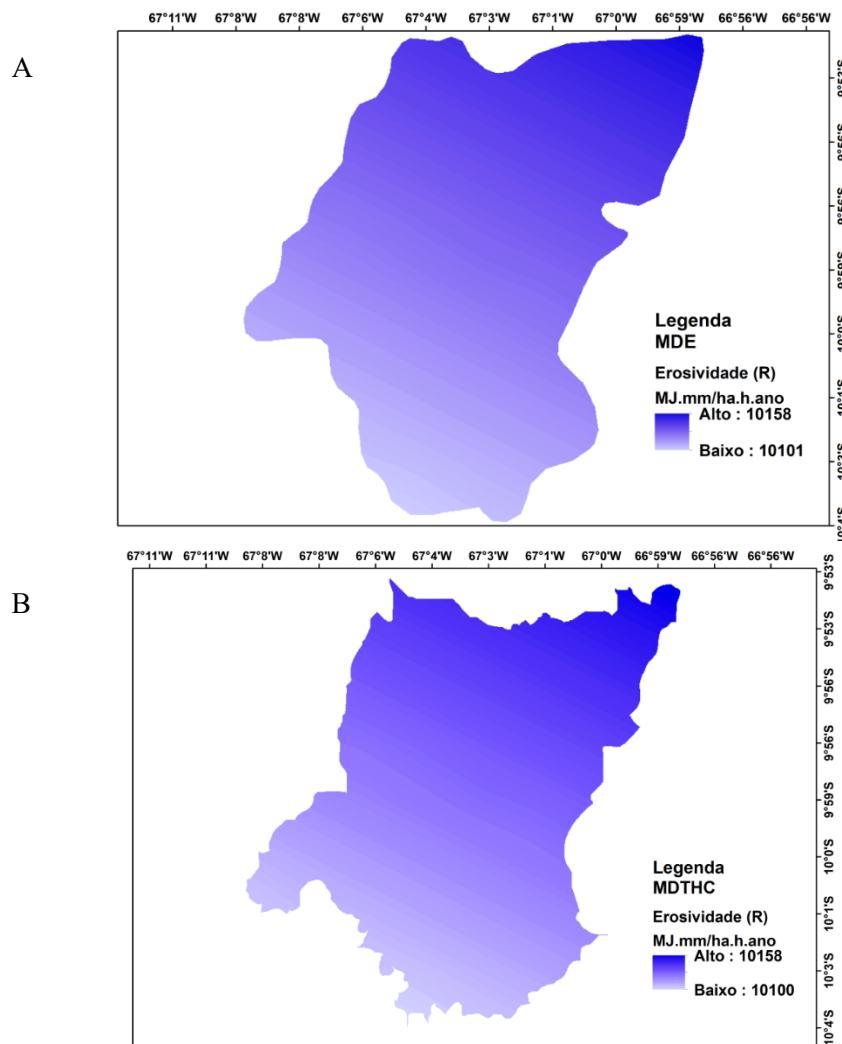
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Os dados referentes à erosividade (fator R) requeridos pelo SDR foram preparados na forma de um mapa isoerodente, em formato raster (30 m) com base nos valores de erosividade.



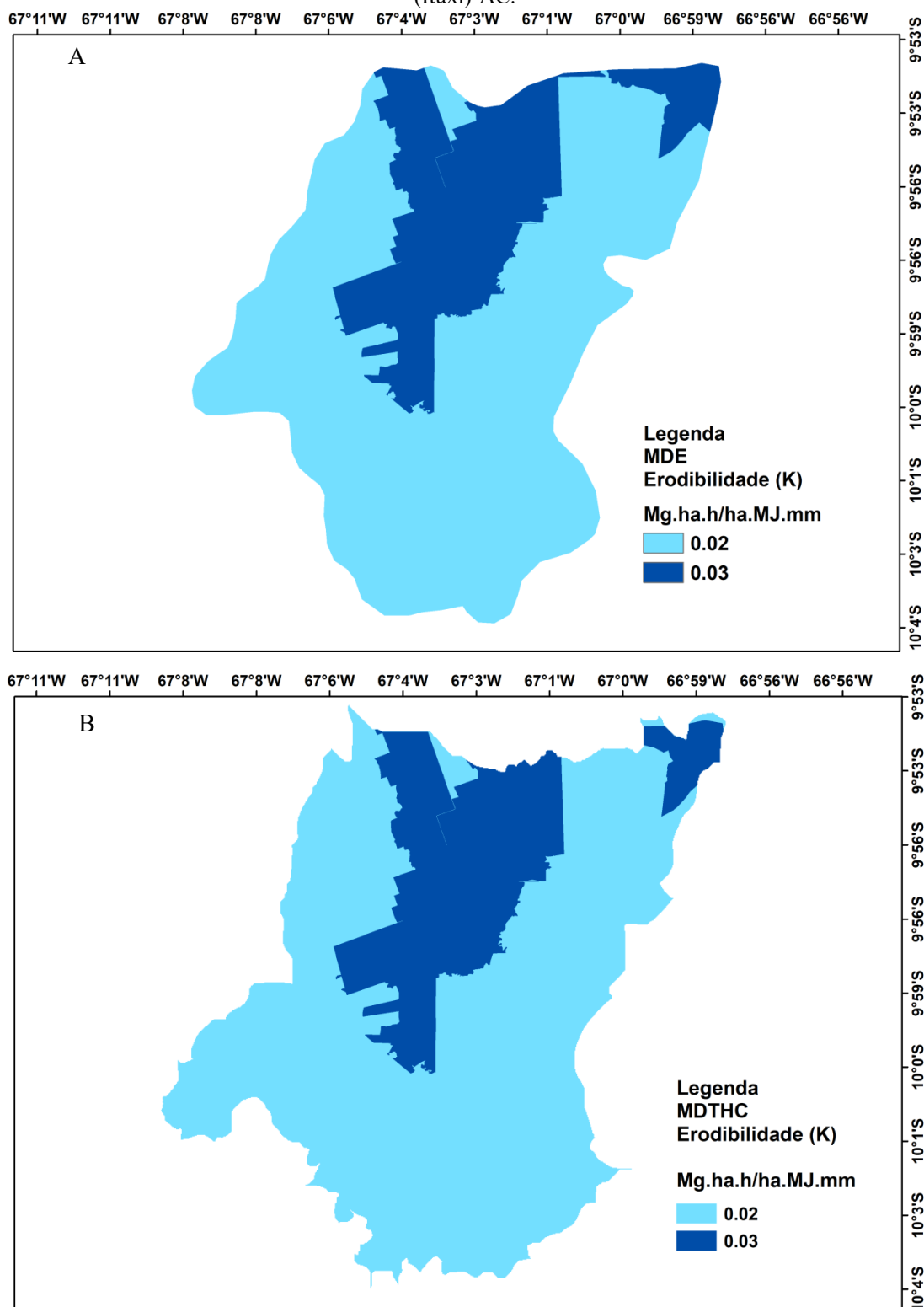
Para a elaboração deste mapa, utilizaram-se os dados de erosividade obtidos por Oliveira et al. (2012) (Figura 5). O fator K (erodibilidade do solo) foi atribuído para cada classe do mapa de solos de Silva *et al.* (2006) de acordo com referências encontradas na literatura (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985) (Figura 6). O mapa foi convertido para o formato raster (30 m) e reclassificado com base nos valores de erodibilidade ( $\text{Mg ha h MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) para cada tipo de solo.

**Figura 5:** Erosividade da chuva com os limites MDEs (A) e MDTHCs (B) da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi)-AC.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

**Figura 6:** Erodibilidade do solo com os limites MDEs (A) e MDTHCs (B) da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi)-AC.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Além do mapa de uso e cobertura da terra em formato *raster* (30 m) figura 2, o SDR requer uma tabela em formato CSV com os valores dos índices C (índice relativo ao uso e manejo da terra) e P (índice relativo à prática conservacionista adotada) para cada classe de uso

e cobertura das terras (Tabela 1). Para os índices C foram utilizados dados da literatura (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985; GALDINO, 2012). Para os índices P de todas as classes de uso e cobertura das terras aplicou-se arbitrariamente o valor 1, visto que não foram checados in loco as práticas conservacionistas adotadas na área de estudo.

**Tabela 1:** Valores do índice relativo ao uso e manejo da terra (C) e do índice relativo à prática conservacionista adotada (P) para diferentes classes de uso e cobertura das terras da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) – AC.

<b>Lucode</b>	<b>Classes de uso e cobertura das terras</b>	<b>C</b>	<b>P</b>
1	Outros usos	0.0000	1
2	Quintal doméstico	0.0080	1
3	Floresta primária ou secundária	0.0004	1
4	Mata ciliar	0.0008	1
5	Floresta plantada	0.0080	1
6	Pastagem sem invasoras	0.0070	1
7	Pastagem com invasoras	0.0084	1
8	Pastagem com muita invasoras	0.0026	1
9	Pastagem solo exposto	0.0250	1
10	Lavouras permanentes	0.0400	1
11	Lavouras temporárias	0.0821	1

**Fontes:** Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Galdino (2012).

## 2.1 Parâmetros de Calibração

### 2.2 Limite de Acúmulo de Fluxo (Threshold Flow Accumulation)


O parâmetro de limite de acúmulo de fluxo (*Threshold Flow Accumulation* – TFA) corresponde ao número de pixels que devem seguir das nascentes para uma célula antes de ser considerada parte de um rio, sendo utilizado para classificar os cursos hídricos do modelo digital de elevação (MDE) ou modelo digital de terreno hidrologicamente consistente (MDTHC). O valor limite de acúmulo de fluxo, que reproduz da melhor maneira a rede de drenagem da área de estudo, foi 75 para o MDE e MDTHC.

### 2.3 Borselli

Quanto aos parâmetros de calibração  $K_b$  e  $IC_0$  que determinam a forma da relação entre a conectividade hidrológica e a taxa de entrega de sedimentos, utilizou os valores padrões sugeridos pelo InVest de 2 para o  $K_b$  e 0,5 para  $IC_0$  (Sharp, et al., 2016) devido a falta de dados próprios para calibração tanto no MDE como no MDTHC

### 2.4 Max SDR Value

O valor máximo de SDR que um pixel pode ter. Esta é uma função da textura do solo. Mais especificamente, é definida como a fração de partículas do solo superficial mais finas que



a areia grossa (1000  $\mu\text{m}$ ; Vigiak et al. 2012). Este parâmetro pode ser usado para calibração em estudos avançados. Seu valor padrão é 0,8.

## 2.5 Comprimento máximo de rampa (“Max L Value”)

O fator topográfico (LS) combina fatores L (função do comprimento de rampa) e S (função da declividade média) o valor foi 100 tanto no MDE como no MDTHC.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados, a partir da aplicação do modelo SDR, mostram uma estimativa dos valores de exportação, deposição e retenção de sedimentos, considerando as classes de uso e cobertura das terras, bem como as classes de solo apresentadas na análise comparativa com MDEs e MDTHCs, considerando o cenário atual. De acordo com as estimativas apresentadas na tabela 2, as maiores taxas de sedimentos exportados pelo MDE foram referentes a áreas destinadas a pastagens, sem invasoras ou cultivos, tanto temporários quanto permanentes, acumulando valores de, respectivamente, 38.176,74 Mg/ano, 2.937,07 Mg/ano, 5.436,00 Mg/ano. Porém, as classes de uso de lavouras permanente e temporária estão em áreas menores 172,69 ha e 88,62 ha em relação à área de pastagem sem invasoras com 12.063,05 ha. Já as maiores taxas de sedimentos exportados no MDTHC foram em áreas destinadas às pastagens sem invasoras, lavouras permanentes e floresta plantada com valores de 7.729,14 Mg/ano, 1.893,67 Mg/ha.ano, 635,45 Mg/ha.ano respectivamente. Contudo, as classes de uso de lavouras permanentes e floresta plantada estão em áreas menores 172,69 ha e 287,83 ha em relação à área de pastagem sem invasoras com 12.063,05 ha.

As estimativas de sedimentos totais exportados (Tabela 2) são de 53.044,86 Mg/ano para o MDE e 11.680,92 Mg/ano para o MDTHC com uma diferença de 41.363,94 Mg/ano (77,98%), As maiores diferenças de sedimentos exportados em relação aos modelos (MDE e MDTHC) são as classes lavouras temporárias 4.973,66 Mg/ano (91,49%), pastagem com solo exposto 431,11 Mg/ano (89,67%) pastagem com muita invasoras 1.293,15 Mg/ano (86,52%). No MDE percebe-se uma elevada estimativa de sedimentos exportados, o que podem ser atribuídos aos dados morfométricos (índices L e S) que são obtidos automaticamente pelo modelo.



**Tabela 2:** Área e estimativas de perda de sedimentos exportados (Total e por Hectare) com o uso de modelo digital de elevação (MDE) e modelo digital de terreno hidrológicamente consistente (MDTHC) em diferentes classes de uso e cobertura das terras da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) - AC.

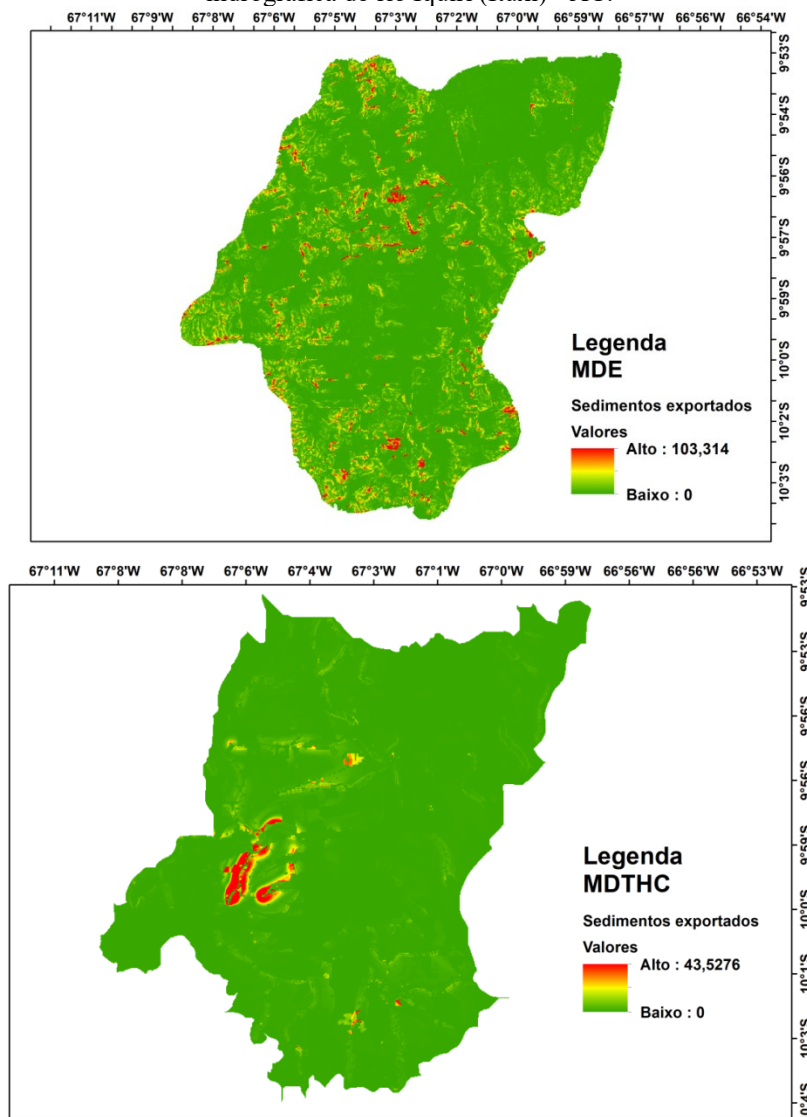
Classes de uso e cobertura das terras	Área (ha)	Sedimentos Exportados (Mg ano <sup>-1</sup> )			
		Total		Hectare	
		MDE	MDTHC	MDE	MDTHC
Outros usos	574,99	0,00	0,00	0,00	0,00
Quintal doméstico	84,39	111,41	42,56	1,32	0,50
Floresta primária ou secundária	8829,46	958,30	172,75	0,11	0,02
Mata ciliar	82,89	12,68	10,39	0,15	0,13
Floresta plantada	287,83	1223,27	635,45	4,25	2,21
Pastagem sem invasoras	12063,05	38176,74	7729,14	3,16	0,64
Pastagem com invasoras	667,86	2213,97	483,46	3,32	0,72
Pastagem com muita invasoras	1711,31	1494,66	201,51	0,87	0,12
Pastagem solo exposto	48,96	480,76	49,65	9,82	1,01
Lavouras permanentes	172,69	2937,07	1893,67	17,01	10,97
Lavouras temporárias	88,62	5436,00	462,34	61,34	5,22
<b>TOTAL</b>	<b>24612,05</b>	<b>53044,86</b>	<b>11680,92</b>	<b>--</b>	<b>--</b>

**Fonte:** Dados da pesquisa (2024).

Os resultados da estimativa de sedimentos exportados (Figura 7) com os limites MDE e MDTHC obtidos pela aplicação do modelo SDR do software InVEST referem-se aos sedimentos exportados da média anual de cada parcela de terra, neste caso, a exportação de sedimentos por área do pixel (30 x 30 metros). No MDE, os pontos em vermelho são as áreas de lavouras permanentes e temporárias que apresentam a maior taxa de sedimentos exportados (Mg/ano), que chegaram a aproximadamente 103,31 Mg ano por pixel (900 m<sup>2</sup>). No MDTHC, os pontos em vermelho são as áreas de pastagem sem invasoras e lavouras permanentes, que apresentam a maior taxa de sedimentos exportados (Mg/ano), que chegaram a aproximadamente 43,52 Mg ano por pixel (900 m<sup>2</sup>).

Apesar da elevada estimativa de sedimentos exportados por pixel por ano no MDE em relação ao MDTHC, nota-se que os mapas representam de formas diferentes os locais com maiores e menores taxas de sedimentos exportados (Figura 7). Isto pode indicar a precaução de quais locais devem receber maior atenção quanto a taxa de sedimentos exportados na área de estudo na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) – AC. Visto que, dentro da região, a área de estudo possui grandes contribuições para os serviços ecossistêmicos disponíveis para a população local, tornando sua caracterização importante para decisões dos gestores ambientais locais e regionais.

**Figura 7:** Sedimentos exportados (Mg/ano) com os limites MDE e MDTHC na área de estudo da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) - AC.



**Fonte:** Dados da pesquisa (2024).

A sustentabilidade ambiental das bacias hidrográficas, neste contexto, tem como objetivos restabelecer habitats específicos e a função do ecossistema, melhorar a qualidade da água, ajudar na recuperação de espécies e manter a prestação de serviços ecossistêmicos (SHARP *et al.*, 2016). Compreender os benefícios da alteração do uso do solo a partir da adoção de técnicas para a restauração florestal, bem como da adoção de práticas conservacionistas do solo no comportamento e na capacidade de geração de serviços ecossistêmicos é de fundamental importância no planejamento territorial. Assim, proteger e recuperar bacias hidrográficas degradadas ou em degradação contempla uma parte essencial das estratégias futuras para fornecer água potável e garantir segurança hídrica da população.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se a bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) no estado do Acre e o uso do modelo Sediment Delivery Ratio do software InVEST, as estimativas das taxas de sedimentos exportados empregando-se os mapas gerados pelo modelo digital de elevação (MDE) e pelo modelo digital de terreno hidrologicamente consistente (MDTHC) devem ser utilizadas com bastante precaução, principalmente o MDE, visto que as altitudes são tomadas no topo da vegetação e não no nível do solo. depressões criadas às células de maior valor que cercam uma célula de menor valor.

## REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.
- BORSELLI, L.; CASSI, P.; TORRI, D. Prolegomena to Sediment and Flow Connectivity in the Landscape: A GIS and field Numerical Assessment. **Catena**, v. 75, n. 3, p. 268-277, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.006>. Acessado em: Mar. 2024.
- CARVALHO, T. M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da ‘shuttle radar topography mission’ (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v9i1.99>. Acessado em: Mar. 2024.
- DENNEDY-FRANK, P. J. *et al.* Comparing two tools for ecosystem service assessments regarding water resources decisions. **Journal of Environmental Management**, v. 177, n.15, p. 331–340, Abr, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.012>. Acessado em: Mar. 2024.
- EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital Terrain Modelling: Acquisition, Manipulation and Applications**. Norwood-Massachusetts: Artech House, Inc., 2005
- EVANS, I. S.; HENGL, T.; GORSEVSKI, P. Applications in Geomorphology. *In*: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Eds.). **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, p. 497-526, 2009.
- GALDINO, S. **Estimativa da perda de terra sob pastagens cultivadas em solos arenosos da bacia hidrográfica do Alto Taquari- MS/MT**. 2012. 99p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/937957>. Acessado em: Mar. 2024.
- GOLMOHAMMADI, G. *et al.* Evaluating Three Hydrological Distributed Watershed Models: MIKE-SHE, APEX, SWAT. **Hydrology**, v. 1, p. 20-39, 2014. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5338/1/1/20>. Acessado em: Mar., 2024.
- HENGL, T.; MACMILLAN, R. A. Geomorphometry - A Key to Landscape Mapping and Modelling. *In*: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Eds.). **Geomorphometry - Concepts, Software,**

**Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, p. 433-460, 2009.

HUTCHINSON, J. N. **General report**: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *In*: 5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, v. 1, p. 3–35, 1988, Lausanne. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics (Abstracts) Publ Rotterdam: A A Balkema, 1988. Disponível em: [https://books.google.com.br/books/about/Landslides.html?id=iLG5xwEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Landslides.html?id=iLG5xwEACAAJ&redir_esc=y). Acessado em: Mar. 2024.

HYSLOP, K.; GALDINO, S. **Geração de modelo digital de terreno hidrológicamente consistente para delimitação de bacia hidrográfica na Amazônia**. *In*: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15, 2021, Anais... Instituto de Zootecnia. Campinas:, p.1-12, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1134173/geracao-de-modelo-digital-de-terreno-hidrológicamente-consistente-para-delimitacao-de-bacia-hidrografica-na-amazonia>. Acessado em: Mar., 2024.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital Terrain Modeling**: Principles and Methodology. Boca Raton: CRC Press, 2005.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: a review. **Catena**, v. 100, p. 139-147, 2012.

PIKE, R. J.; EVANS, I.; HENGL, T. Geomorphometry: A Brief Guide. *In*: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Eds.). **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, p. 3-30, 2009.

QUARTAROLI, C. F. *et al.* **Uso e cobertura das terras em parte da Bacia do Rio Ituxi, municípios de Acrelândia, Senador Guimard e Plácido de Castro, estado do Acre**. Campinas: Embrapa Territorial, p.1-39, 2023.

SHARP, R. *et al.* **InVEST 3.11.0**. User's Guide. The Natural Capital Project. Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2020.

SILVA, J. M. L. *et al.* **Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos no município de Acrelândia, Estado do Acre**. Folhetos, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 2006.

THOMPSON, D.; FIDALGO, E. C. C. **Vulnerabilidade dos solos à erosão**: estimativa da perda de solos na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu – RJ. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 1-30, 2013.

VIGIAK, O. *et al.* **Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio**. vol. 138, n. 1, p. 74–88. *Geomorphology*, 2012.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA-ARS Agriculture Handbook, 1978.