

DINÂMICA DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO DOURADO EM APUÍ – AM

Lauro R. Nogueira Junior¹, Rogério R. M. Ferreira², Ângelo M. Mendes³, Sérgio G. Tôsto⁴

¹ Embrapa Territorial, Campinas-SP, lauro.nogueira@embrapa.br; ² Embrapa Territorial, Campinas-SP, rogerio.ferreira@embrapa.br; ³ Embrapa Territorial, Campinas-SP, angelo.mansur@embrapa.br; ⁴ Embrapa Territorial, Campinas-SP, sergio.tosto@embrapa.br.

RESUMO

As mudanças do uso e cobertura da terra podem modificar a dinâmica de sedimentos em uma bacia hidrográfica (BH). Compreender de onde os sedimentos saem e para onde são depositados pode permitir melhores tomadas de decisão em escala de paisagem e de propriedade rural. O presente estudo teve como objetivo estimar e espacializar os sedimentos erodidos, exportados e depositados na bacia do rio Dourado em Apuí/AM. Para tanto, foi usado o modelo Sediment Delivery Ratio (SDR) do software Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST). Foram estimados 99.842 toneladas/ano de sedimentos erodidos, dos quais 4.590 foram exportados e 95.248 foram depositados em outras áreas da BH. A distribuição espacial dos sedimentos aponta os locais mais críticos que precisam de atenção, estratégias e tecnologias de conservação do solo e da água que possam ser implementadas.

Palavras-chave — Amazônia, modelagem, software InVEST, mudança no uso da terra.

ABSTRACT

Changes in land use and land cover can modify sediment dynamics in a watershed. Understanding where sediments come from and where they are deposited can enable better decision making at landscape and farm scale. The present study aimed to estimate and spatialize the eroded, deposited and exported sediments in the Dourado River watershed in Apuí/AM. For this purpose, the Sediment Delivery Ratio model of the Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs software was used. Were estimated 99,842 tons/year of eroded sediments, of which 4,590 were exported and 95,248 were deposited in other areas of the watershed. The spatial distribution of sediments points out the most critical places that need attention, strategies and technologies for soil and water conservation that can be implemented.

Key words — Amazon, modelling, software InVEST, land use change.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças do uso e cobertura da terra podem modificar drasticamente a quantidade de sedimentos que escoam de uma bacia hidrográfica (BH) [1]. A magnitude deste efeito é regida principalmente pelas principais fontes de sedimentos

e pela distribuição espacial das fontes e sumidouros. As principais fontes de sedimentos incluem erosão laminar, em sulco, voçorocas e margens dos cursos d'água. Já os sumidouros incluem deposição em taludes, planícies de inundação, cursos d'água e reservatórios. Assim, a erosão e a retenção de sedimentos no solo são processos naturais que determinam a concentração de sedimentos nos cursos d'água e na paisagem [1] [2].

Aumentos na produção de sedimentos podem afetar drasticamente a qualidade da água e a capacidade de armazenamento dos reservatórios de água [2]. Compreender de onde os sedimentos saem e para onde são depositados permite que, em escala de paisagem, os gestores de recursos hídricos definam estratégias e os produtores rurais, em escala de propriedade rural, usem tecnologias que reduzam as cargas de sedimentos. Com isso, em qualquer uma das escalas, pode-se conseqüentemente impactar positivamente no desempenho de reservatórios, no tratamento de água, na irrigação, entre outros.

O modelo Sediment Delivery Ratio (SDR) do software Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) possibilita estimar e espacializar a quantidade dos sedimentos terrestres erodidos, exportados, retidos e depositados em uma escala de tempo anual [3]. Além de orientar gestores, tais informações podem ser utilizadas para estudar o serviço ecossistêmico de retenção de sedimentos em uma BH. Isto é de particular interesse para a gestão de reservatórios e da qualidade da água afluente. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo estimar e espacializar os sedimentos erodidos, exportados e depositados na bacia do rio Dourado em Apuí – AM.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A bacia do rio Dourado (área de estudo) está localizada no município de Apuí/AM (Figura 1) e ocupa 22.239 ha. O clima da região é equatorial úmido, com variações de temperatura anual média entre 26°C e 27°C, precipitação anual média de aproximadamente 2.000 mm [4]. A vegetação varia entre Floresta Ombrófila Densa Submontana com dossel emergente e Aluvial com dossel uniforme e Floresta Ombrófila Aberta [5]. O solo predominante é o Latossolo, com ocorrências de Argissolo, Cambissolo, Neossolo, Gleissolo [6] e terra preta de índio [7]. As terras são ocupadas por agricultores familiares em lotes rurais de aproximadamente 100 ha, provenientes de Projeto do Assentamento Rio Juma, iniciado em 1983 [8].

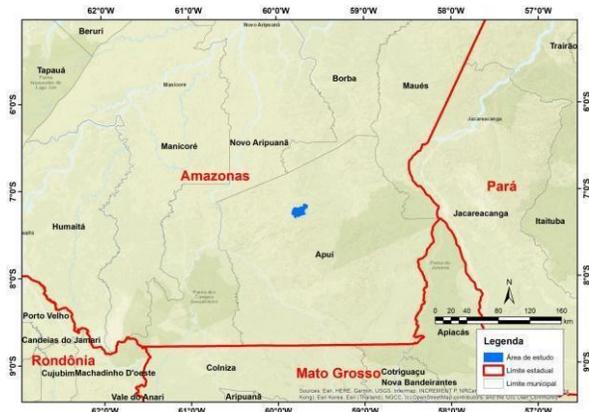


Figura 1. Localização da bacia do rio Dourado em Apuí/AM (área de estudo).

Para a espacialização da dinâmica dos sedimentos foi aplicado o modelo Sediment Delivery Ratio (SDR) [3] de forma a estimar a erosão total (quantidade de solo que se desprende do seu local de origem), a deposição dos sedimentos (porção da erosão total que chega efetivamente aos corpos d'água ou as áreas de inundação) e a exportação (porção que passa pelo exutório da BH) [3]. O modelo SDR é baseado na abordagem conceitual [9] dada pela Equação 1:

$$Total\ exportado = \sum_{pixel\ i} usle_i \times SDR_i \quad (1)$$

Dessa forma calcula a quantidade de sedimento erodido ($usle_i$) e, em seguida, o sedimento exportado (SDR_i) que é a proporção de perda de solo que realmente alcança o exutório da BH.

Enquanto que a carga de sedimento do pixel de interesse (E_i) é dada pela equação 2:

$$E_i = usle_i \times SDR_i \quad (2)$$

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

$$usle_i = R * K * L * S * C * P \quad (3)$$

A onde:

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

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

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

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.

Os dados de erosividade (fator R) foram preparados na forma de um mapa isoerodente e os dados de erodibilidade (fator K) foi atribuído com base nas classes de solos e dados de literatura [10]. Os dados morfométricos (índices L e S) foram obtidos automaticamente pelo SDR a partir de um modelo digital de terreno (MDT). Para os índices C foram utilizados dados da literatura [10] e, arbitrariamente, para os índices P aplicou-se o valor 1.

A taxa de sedimento exportado (SDR) [11] é dada pela equação 4:

$$SDR_i = SDR_{max} / (1 + \exp[(IC_0 - IC_i)/k]) \quad (4)$$

Onde SDR_{max} é o SDR teórico máximo, ajustado para um valor médio de 0,8 [11], e IC_0 e k são parâmetros de calibração [3] que definem a forma da relação SDR-IC (função crescente). O índice de conectividade (IC) dado na equação 4 foi desenvolvido para reproduzir o transporte do sedimento no escoamento superficial [9]. O índice modela a exportação ou retenção do sedimento pixel a pixel baseado na relação entre as declividades dos pixels vizinhos, dada pela Equação 5:

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

A onde:

D_{acima} é a declividade do pixel acima

D_{abaixo} é a declividade do pixel abaixo

Para a modelagem, o modelo requer uma planilha (Tabela 1) com os valores dos índices C e P para cada classe de uso e cobertura da terra e um mapa de uso e cobertura da terra (Figura 2).

Classes de uso e cobertura da terra	Índice C	Índice P
Floresta primária secundária avançada	0,0004	1
Floresta secundária média	0,0007	1
Floresta secundária inicial	0,0010	1
Área desmatada	0,0821	1
Pastagem muito suja	0,0026	1
Pastagem suja	0,0084	1
Pastagem limpa	0,0070	1
Sistemas integrados	0,0080	1
Lavoura permanente	0,0400	1
Lavoura temporária	0,0821	1
Outros usos	0,0000	1

Tabela 1. Valores do índice de uso e manejo da terra (índice C) e do índice da prática conservacionista adotada (índice P) para as classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Dourado em Apuí/AM. Fonte: [3].

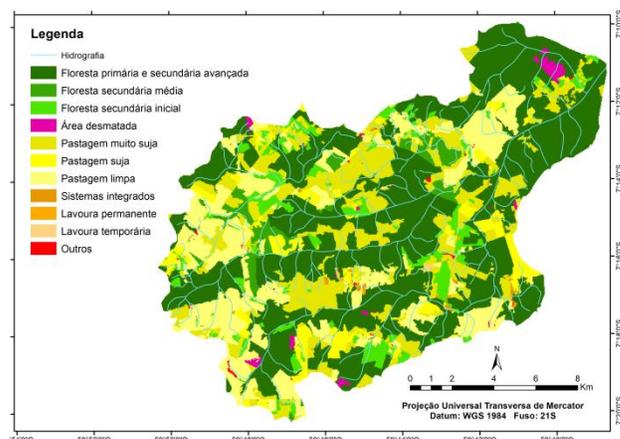


Figura 2. Classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Dourado em Apuí/AM em 2020. Fonte: [12].

Para a modelagem o modelo também requer mapas do limite da BH (Figura 3A), do MDT (Figura 3B), da erosividade (Figura 3C) e da erodibilidade (Figura 3D).

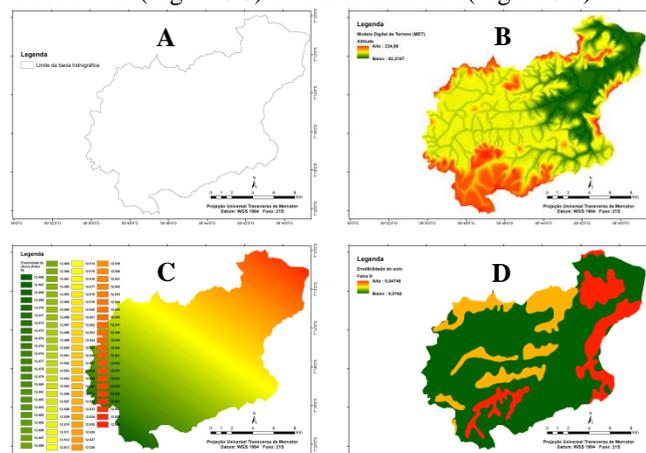


Figura 3. Mapas de entrada (inputs) para o modelo Sediment Delivery Ratio (SDR): A – limite da bacia hidrográfica; B – modelo digital de terreno; C – erosividade da chuva (fator R); D – erodibilidade do solo (fator K).

Na calibração dos resultados (outputs), outros dados (inputs) foram inseridos no modelo, como: 100 para acumulação de fluxo limite (threshold); 2 para parâmetro K de Borseli; 0,5 para o parâmetro IC_0 de Borseli; 0,8 para SDR_{max} e; 100 para o comprimento máximo de rampa. Vale destacar que esses dados estão entre os valores padrões (default) sugeridos pelos autores do modelo SDR [3].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o modelo SDR, foram estimados 99.842 ton. ano⁻¹ de sedimentos terrestres erodidos, 4.590 exportados e 95.248 depositados. A média estimada foi de 4,49 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ para sedimentos erodidos, 0,21 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ para sedimentos exportados e 4,28 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ para sedimentos depositados. Quanto às médias estimadas, destaca-se que são valores extremamente maiores que de outro estudo no município de Apuí [13], visto que foram usados dados secundários de literatura para o fator C, dados arbitrários para o fator P, e na calibragem foram usados valores sugeridos na literatura [3]. Para que esses possíveis resultados superestimados não ocorram, dados de estudos em campo são necessários.

Entretanto, a distribuição espacial (Figura 4) dos sedimentos erodidos, exportados e depositados sinaliza de forma bem clara as áreas com grande potencial erosivo e de acúmulo. Visualmente, ao comparar o mapa de uso e cobertura da terra (Figura 2) com o mapa da distribuição espacial dos sedimentos terrestres erodidos (Figura 4 A) e exportados (Figura 4 B), constatou-se que as partes finais ou cabeceiras dos corpos d'água e prováveis nascentes têm sido usadas principalmente por pastagens, ou seja, apresentam-se sem cobertura florestal.

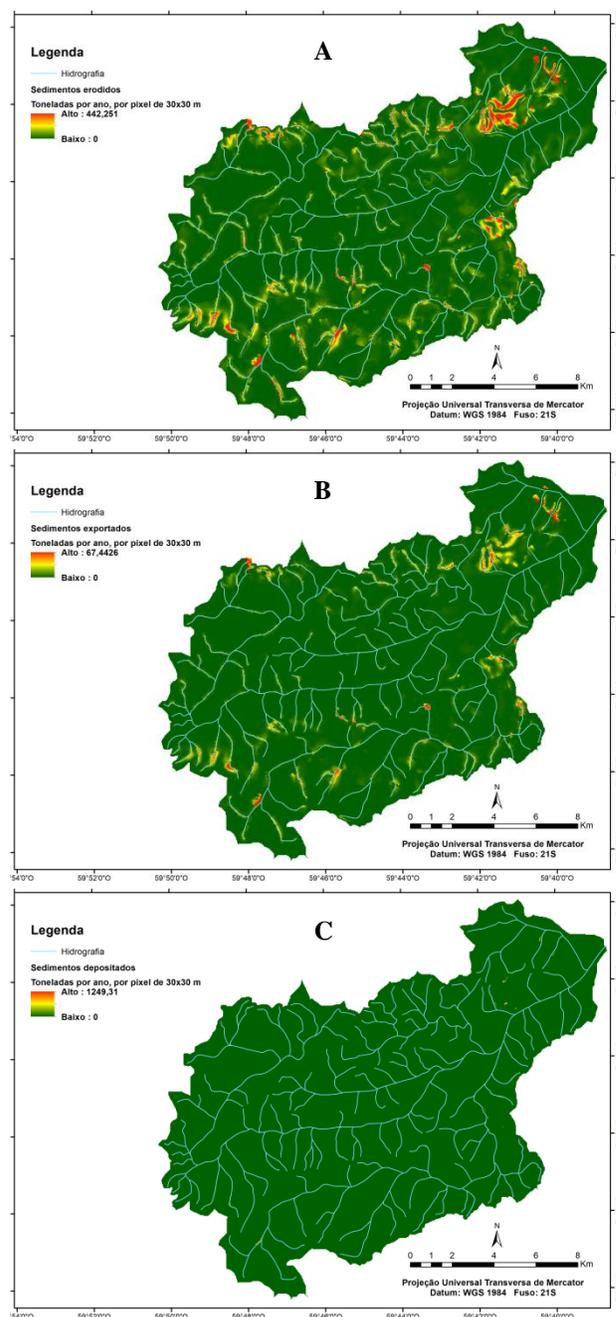


Figura 4. Distribuição espacial dos sedimentos terrestres erodidos (A), exportados (B) e depositados (C) na bacia do rio Dourado em Apuí/AM em 2020.

As nascentes e matas ciliares que compõem áreas de preservação permanente (APPs) [14] têm a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, proteger o solo, entre outros. Conforme o regime de proteção, a vegetação em APP deve ser mantida pelo proprietário da área, possuidor ou ocupante. A manutenção da vegetação deve ser de 30 m nas margens e nascentes dos cursos d'água de menos de 10 m de largura. Tendo ocorrido supressão de vegetação situada em

APP, o proprietário da área, possuidor ou ocupante deve promover a recomposição da vegetação.

A transformação de APPs em pastagens, ao afetar drasticamente os processos erosivos, pode estar alterando o funcionamento do ecossistema e a oferta dos serviços ecossistêmicos (SEs), como a evapotranspiração, a produção primária líquida e a ciclagem de nutrientes, especialmente o carbono [15]. Visto que a área de estudo faz parte da Amazônia Brasileira, um dos maiores reservatórios de água doce do planeta, planejar e ordenar o uso e cobertura da BH nos próximos anos é essencial para o uso sustentável dos recursos naturais e para os SEs. Em termos de paisagem, os dados do estudo sugerem que, para estabelecer políticas públicas relacionadas aos SEs [16] [17], alguns planos e mecanismos podem ser fundamentais, como o Plano Estadual de Prevenção e Controle do Desmatamento [18].

Como alternativa de recomposição das matas ciliares e nascentes das propriedades rurais, têm-se os sistemas agroflorestais (SAFs) que vêm ganhando escala no município de Apuí, tendo como base a produção de café [19]. Além de serem permitidos em APPs de pequenas propriedades rurais, os SAFs são alternativas consistentes de produção sustentável, que reduzem a pressão por desmatamento e que geram renda para agricultores [20]. Nesse contexto, estabelecer sistemas produtivos como os SAFs pode reduzir os processos erosivos, mitigar os possíveis impactos e trazer ganhos socioeconômicos.

4. CONCLUSÕES

A partir da estimativa e distribuição espacial dos sedimentos erodidos, exportados e depositados na bacia do rio Dourado em Apuí/AM, podem ser apontados os locais mais críticos que precisam de atenção, estratégias e implementação de tecnologias de conservação do solo e da água. Em escala de paisagem, a aplicação de políticas públicas pode dar um melhor ordenamento ao uso e cobertura da terra. Considerando-se as propriedades rurais com agricultura familiar, os sistemas agroflorestais podem ser uma alternativa socioeconômica para a adequação ambiental e para a recomposição das matas ciliares e nascentes.

5. REFERÊNCIAS

[1] J. De Vente, *et al.* Predicting soil erosion and sediment yield at regional scales: Where do we stand? *Earth-Science Rev*, 127: 16–29. 2013.
 [2] W.S. Merritt, R.A. Letcher, A.J. Jakeman. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18 (8-9): 761-799. 2003.
 [3] R. Sharp, *et al.* InVEST 3.11.0.post55+ug.geeeb7c3 User's Guide. The Natural Capital Project. Stanford University; University of Minnesota; The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. 2020.
 [4] Amazonas. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. Macrozoneamento Econômico-Ecológico do Estado do Amazonas. Manaus: SDS. 2008.

[5] IBGE. Censo Agropecuário 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2wzsoU0>. Acesso em: 27 jun. 2022.
 [6] MAPA de solos da área piloto de Apuí: Amazonas: folha: Vila Apuí. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/108734/1/Solos-da-Folha-de-Vila-Apui-da-Area-Piloto-de-Apui.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2019.
 [7] G.C. Carrero. Dinâmica do desmatamento e consolidação de propriedades rurais na fronteira de expansão agropecuária no sudeste do Amazonas. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 68: 2009.
 [8] M.V. Galuch, T.C.C. Menezes. Da reforma agrária ao agronegócio: notas sobre dinâmicas territoriais na fronteira agropecuária amazônica a partir do município de Apuí (Sul do Amazonas). *Estudos Sociedade e Agricultura*, 28: 388-412. 2020.
 [9] L. Borselli, P. Cassi, D. Torri. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *Catena*, 75: 268–277. 2008.
 [10] J. Bertoni, F. Lombardi Neto. Conservação do solo. Piracicaba: Livrocere, 392: 1985.
 [11] O. Vigiak, *et al.* Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology*, 138: 74–88. 2012.
 [12] C.F. Quartaroli, S.G. Tôsto, R.R.M. Ferreira, L.R. Nogueira Junior. Uso e cobertura das terras da Bacia Hidrográfica do Rio Dourado no município de Apuí – AM em 2020. No Prelo.
 [13] M.L. Duarte. Estimativa de perda do solo na bacia do rio Juma no Município de Apuí/AM com uso da Equação Universal de Perda de Solo Revisada. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Fundação Universidade Federal de Rondônia, 121 p. 2018.
 [14] Brasil. Lei n. 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. 2012a. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 202, 18 outubro 2012. Seção 1, p.1. Disponível em: <http://portal.in.gov.br>. Acesso em: 29 jun. 2022.
 [15] V.B. Grando, *et al.* Espacialização do estoque de carbono na bacia hidrográfica do Rio Dourado em Apuí/AM. In: Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, 16º, 2022, Campinas. Anais... Campinas: Instituto Agrônomo, 2022.
 [16] Brasil. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021: institui a política nacional de pagamento por serviços ambientais. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394>. Acesso em: 23 mar. 2022.
 [17] Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Programa Floresta+: valor a quem preserva. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/florestamais/ProgramaFloresta.pdf>. Acesso em: 27 junho 2022.
 [18] Amazonas. Governo do Estado do Amazonas. Decreto 42.369, de 05 de junho de 2020: Institui o Plano Estadual de Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do Amazonas - PPCDQ-AM. Disponível em: <https://diario.imprensaoficial.am.gov.br/portal/visualizacoes/pdf/16209/#/p:2/e:16209>. Acesso em: 23 de mar. 2022.
 [19] Idesam. Café Apuí Agroflorestal. Disponível em: <https://idesam.org/projetos/cafe-apui/>. Acesso em: 27 jun. 2022.
 [20] F. Vailati, G.S. de Lima., Projeto de Carbono Rea. In: Seminário experiências em serviços ecossistêmicos - Amazônia (on-line), 2021, Campinas. Projeto ASEAM. Campinas, SP: Embrapa Territorial, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9PubhJRniZM>. Acesso em: 19 maio 2021.