

ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO NA BACIA DO RIO MADEIRA

ALYSON BUENO FRANCISCO

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista

E-mail: <https://orcid.org/0000-0001-7632-9249> ORCID: alysonbueno@gmail.com

Recebido:08/26

Avaliado:10/26

Publicado:10/10

RESUMO

A Bacia do Rio Madeira possui relevância na conservação do solo diante da dimensão territorial entre os biomas, com uma paisagem de relevo se estendendo das planícies dos tributários do Rio Madeira até a Cordilheira dos Andes. Diante do contexto da necessidade de conservação das florestas pela expansão do agronegócio e mudanças nas formas de cobertura da terra é de suma importância um estudo científico para estimar a perda de solo. A partir do objetivo de estimar a perda de solo na bacia hidrográfica, a pesquisa produz mapas para aplicar o método da equação universal de perda de solo em projeto de sistema de informação geográfica. Em decorrência da extensão territorial da bacia hidrográfica pesquisada, no sistema de informação geográfica QGIS foram obtidas informações sobre parcelas das áreas, para calcular médias dos fatores de erosividade, erodibilidade, topografia, cobertura da terra e práticas conservacionistas. O mapa de erosividade foi gerado por interpolação de dados sobre as parcelas da bacia hidrográfica. A erodibilidade foi obtida por meio das áreas dos tipos de solos pela vetorização de mapa fornecido em atlas, com os índices dos respectivos solos. Os dados topográficos foram obtidos por meio de página Earth Explorer da SRTM, com o processamento no sistema QGIS. O mapa de cobertura da terra foi gerado por meio de vetorização no software Google Earth e importação dos dados em QGIS. Como resultado, foi estimada uma perda de solo de aproximadamente 2.818 Mg/ha/ano na Bacia do Rio Madeira.

Palavras-chave: Erosão. Conservação. Dados. Mapa

ESTIMATIVE OF LOSSES SOIL IN MADEIRA RIVER BASIN

ABSTRACT

The Madeira River Basin can relevance in soil conservation given territorial dimension between the forests, with landscape of relief extending from the plains of Madeira's streams all the way to the Andes Mountains. Given the context of the need for conservation of forests by agribusiness and changes in land cover is very important the research to estimative the soil losses. Based on the goal of estimating soil loss in the watershed, the research produces maps to apply the universal soil loss equation method in a geographic information system project. Due to the territorial extent of the studied watershed, in the QGIS geographic information system, information about area plots was obtained to calculate averages of the factors of erosivity, erodibility, topography, land cover, and conservation practices. The erosivity map was generated by interpolating data from the watershed plots. The erodibility was obtained through the areas of soil types by vector mapping a map provided in an atlas, with the indices of the respective soils. Topographic data were obtained from the SRTM Earth Explorer page, with processing in the QGIS system. The land cover map was generated by vector production in Google Earth software and importing the data into QGIS. As a result, it was estimated soil loss of approximately 2,818 Mg/ha/year was observed in the Madeira River Basin.

Keywords: Erosion. Conservation. Data. Map

ESTIMATIVA DE PÉRDIDA DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO MADEIRA

RESUMEN

La Cuenca del Río Madeira tiene relevancia en la conservación del suelo debido a la dimensión territorial entre los biomas, con un paisaje de relieve que se extiende desde las llanuras de los afluentes del Río Madeira hasta la Cordillera de los Andes. Ante el contexto de la necesidad de conservar los bosques por la expansión del agronegocio y los cambios en las formas de cobertura del suelo, es de suma importancia un estudio científico para estimar la pérdida de suelo. Con el objetivo de estimar la pérdida de suelo en la cuenca hidrográfica, la investigación produce mapas para aplicar el método de la ecuación universal de pérdida de suelo en un proyecto de sistema de información geográfica. Debido a la extensión territorial de la cuenca hidrográfica investigada, en el sistema de información geográfica QGIS se obtuvieron datos sobre parcelas de las áreas, para calcular los promedios de los factores de erosividad, erodibilidad, topografía, cobertura del suelo y prácticas de conservación. El mapa de erosividad se generó por interpolación de datos sobre las parcelas de la cuenca. La erodibilidad se

obtuvo mediante las áreas de los tipos de suelos a partir de la vectorización de un mapa suministrado en un atlas, con los índices de los respectivos suelos. Los datos topográficos se obtuvieron a través de la página Earth Explorer de la SRTM, con procesamiento en el sistema QGIS. El mapa de cobertura del suelo se generó mediante vectorización en el software Google Earth y la importación de los datos a QGIS. Como resultado, se estimó una pérdida de suelo de aproximadamente 2.818 Mg/ha/año en la Cuenca del Río Madeira.

Palabras Clave: Erosión. Conservación. Datos. Mapa

ESTIMATION DES PERTES DE SOL DANS LE BASSIN DU FLEUVE MADEIRA

RÉSUMÉ

Le bassin du fleuve Madeira est important pour la conservation des sols en raison de son étendue territoriale entre les biomes, avec un paysage qui va des plaines des affluents du fleuve Madeira jusqu'à la cordillère des Andes. Face au besoin de conserver les forêts à cause de l'expansion de l'agro-industrie et des changements dans les types de couverture du sol, il est très important de réaliser une étude scientifique pour estimer la perte de sol. Dans le but d'estimer cette perte dans le bassin hydrographique, la recherche produit des cartes pour appliquer la méthode de l'équation universelle de perte de sol dans un projet de système d'information géographique. Étant donné l'étendue territoriale du bassin étudié, des informations sur des parcelles de terrain ont été obtenues dans le système d'information géographique QGIS afin de calculer les moyennes des facteurs d'érosivité, d'érodabilité, de topographie, de couverture du sol et de pratiques de conservation. La carte d'érosivité a été générée par interpolation des données sur les parcelles du bassin hydrographique. L'érodabilité a été obtenue à partir des surfaces des types de sols grâce à la vectorisation d'une carte fournie dans un atlas, avec les indices des sols correspondants. Les données topographiques ont été obtenues via la page Earth Explorer du SRTM, avec traitement dans le système QGIS. La carte de couverture du sol a été générée par vectorisation dans le logiciel Google Earth et importation des données dans QGIS. En conséquence, une perte de sol d'environ 2,818 Mg/ha/an a été estimée dans le bassin du Rio Madeira.

Mots-clés: Érosion. Conservation. Données. Carte

INTRODUÇÃO

O fenômeno da erosão de solos ocorre nas áreas equatoriais e tropicais devida ação das águas pluviais, com uma diminuta quantidade de solos erodidos em áreas de florestas nativas. No entanto, as perdas de solo apresentam volumes consideráveis em áreas de agricultura sem práticas conservacionistas e pastagens degradadas. As perdas de solo nas áreas agrícolas correspondem a 68% das 63,5 bilhões de toneladas ao ano no mundo (Liu et al., 2024). O solo é um recurso natural, cuja formação depende de milhares de anos para consolidação do material fértil necessário às práticas agrícolas. No entanto, as práticas de cultivo do solo em monoculturas sem manejo adequado, provocam perdas de solo em áreas do interior da América do Sul, como no Brasil, cuja degradação dos solos provoca uma perda de aproximadamente 8 milhões de toneladas de produção de alimentos (Godoi et al., 2021).

A erosão de solos provoca danos à paisagem e impactos aos recursos hídricos, com destaque para o assoreamento devida produção de sedimentos em curto período sem a capacidade dos canais fluviais transportarem o material erodido. O fenômeno da perda de solos precisa de métodos científicos para estimar a quantidade erodida, visto que os impactos causados aos recursos hídricos e à biodiversidade possuem negligências políticas e ausência de projetos para resolução do problema. Esse fenômeno de degradação ambiental constituído pela perda acelerada de solos necessita de um método científico para quantificar os impactos provocados pelas alterações nas bacias hidrográficas. Para estimar a perda de solos em parcelas experimentais entre as décadas de 1930 e 1960 foram aplicados experimentos para resultar no método proposto por Wischmeier e Smith (1978 apud Alewell et al., 2019) denominado Equação Universal de Perda de Solo, sendo publicados aproximadamente 1.550 trabalhos científicos em todo o mundo, cujo Brasil é o terceiro país em número de publicações. No entanto, apesar da quantidade de trabalhos científicos brasileiros sobre a erosão de solos, existem raros sobre a região da Floresta Amazônica no tema.

Na década de 1990 foi apresentada uma revisão da equação universal ao manter os mesmos fatores de erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, topografia, cobertura da terra e prática conservacionista (Renard et al., 1997). O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América mantém 10.000 parcelas experimentais distribuídas no território estadunidense para aplicar de forma empírica a equação universal, com a apresentação de uma revisão em 2008. A partir da década de 2010 foram desenvolvidos modelos em sistemas computacionais para aplicação das revisões da equação universal, com elaboração de bases de dados em sistemas de informação geográfica para atualização de dados e resultados eficazes nos modelos digitais de elevação (Alewell et al., 2019).

O método de estimar a perda de solo por meio de uma equação passou por alterações com adaptações aos sistemas de informação geográfica, para espacializar os dados da erosão em condições das bacias hidrográficas, assim como ocorreram aplicações em sensoriamento remoto (Liu et al., 2024).

A Floresta Amazônica apresenta alta vulnerabilidade aos processos de perda de solo devida alta erosividade do clima equatorial, presença da cobertura vegetal protetora do solo denominada serrapilheira, dependência da fauna do solo abundante na região para ciclagem de nutrientes e presença de solos arenosos suscetíveis à erosão. A Floresta Amazônica é um dos biomas mais ameaçados no mundo, cuja cobertura vegetal no território brasileiro foi alterada em aproximadamente 20% com o desmatamento iniciado a partir da abertura da estradas na década de 1970. O desmatamento na fronteira agrícola da Floresta Amazônica ocorre com mais ênfase na estação seca do inverno do clima tropical continental que predomina no interior do Brasil, com a prática do incêndio na mata. Os focos de incêndio, além de destruírem a biodiversidade, tornam o solo desnudo de cobertura vegetal com a ação de ventos que favorecem os processos erosivos (Costa et al., 2025).

Além do problema relevante do desmatamento, a Floresta Amazônica possui atividades de mineração com a lavragem de solos em garimpos, cuja degradação ambiental representa remoção de quantidade expressiva de minerais e sedimentos para os canais fluviais com impactos de contaminação das águas e populações. A consciência de preservação da Floresta Amazônica precisa ir além das ideias reducionistas de sequestro de carbono e patrimônio natural, pois a extensão territorial do maior bioma equatorial interfere nas condições climáticas e hidrológicas de outras regiões do planeta. A perda acelerada de solos na área onde está localizada a Floresta é apenas um dos inúmeros impactos causados pelo desmatamento. Entre 1960 e 2019 as taxas de erosão de solos aumentaram em 600% na bacia hidrográfica do Amazonas, com um aumento de 390% nas perdas de solos na Bacia do Rio Madeira (Riquetti et al., 2023).

A partir do incremento das taxas de erosão e das mudanças de cobertura da terra na Bacia do Rio Madeira esta pesquisa visa apresentar uma estimativa das perdas de solo com a produção de mapas dos fatores relacionados à equação universal de perda de solos.

METODOLOGIA

Procedimentos metodológicos

A pesquisa de estimar a quantidade de perdas de solo na Bacia do Rio Madeira foi elaborada a partir da criação de um banco de dados geográfico no sistema QGIS, com obtenção das parcelas de áreas da bacia hidrográfica de cada fator proveniente da Equação Universal de Perda de Solo. A expressão 1 apresenta a equação apresentada por Alewell et al. (2019):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Os limites territoriais em arquivos de vetores foram obtidos na base do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

A elaboração do mapa de erosividade das chuvas foi resultado de interpolação em arquivo raster no sistema QGIS, cujas amostras pontuais dos dados foram obtidos pelas pesquisas de Trindade et al. (2016) na parcela territorial do Brasil, Perez e Mihara (2022) da parcela territorial do Peru e Uzieda et al. (2024) na parcela territorial da Bolívia.

O mapa de solos da Bacia do Rio Madeira foi vetorizado de acordo com o levantamento feito por Gandi et al. (2015), cujo banco de dados em sistema QGIS permite informar as áreas de cada tipo de solo. A estimativa do fator de erodibilidade dos solos na Bacia do Rio Madeira foi realizada de acordo com as parcelas dos tipos de solos pelos respectivos índices apresentados por Lense et al. (2021).

O fator topográfico da Equação Universal de Perda de Solo é fundamentado nas características de declividades (S) e comprimento de rampa (L), sendo necessários dados topográficos da bacia hidrográfica. Foram obtidas 198 imagens do modelo digital de elevação da Shuttle Radar Topography Mission, datadas de 2014, provenientes da página Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos da América. As imagens foram importadas no projeto do sistema QGIS para tratamento com visualização das condições topográficas e geração dos mapas do relevo tridimensional e declividades. Foi necessário obter as médias do comprimento de rampa e declividade em uma das maiores bacias hidrográficas da América do Sul, com uma análise de visualização computacional no sistema QGIS. Para estimar o índice S no fator topográfico, ao considerar declividade como D, foi aplicada a expressão 2:

$$S = 0,00654 \times D^2 + 0,0456 \times D + 0,065 \quad (2)$$

Para estimar o índice do fator L de comprimento de rampa na bacia hidrográfica pesquisada, foi realizada uma média das distâncias entre as 4 nascentes dos rios Madre de Díos, Beni, Mamoré e Guaporé e os divisores de água, de acordo com as mensurações no projeto do sistema QGIS.

Na elaboração do mapa de cobertura da terra para estimar o fator C para a Bacia do Rio Madeira, foi utilizado como fonte dos dados o programa Google Earth com a vetorização das áreas de agricultura e pastagens, sendo posteriormente importadas no projeto do sistema QGIS. Na estimativa do fator C existem índices para cada classe de cobertura da terra, com a realização do cálculo de acordo com a área da classe de cobertura na bacia hidrográfica. O fator C para a Bacia do Rio Madeira foi estimado a partir dos índices das parcelas experimentais apresentados por Bertol et al. (2001), de acordo com as médias das áreas das classes de cobertura da terra.

Sobre o fator de práticas conservacionistas na aplicação da equação para estimar a perda de solo na Bacia do Rio Madeira foram utilizados os parâmetros de Bertoni e Lombardi Neto (1999), ao considerar as condições de desmatamento em região de expansão de fronteira agrícola.

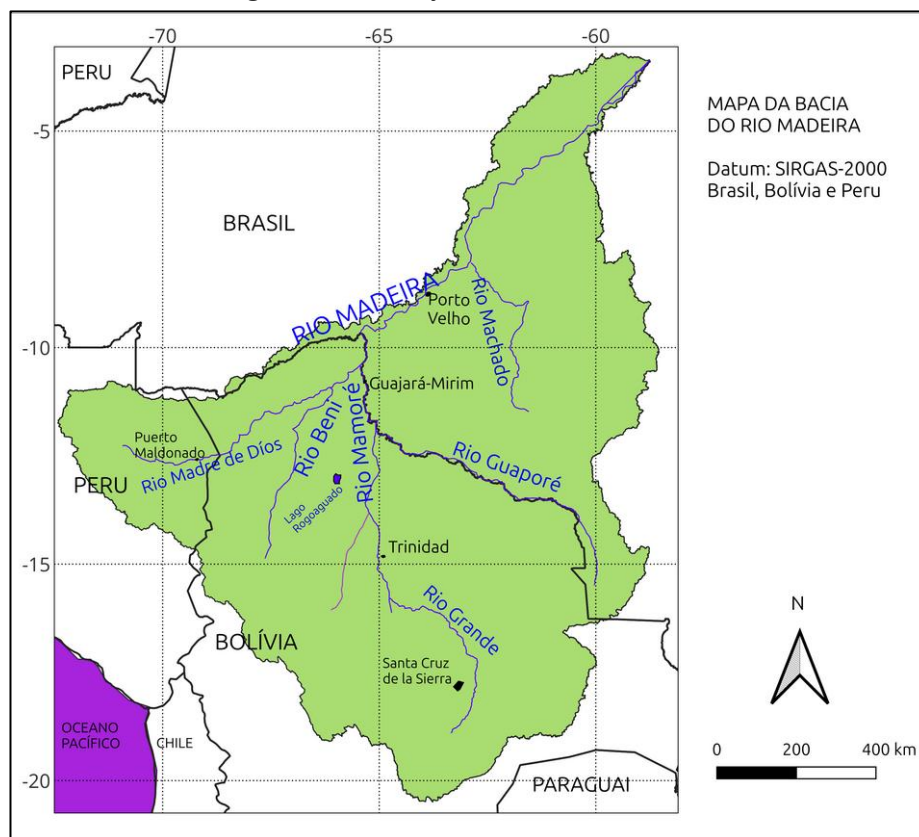
Área de Estudo

A Bacia do Rio Madeira possui uma área territorial expressiva no contexto geográfico da América do Sul, sendo distribuída por aproximadamente 136 milhões de hectares nos países Brasil, Bolívia e Peru. A distribuição territorial da bacia hidrográfica é tão vasta que possui 5 níveis hierárquicos de tributários. O Rio Negro, tributário de quarta ordem, dos rios Baures, Itenez e Mamoré, possui 480 km de extensão. Os tributários do Rio Madeira são: Beni, Madre de Díos, Mamoré e Machado. O Rio Beni possui como tributário o Rio Madidi, o Rio Madre de Díos possui como tributário o Rio Ortón, e o Rio Mamoré possui como tributário o Rio Iténez.

Entre os rios Beni e Mamoré existe o Lago Rogoaguado, assim como demais lagos na região de Trinidad na Bolívia.

O mapa da Figura 1 apresenta a distribuição geográfica dos canais fluviais tributários e principais cidades da Bacia do Rio Madeira.

Figura 1- Localização da Bacia do Rio Madeira

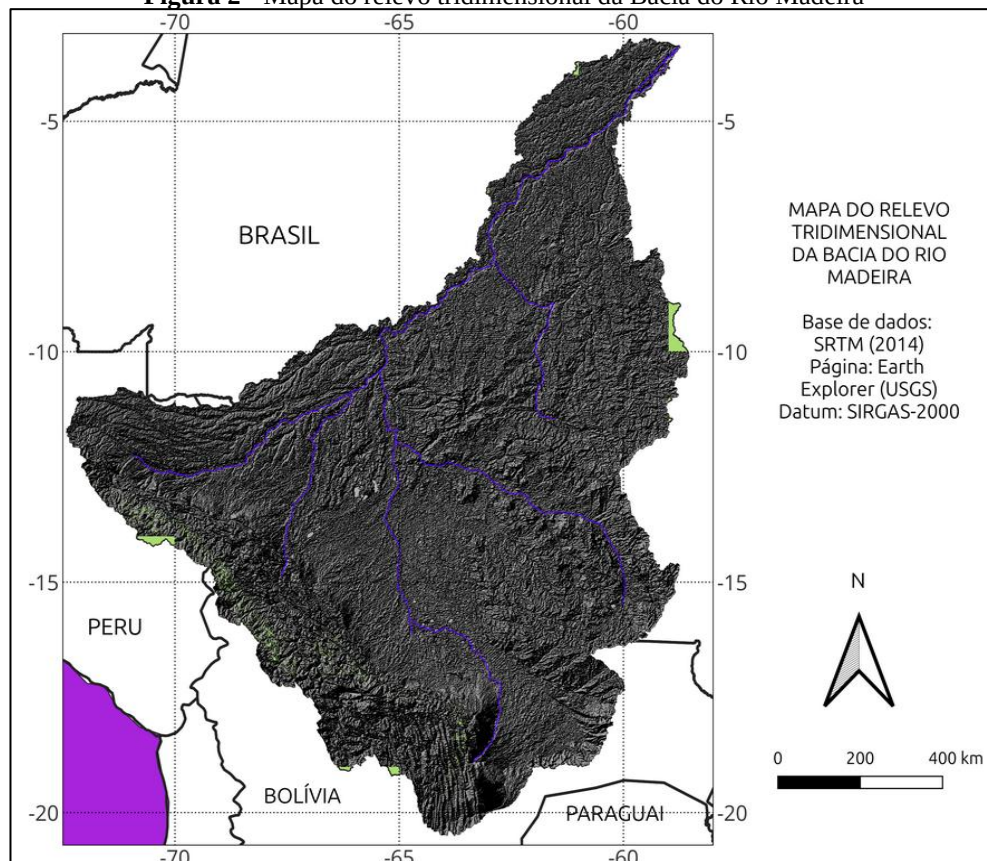


Fonte: Elaborada pelos autores (2026)

O relevo da Bacia do Rio Madeira, no território brasileiro é dominado pelas planícies e depressões em formações geológicas com ações erosivas e deposicionais datadas do período do Quaternário. No Brasil, existe a Planície do Rio Amazonas na foz do Rio Madeira, a Planície do Rio Guaporé com áreas alagáveis periodicamente, a Depressão Marginal Sul-Amazônica na região do estado de Rondônia, Planalto dos Parecis e a Depressão da Amazônia Ocidental na região do vale do Rio Madeira (Ross, 2005). Sobre o relevo da Bacia do Rio Madeira no território boliviano, existe uma diversidade das grandes unidades incluindo as montanhas dos altiplanos dos Andes nas nascentes dos rios Beni, Chaparê e Ichilo; a Planície do Rio Mamoré com a existência de áreas alagáveis com lagos como o Rogoaguado; a Planície do Rio Beni e a Planície do Rio Madre de Dios; e a existência de planaltos nas nascentes dos rios San Julian, Negro, San Martin como tributários do Rio Itenez. No território peruano ocorre o predomínio das planícies dos tributários do Rio Madre de Dios.

O mapa da Figura 2 apresenta a distribuição tridimensional do relevo da Bacia do Rio Madeira.

Figura 2 - Mapa do relevo tridimensional da Bacia do Rio Madeira



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

O contexto geomorfológico da Bacia do Rio Madeira é um exemplo de diversidade de condições topográficas e paisagens diferenciadas, com a região das planícies da Amazônia Ocidental, planaltos do Brasil Central, depressão do Chaco e montanhas da Cordilheira dos Andes. Essas condições geomorfológicas mantêm declividades diferenciadas nas regiões da bacia hidrográfica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A erosividade das precipitações na Bacia do Rio Madeira foi estimada de acordo com as médias das parcelas territoriais, como é apresentado na tabela 1.

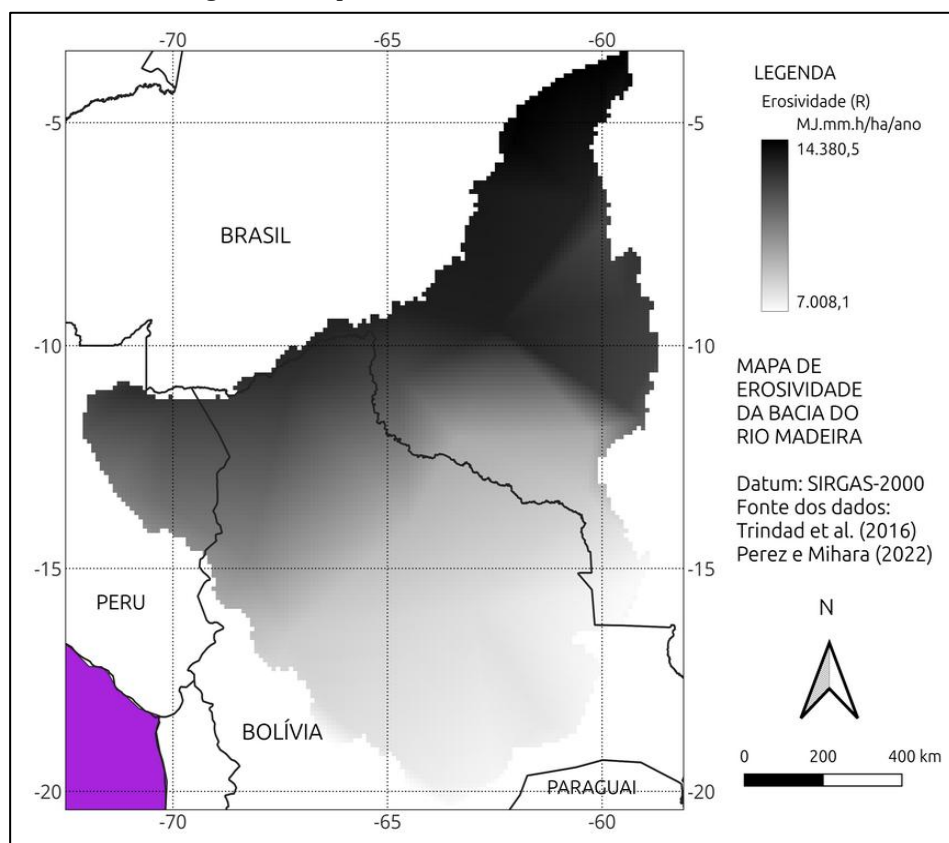
Tabela 1 - Estimativa de erosividade das precipitações na Bacia do Rio Madeira

Erosividade média	Área (ha)	R (MJ.mm.h/ha/ano)
13940	6323312,3	$8,8 \cdot 10^{10}$
12999,5	24664596	$32 \cdot 10^{10}$
10999,5	29343142,9	$32 \cdot 10^{10}$
8999,5	41418573	$37 \cdot 10^{10}$
7503,5	34477760,3	$26 \cdot 10^{10}$
Σ	136227384,5	-
	R	10005,22

Fonte: Elaboração pelos autores (2026)

A distribuição geográfica da erosividade das precipitações na Bacia do Rio Madeira é representada no mapa da Figura 3, considerando uma média de aproximadamente 13.000 MJ.mm.h/ha/ano na área do vale do Rio Madeira, aproximadamente 10.000 MJ.mm.h/ha/ano na parte central da bacia hidrográfica e na parte sul com uma erosividade próxima de 7.500 MJ.mm.h/ha/ano.

Figura 3 - Mapa das erosividades na Bacia do Rio Madeira



Fonte: Elaboração pelos autores (2026)

O fator de erodibilidade dos solos para a Bacia do Rio Madeira foi estimado ao considerar as médias das parcelas de acordo cada tipo de solo, como é apresentado na tabela 2.

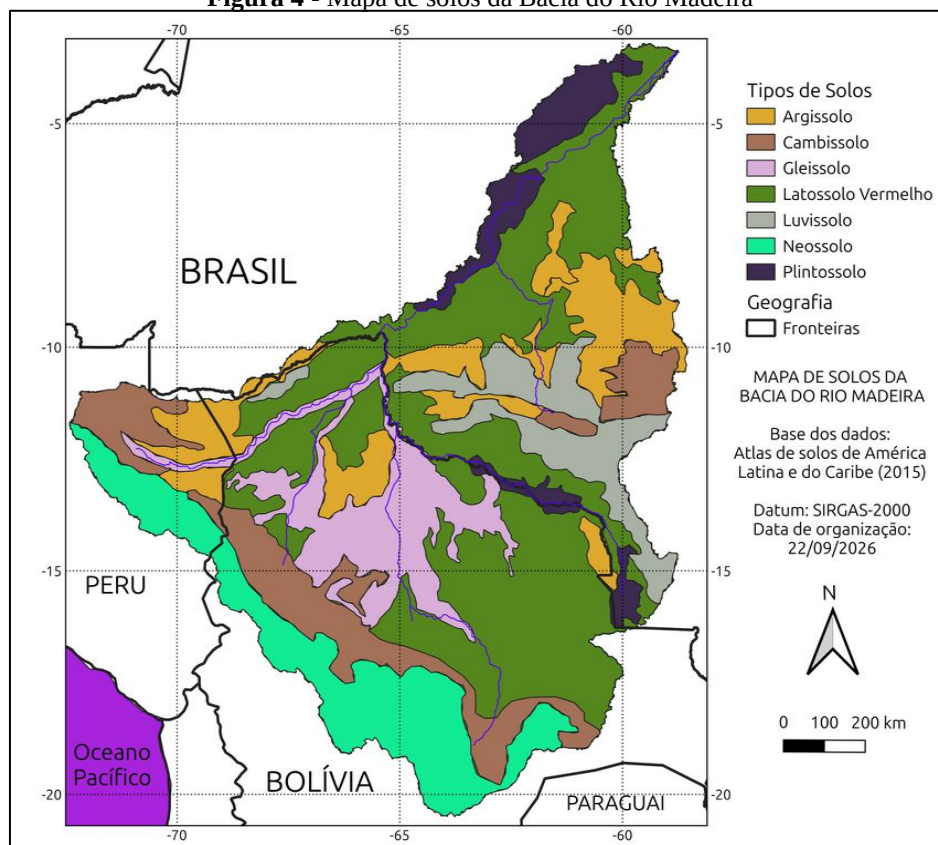
Tabela 2 - Estimativa de erodibilidade dos solos na Bacia do Rio Madeira

Solo	Fator K	Área (ha)	K (Mg/ha/ano)
Argissolo	0,0425	17402221,5	739594,4
Cambissolo	0,0508	14256419,3	724226,1
Gleissolo	0,0010	14819532,9	14819,5
Latossolo Vermelho	0,0162	53789056,2	871382,7
Luvissolo	0,0312	10520100,9	328227,2
Neossolo	0,0510	17491304,5	892056,5
Plintossolo	0,0335	7948749,2	266283,1
	Σ	136227384,5	3836589,5
	K	-	0,0282

Fonte: Elaboração pelos autores (2026)

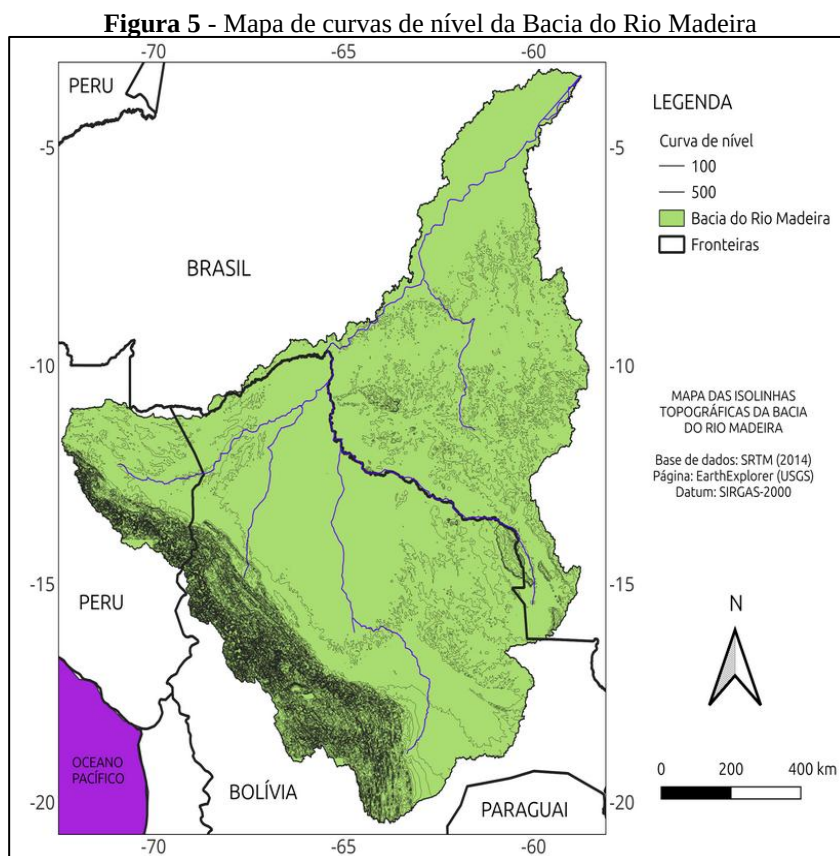
O mapa da figura 4 apresenta os tipos de solos na Bacia do Rio Madeira, com uma distribuição geográfica de 39% da área da bacia hidrográfica de Latossolo Vermelho, aproximadamente 12,8% de Argissolos e Neossolos respectivamente na bacia hidrográfica e aproximadamente 11% da área de Gleissolo, como as maiores áreas representativas.

Figura 4 - Mapa de solos da Bacia do Rio Madeira



Fonte: Elaboração pelos autores (2026)

A respeito do fator topográfico de aplicação da estimativa de perdas de solo para a Bacia do Rio Madeira, é apresentado o mapa topográfico na Figura 5.



Fonte: Elaboração pelos autores (2026)

A Tabela 3 apresenta como a estimativa da declividade média na bacia hidrográfica analisada na pesquisa, com a presença de parcelas na região dos Andes com declividades acima de 20%, declividades acentuadas no contexto geomorfológico de depressões amazônicas, declividades médias e declividades abaixo de 10%, assim obtendo uma média de 14,4%. A partir dessa estimativa na tabela 3 foi obtido valor 0,144 no fator S da equação universal de perda de solo.

Tabela 3 - Estimativa de declividade média para a Bacia do Rio Madeira

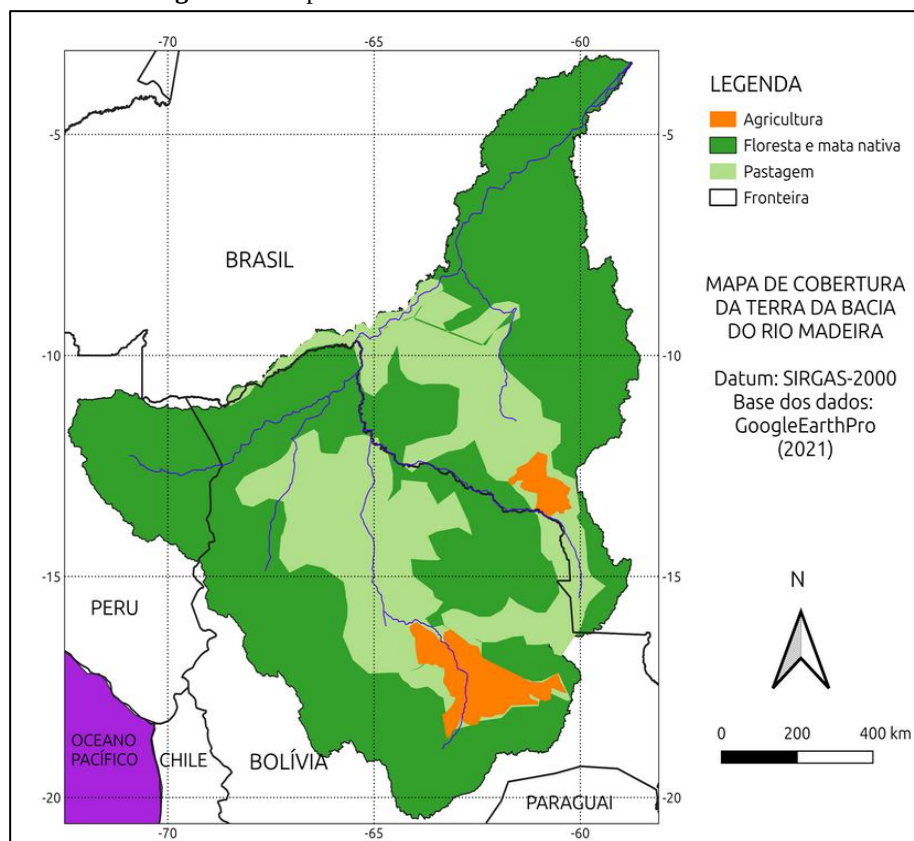
Declividade	%	Área (ha)	S
Alta	22	19062231,6	4765557,9
Acentuada	17	42491418,9	7223541,21
Média	12	5953483,1	714417,97
Baixa	10	68720250,9	6872025,09
	Σ	136227384,5	19575542,18
	S	-	0,1437

Fonte: Elaboração pelos autores (2026)

O fator S foi calculado em 0,0717, a partir da expressão 1 mencionada na metodologia. O fator comprimento de rampa (L) foi estimado com base no cálculo das médias das 4 maiores nascentes da Bacia do Rio Madeira, sendo 175 km em Madre de Dóis, 153 km em Beni, 196 km em Mamoré e 106 km em Guaporé. Logo, resulta na média do comprimento de rampa de 157,5 km.

A cobertura da terra se apresenta como fator relevante na estimativa da perda de solos, pois o desmatamento favorece a ação dos escoamentos superficiais em relação à infiltração das águas pluviais, principalmente na região de clima equatorial e tropical. O mapa da figura 6 apresenta a distribuição geográfica das classes de cobertura da terra na Bacia do Rio Madeira, com aproximadamente 27% de área de pastagem e 4% de área de agricultura.

Figura 6 - Mapa de cobertura da terra da Bacia do Rio Madeira



Fonte: Elaboração pelos autores (2026)

No caso da Bacia do Rio Madeira, a estimativa do fator C sobre a cobertura da terra, foi mencionada pelos cálculos da Tabela 4, no qual se destaca 68% da parcela de perda de solo na área de cultura agrícola.

Tabela 4 - Fator C na Bacia do Rio Madeira

Classe de cobertura da terra	Área (ha)	Fator C	C (t/ha/ano)
Cultura agrícola	5606021,4	0,2185	1224915,68
Floresta	93520752,1	0,0004	37408,3
Pastagem	37100611	0,0143	530538,74
	136227384,5	Σ	1792862,71
			0,0132

Fonte: Elaboração pelos autores (2026)

Para estimar o fator P foram considerados os aspectos de atividades de degradação do solo em uma bacia hidrográfica de expansão de agronegócio e condições de desflorestamento,

sendo proposto um índice de 67%, pelo critério de uso de práticas de manejo do solo em 4% na agricultura da área.

A partir dos resultados obtidos pelos fatores da equação universal de perda de solo para a Bacia do Rio Madeira, foi apresentada a estimativa na expressão 3:

$$A = 10.005,22 \times 0,0282 \times 0,0717 \times 15.750 \times 0,0132 \times 0,67 \quad (3)$$

O resultado da estimativa de perda de solo para a Bacia do Rio Madeira foi 2.817,9 Mg/ha/ano.

Ao considerar a densidade do sedimento arenoso predominante na bacia hidrográfica pesquisada, pode ser estimada uma produção de aproximadamente 72 milhões de toneladas de sedimentos por ano.

O fator erosividade na Bacia do Rio Madeira apresenta uma distribuição dos maiores índices nos vales dos rios Madeira e Machado, no território brasileiro, com vulnerabilidade pela expansão do desmatamento no sul do Estado do Amazonas, região de Porto Velho em Rondônia e divisa entre Mato Grosso e Rondônia. Apesar dos índices de erosividade no vale do Rio Guaporé serem de aproximadamente 8.000 MJ.mm.h/ha/ano, desde 1985 existe um programa de colonização pela reforma agrária, resultando em uma das maiores frentes de desmatamento da América do Sul. No clima equatorial do vale do Rio Madeira, com uma erosividade que ultrapassa 12.000 MJ.mm.h/ha/ano, apresenta um alto potencial de erosão com uma tendência de produção de sedimentos pelas condições naturais da dimensão territorial da bacia hidrográfica, cujo Rio Madeira possui água turva com presença de sedimentos.

Sobre a suscetibilidade dos solos à erosão, o Luvisolo se apresenta como vulnerável no Estado de Rondônia, como foi mencionado sobre o desmatamento. No caso da expansão de agricultura na região sul da bacia hidrográfica, nas proximidades de Santa Cruz de la Sierra, na Bolívia, ocorre a distribuição do Neossolo e do Cambissolo como os mais suscetíveis à erosão na área da pesquisa.

Nas áreas de pastagens com pecuária extensiva em planícies alagáveis dos rios Beni e Mamoré, na parte central do território boliviano, apesar da baixa suscetibilidade do Gleissolo à erosão, ocorre a ação de compactação do solo pelo rebanho.

Em relação às condições topográficas da bacia hidrográfica, o caso dos tributários do Rio Madeira são exemplos do relevo da América do Sul com cabeceiras de drenagem localizadas no altiplano dos Andes, sendo uma região de fonte de sedimentos, cujos processos erosivos possuem uma tendência de dinâmica natural de transporte em encostas. Diante desse fato, o desmatamento nas sub-bacias dos rios Beni e Mamoré é altamente favorável ao desenvolvimento de processos erosivos em solos rasos, como mencionado nos Neossolos dos altiplanos e nos Cambissolos nos tributários da sub-bacia do Mamoré, na Bolívia. O comprimento de rampa de aproximadamente 150 km na área de produção de sedimentos das nascentes dos rios Madre de Díos, Beni e Mamoré favorece a geração de volumes consideráveis de perdas de solos, sendo relevantes para pesquisas sobre datação de sedimentos nas áreas-fonte.

As atividades agrícolas, apesar de corresponderem a apenas 4% da área da bacia hidrográfica, são fontes importantes para perdas de solo devidas práticas de manejo em monoculturas do agronegócio na América do Sul, tendência expressiva de interiorização na direção da região do Chaco e Amazônia, após o processo de desmatamento e introdução inicial da pecuária. A maior parcela de área da Bacia do Rio Madeira se mantém como floresta devida existência de unidades de conservação em terras indígenas nos territórios brasileiro e boliviano, com destaque para a Reserva de Roosevelt na divisa entre os estados de Rondônia e Mato Grosso, e terras indígenas nas margens do Mamoré e Guaporé. A área de floresta é responsável por apenas 2% da perda de solo na Bacia do Rio Madeira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região da Amazônia precisa de estudos científicos para apresentar argumentos em prol da conservação da biodiversidade, sendo o solo um recurso natural importante para a segurança alimentar, dinâmica das águas continentais e manutenção da biodiversidade. O método da equação universal de perda de solo pode ser adaptado aos projetos em sistemas de informação geográfica para fornecer dados mais precisos sobre as condições das bacias hidrográficas.

A pesquisa apresenta uma contribuição para a adaptação do método universal de estimativa de perda de solo com parcelas em áreas para cada fator. Essa proposta metodológica contribuiu para melhor compreensão da dinâmica de perda de solo na bacia hidrográfica de grande extensão territorial, incluindo territórios de 3 nações, em uma dedicação para uma cooperação na conservação da natureza na região da Amazônia, Andes, Chaco e Pantanal.

A existência de um banco de dados em sistema de informação geográfica garante a produção de documentos cartográficos para espacializar as características da bacia hidrográfica pela aplicação dos estudos sobre os processos erosivos.

REFERÊNCIAS

ALEWELL, C., BORELLI, P., MEUSBURGER, K., PANAGOS, P. Using the USLE: changes, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International Soil and Water Conservation**, v.7, p.203-225, 2019.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo de um Cambissolo húmico alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.122-138, 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999.

COSTA, Y. T.; THOMAZ, E. L.; FACHIN, P. A. Wildfires in Brazilian Biomes: environmental impacts, policy challenges and future directions. **Earth Environmental Sustainability**, v.2, n.1, p.265-275, 2025.

GARDI, C.; ANGELINI, M.; BARCELÓ, S.; COMERMA, J.; CRUZ-GAISTARDO, C.; ENCINA-ROJAS, A.; JONES, A.; KRASILNIKOV, P.; MENDONÇA, M.L.; MONTANARELLA, L.; MUNIZ-UGARTE, O.; SCHAD, P.; RODRÍGUEZ, M.I.; RAVINA, M.S. Atlas de Solos de América Latina e do Caribe. Luxemburgo: Comissão Europeia, 2015.

GODOI, R. T.; RODRIGUES, D. B. B.; BORRELLI, P.; OLIVEIRA, P. T. S. High-resolution soil erodibility map of Brazil. **Science of The Total Environment**, v.781, 2021.

LENSE, G.H.E.; PARREIRAS, T.C.; SPALEVIC, V.; AVANZI, J.C.; MINCATO, R.L. Soil losses in the State of Rondonia. **Ciência Rural**, v.51, n.5, 2021.

LI, J.; XIONG, M.; SUN, R.; CHEN, L. Temporal variability of global potential water erosion based on an improved USLE model. **International Soil and Water Conservation Research**, v.12, p.1-12, 2024.

PEREZ, J.U.; MIHARA, M. Evaluation of soil erosion risk in city of Cobija, Bolivian Amazonia using RUSLE and GIS. **International Journal of Environmental and Rural Development**, v.13, n.2, p.55-60, 2022.

RENARD, K.; FOSTER, G.; WEESIES, G.; MCCOOL, D.; YODER, D. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation. **Agriculture Handbook**, v. 703, n.1, p. 23-36, 1997.

RIQUETTI, N.B.; BESLOW, S.; GUO, L.; MELLO, C.R. Soil erosion assessment in the Amazon basin in the last 60 years of deforestation. **Environmental Research**, v.236, 2023.

ROSS, J. L. S. Os fundamentos da Geografia da Natureza. In: ROSS, J. L. S. (org.) **Geografia do Brasil**. 5.ed. São Paulo: Edusp, 2005.

TRINDADE, A.L.F.; OLIVEIRA, P.T.S.; ANACHE, J.A.A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.12, 2016.

UZIEDA, M.A.; NAVA, J.; GÚZMAN, R.; TEJERINA, E.; PARISACA, J. Sensitivity analysis of a high-resolution numerical climate model for the study of precipitation and temperature in Bolivia. **Centro de Monitoreo Climático**, v.11, n.2, p. 87-101, 2024.