

# VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PERDA DE SOLO POR MEIO DO MÉTODO EUPS NO ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL

Brychtn Ribeiro de Vasconcelos<sup>1</sup>  
Mirelle Tainá Vieira Lima<sup>2</sup>  
Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>3</sup>

## RESUMO

Os estudos de modelagem espaço-temporal da erosão hídrica constituem importantes ferramentas ao planejamento e gestão sustentável de territórios. De modo que a literatura científica está repleta de aplicações de modelos físicos e conceituais empregados na estimativa de processos erosivos; onde a Equação Universal de Perda do Solo constitui o modelo mais amplamente utilizado, pela sua relativa facilidade de execução. No Brasil, esse modelo tem sido geralmente aplicado a pequenas bacias hidrográficas, sendo mais escassos os trabalhos envolvendo grandes áreas de estudo. Desse modo, o objetivo do presente trabalho é caracterizar a capacidade de perda de solo no estado do Amazonas, utilizando como recorte temporal os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020. Como materiais, utilizaram-se o Modelo Digital de Elevação Terrestre MODIS, a classificação de solos da CPRM e o mapeamento de uso e ocupação de solos do projeto MapBiomas, Coleção 7. Todo o processamento dos dados foi executado no software livre de geoprocessamento QGIS. Como resultados principais, obteve-se valores médios de EUPS calculado para todo o Estado do Amazonas de 2147.33 ton. ha. ano-1 em 1985, 2171.82 ton. ha. ano-1 em 1995, 2104.3 ton. ha. ano-1 em 2005, 2110.38 ton. ha. ano-1 em 2015 e de 2250.96 ton. ha. ano-1 em 2020. Percebe-se um aumento da perda de solo em 6,7% no intervalo entre 2015 e 2020, em comparação aos demais períodos. Bem como, observa-se o aumento da supressão das áreas de cobertura florestal, aumento de áreas utilizadas para pastagem, cultivos agrícolas e mineração. A perda de solo também foi influenciada pela variação dos padrões de precipitação ao longo do tempo. Desse modo, infere-se que o modelo EUPS constitui uma ferramenta de grande potencial para auxiliar no planejamento e gestão ambiental.

**Palavras-chave:** Gestão Ambiental. Erosão. EUPS. Sensoriamento Remoto. Geoprocessamento.

---

<sup>1</sup>Doutor em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto na Universidade do Estado do Amazonas (UEA). E-mail: brychtn@gmail.com. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/0445762148028931>. Orcid iD <https://orcid.org/0000-0002-8567-8499>.

<sup>2</sup> Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). E-mail: mirellet.vieira@gmail.com. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/3287769928508224>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-2711-1929>.

<sup>3</sup> Doutor em Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor Titular na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia –FAENG da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul(UFMS). E-mail: antonio.paranhos@ufms.br. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/8366463150019459>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>.

## SPACE-TEMPORAL VARIABILITY OF SOIL LOSS USING THE EUPS METHOD IN THE STATE OF AMAZONAS, BRAZIL

### ABSTRACT

Studies of space-time modeling of water erosion are important tools for planning and sustainable management of territories. So that the scientific literature is full of applications of physical and conceptual models used in the estimation of erosion processes; where the Universal Soil Loss Equation constitutes the most widely used model, due to its relative ease of execution. In Brazil, this model has generally been applied to small river basins, with studies involving large study areas being scarce. Thus, the objective of this work is to characterize the soil loss capacity in the state of Amazonas, using the years 1985, 1995, 2005, 2015 and 2020 as a time frame. As materials, the Digital Land Elevation Model was used MODIS, the CPRM soil classification and the mapping of land use and occupation from the MapBiomias project, Collection 7. All data processing was performed in the free geoprocessing software QGIS. As main results, average EUPS values calculated for the entire State of Amazonas of 2147.33 ton were obtained. there is. year-1 in 1985, 2171.82 ton. there is. year-1 in 1995, 2104.3 ton. there is. year-1 in 2005, 2110.38 ton. there is. year-1 in 2015 and 2250.96 ton. there is. yr-1 in 2020. An increase in soil loss of 6.7% can be seen in the interval between 2015 and 2020, compared to the other periods. As well as, there is an increase in the suppression of forest cover areas, an increase in areas used for pasture, agricultural crops and mining. Soil loss was also influenced by changes in rainfall patterns over time. Thus, it is inferred that the EUPS model is a tool of great potential to assist in environmental planning and management.

**Key-words:** Environmental Management. Erosion. USLE. Remote sensing. Geoprocessing.

## VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LA PÉRDIDA DE SUELO MEDIANTE EL MÉTODO EUPS EN EL ESTADO DE AMAZONAS, BRASIL

### RESUMEN

Los estudios de modelización espacio-temporal de la erosión hídrica son herramientas importantes para la planificación y gestión sostenible de los territorios. De modo que la literatura científica está repleta de aplicaciones de modelos físicos y conceptuales utilizados en la estimación de procesos de erosión; donde la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo constituye el modelo más utilizado, debido a su relativa facilidad de ejecución. En Brasil, este modelo se ha aplicado generalmente a pequeñas cuencas fluviales, siendo escasos los estudios que involucran grandes áreas de estudio. Así, el objetivo de este trabajo es caracterizar la capacidad de pérdida de suelo en el estado de Amazonas, utilizando como marco temporal los años 1985, 1995, 2005, 2015 y 2020. Como materiales se utilizó el Modelo Digital de Elevación del Suelo MODIS, la clasificación de suelos por CPRM y el mapeo de uso y ocupación de suelo por el proyecto MapBiomias, Colección 7. Todo el procesamiento de datos se realizó utilizando el software de geoprocésamiento gratuito QGIS. Como principales resultados se obtuvieron valores medios de EUPS calculados para todo el Estado de Amazonas de 2147,33 ton. hay. año-1 en 1985, 2171.82 ton. hay. año-1 en 1995, 2104.3 ton. hay. año-1 en 2005, 2110,38 ton. hay.

año-1 en 2015 y 2250,96 ton. hay. año-1 en 2020. Se observa un aumento en la pérdida de suelo de 6.7% en el intervalo entre 2015 y 2020, en comparación con los otros períodos. Así como también, hay un aumento en la supresión de áreas de cobertura forestal, un aumento en las áreas utilizadas para pastos, cultivos agrícolas y minería. La pérdida de suelo también estuvo influenciada por los cambios en los patrones de lluvia a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se infiere que el modelo EUPS es una herramienta de gran potencial para ayudar en la planificación y gestión ambiental.

**Palabras-clave:** Gestión Ambiental. Erosión. USPS. Detección remota. Geoprocesamiento.

## INTRODUÇÃO

A erosão consiste no processo de degradação física do solo, por meio do desprendimento e remoção das partículas superficiais, seja por correntes da água das chuvas, escoamento superficial ou por ventos fortes (OUMA et al.; 2022). Diversas condições ambientais climáticas, topográficas, e de solo regulam o tipo e a taxa de erosão em cada localidade, mas esta pode ser intensificada por interferência humana (KAR et al., 2022). A severidade dos processos de erosão também é determinada pela quantidade de material fornecido no desprendimento e pela capacidade de trânsito dos agentes erosivos (KAR et al., 2022).

Ademais, os danos da erosão ultrapassam o nível local, que inclui perda de solo, redução da fertilidade, problemas socioeconômicos e declínio da biodiversidade; mas também é capaz de promover danos longe do local onde ocorreu inicialmente, por meio do aumento do transporte de sólidos nos rios, de danos em infraestruturas e do acúmulo do material erodido em bacias de irrigação ou em reservatórios hidrelétricos, que podem gerar redução da capacidade de armazenamento (PANDEY et al. 2021; BERTENI et al.; 2021).

A partir das características do processo erosivo, os modelos de erosão do solo simulam as taxas de perda de solo, com base nos padrões agrícolas e nas medidas de conservação do solo (KAR et al., 2022). Modelos empíricos, como a Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) são amplamente aplicados devido à sua simplicidade e facilidade de uso, especialmente em países onde a disponibilidade de dados de entrada confiáveis é escassa. O modelo EUPS é um dos mais frequentemente aplicado para estimar a perda anual de solo com base na topografia, no uso da terra e na erosividade da chuva e do escoamento (JEBARI et al.; 2012). Contudo, além do EUPS, diversos modelos físicos e conceituais podem ser empregados na estimativa de processos erosivos, como o European Soil Erosion Model (EUROSEM) e WEPP, considerados superiores por OUMA et al. (2022), por incorporar o escoamento superficial. No entanto,

configuram modelos complexos e requerem dados substanciais nem sempre disponíveis, diferente dos modelos empíricos, que requerem parametrizações específicas.

Para Lense et al. (2020), apesar de fornecerem ferramentas ao planejamento e gestão sustentável em diversos níveis territoriais, os estudos de modelagem espaço-temporal da erosão não são amplamente utilizados pelos órgãos governamentais no Brasil, além de que, são escassos os estudos envolvendo as grandes áreas de estudo, como cidades, regiões ou estados. Nesse sentido, a região da Amazônia brasileira corresponde a um território de indiscutível importância nacional e global, que vem passando por grandes mudanças em seu uso e ocupação de solo (UOS), sobretudo nos anos mais recentes. Conforme Rosan e Alcântara (2016, p.2), a “Amazônia brasileira tem sido palco de intensas atividades da sociedade, transformando suas áreas florestadas em áreas destinadas à exploração madeireira, agricultura e pastagem”. Dessas mudanças de UOS decorrem impactos negativos sobre a ocorrência de erosão do solo nesta região.

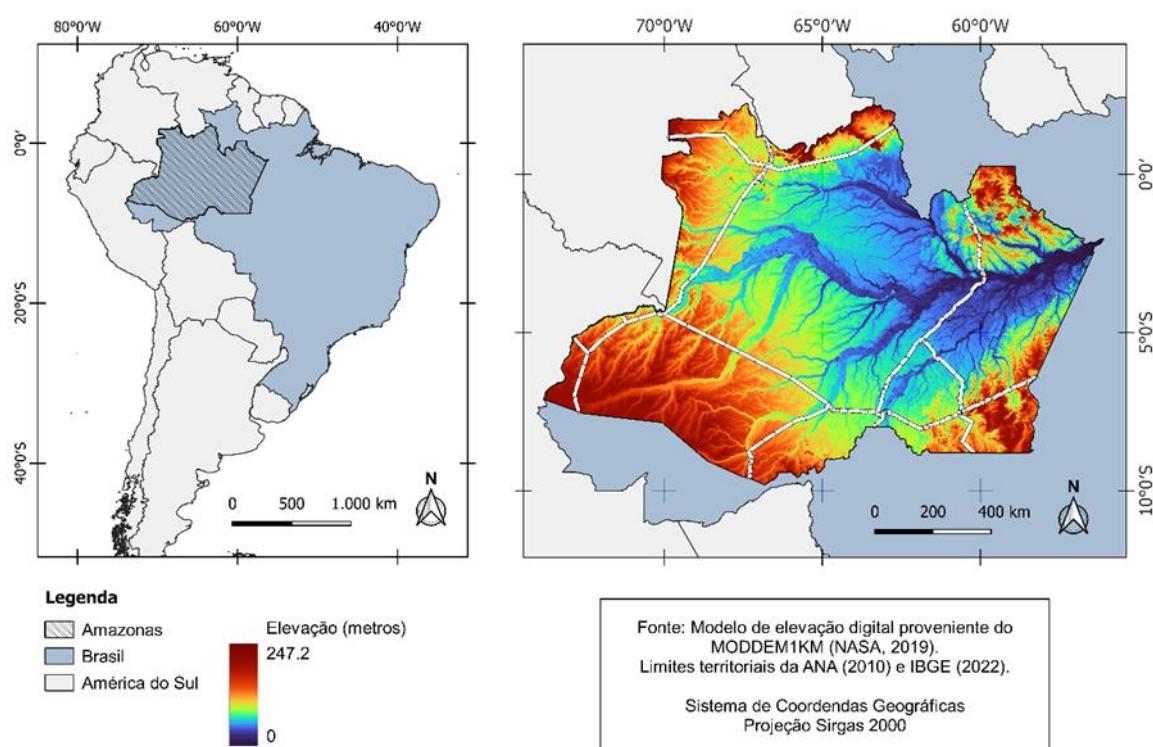
Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo aplicar o Modelo da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS/USLE), no Estado do Amazonas, nos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020, comparando eventuais mudanças espaço-temporais, com vistas a mensurar locais com maior possibilidade de ocorrência de processos erosivos.

## 2.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o Estado do Amazonas, localizado ao norte do Brasil, entre as coordenadas 73°48'W 06", 9°49' S e 56°05' W, 2°14' N, com extensão territorial de aproximadamente 1.559.168 km<sup>2</sup> e população estimada de 4.269.995 habitantes (IBGE, 2021), constituindo, portanto, uma densidade demográfica aproximada de 2,74 hab./km<sup>2</sup>. A área urbanizada corresponde a 669,46 km<sup>2</sup> (IBGE, 2019), ou 0.043% da área total (Figura 1).

**Figura 1: Mapa de localização do Estado do Amazonas.**



Fonte: Elaborado pelos autores, com em IBGE (2022), ANA (2010) e MODDEM1KM (NASA, 2019).

De acordo com Alvares et al. (2013), a classificação climática Köppen para o estado subdivide-se em 82,3% como tipo Af (clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca) e 17,6% como Am (clima tropical úmido ou subúmido). Conforme Alves et al. (2019), as temperaturas médias mensais no estado variam de 25,3 (julho) a 26,6 °C (outubro) e a precipitação de 124,4 (agosto) a 316,2 mm (março). A precipitação média anual por município varia de 2.086 mm a 3.619 mm.

## 2.2 Equação Universal de Perda do Solo (EUPS)

O método EUPS (Equação Universal de Perda do Solo) ou USLE (*Universal Soil Losses Equation*) foi originalmente proposto por Wischmeier e Smith (1978), por meio do departamento de agricultura dos Estados Unidos (EUA), o USDA, e posteriormente evoluiu para a Equação Revisada da fórmula Universal de Perda do Solo (RUSLE) desenvolvida por Renard et al (1997), expressa conforme Equação 1:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Em que: A = perda média de solo (ton.ha.ano-1); R = fator de erosividade da chuva (MJ.mm.ha-1.hora-1.ano-1); K = é o fator erodibilidade do solo (t.h.MJ-1.mm-1); L = comprimento da rampa (m); S = declividade (%); C = fator uso e manejo do solo (adimensional); P = fator da prática conservacionista (adimensional).

### 2.3 Fator de erosividade da chuva (R)

Para a estimativa do fator R, os dados históricos de chuva foram obtidos da plataforma HIDROWEB ANA (2022), filtrando a pesquisa por estações do tipo pluviométricas e localizadas no Estado do Amazonas, em que foram identificados 299 pluviômetros disponíveis; bem como, foram tabulados e organizados em planilha eletrônica. Para fins de adaptação da metodologia, foram excluídas estações com menos de 60% de dados entre 1976 e 2020, restando 92 estações. Os dados faltantes encontrados na série foram preenchidos no software estatístico R, por meio do pacote “dlookr”, utilizando-se a função “imputate\_na” e o algoritmo “mice” como método de imputação (RYU, 2019). Os dados preenchidos foram divididos em 5 séries, correspondentes aos intervalos: 1976-1985, 1986-1995, 1996-2005, 2006-2015 e 2016-2020, para a obtenção do fator R em cada período, conforme as Equação de BERTONI e LOMBARDI NETO (1990), em que “p” refere-se à pluviosidade total mensal e “P” a pluviosidade total anual, Equação 2.

$$R = \Sigma EI = \Sigma (67,355 * (\frac{P^2}{p})^{0,85}) \quad (2)$$

Em seguida, os dados pontuais das estações pluviométricas foram espacializadas por meio da interpolação de polígonos de Thiessen, utilizando o complemento SAGA do QGIS (2022). Em seguida, os mapas gerados foram recortados nas delimitações do estado do Amazonas e convertidos em Raster, por meio da ferramenta GDAL do QGIS (2022).

### 2.4 Fator de erodibilidade dos solos (K)

O fator K refere-se a taxa de perda de solo, por unidade de índice de erosão da chuva, para solo específico padrão de 22,1 m de comprimento de rampa e inclinação uniforme de 9% (RENARD et al.; 1997). O fator K é amplamente tabelado no atual estado da arte, para cada classe de solo. Dessa forma, para a obtenção do fator K, foi utilizado o mapeamento de solo do Estado do Amazonas, elaborado pela CPRM (2015), e classificado conforme Nunes et al. (2017), conforme Tabela 1.



**Tabela 1: Valores do índice de erodibilidade (K) para classes de solo do Amazonas.**

<b>Classe de Solo</b>	<b>K</b> (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )
Afloramentos de rocha + Neossolos litólicos	0.0192
Área urbana	0.0001
Argissolos amarelos	0.0521
Argissolos vermelhos	0.0521
Cambissolos háplicos	0.0202
Espodossolos	0.01
Gleissolos + Neossolos quartzarênicos hidromórficos +	0.0132
Organossolos	
Gleissolos háplicos	0.0132
Latossolos amarelos	0.0159
Latossolos vermelho-amarelos	0.0159
Massa d'água	0.0001
Neossolos flúvicos	0.0192
Neossolos litólicos	0.0192
Neossolos quartzarênicos hidromórficos	0.0192
Planossolo háplicos	0.0357
Plintossolos háplicos	0.03
Plintossolos pétricos	0.03

## 2.5 Comprimento da rampa e graus de declive (LS)

O LS foi obtido por meio do modelo de elevação digital MODDEM1KM (NASA, 2019), com eventuais depressões espúrias ou falsas depressões (“sinks”) devidamente preenchidas, processado no componente SAGA do QGIS (2022), com a ferramenta "LS-Factor, Field Based".

## 2.6 Uso, manejo e práticas conservacionistas (CP)

Para este fator, foram utilizados mapas de Uso e Ocupação de solos obtidos na plataforma MapBiomias (MAPBIOMAS, 2022) para os anos de 1985, 1995, 20005, 2015 e 2020, recortado e reprojetoado no software QGIS (2022). Os usos mapeados foram classificados em valores de índice CP (Tabela 2), definidos com base no levantamento bibliográfico desenvolvido por Martins (2020).

**Tabela 2: Valores do índice de uso, manejo e conservação do solo (CP) do Amazonas.**

<b>Código</b>	<b>Legenda</b>	<b>CP</b>
39	Soja	0.2
41	Outras Lavouras Temporárias	0.2
20	Cana	0.2
30	Mineração	1
24	Área Urbanizada	0.02
4	Formação Savânica	0.026
11	Campo Alagado e Área Pantanosas	0
15	Pastagem	0.55
12	Formação Campestre	0.01
33	Rio, Lago e Oceano	0
3	Formação Florestal	0.0001

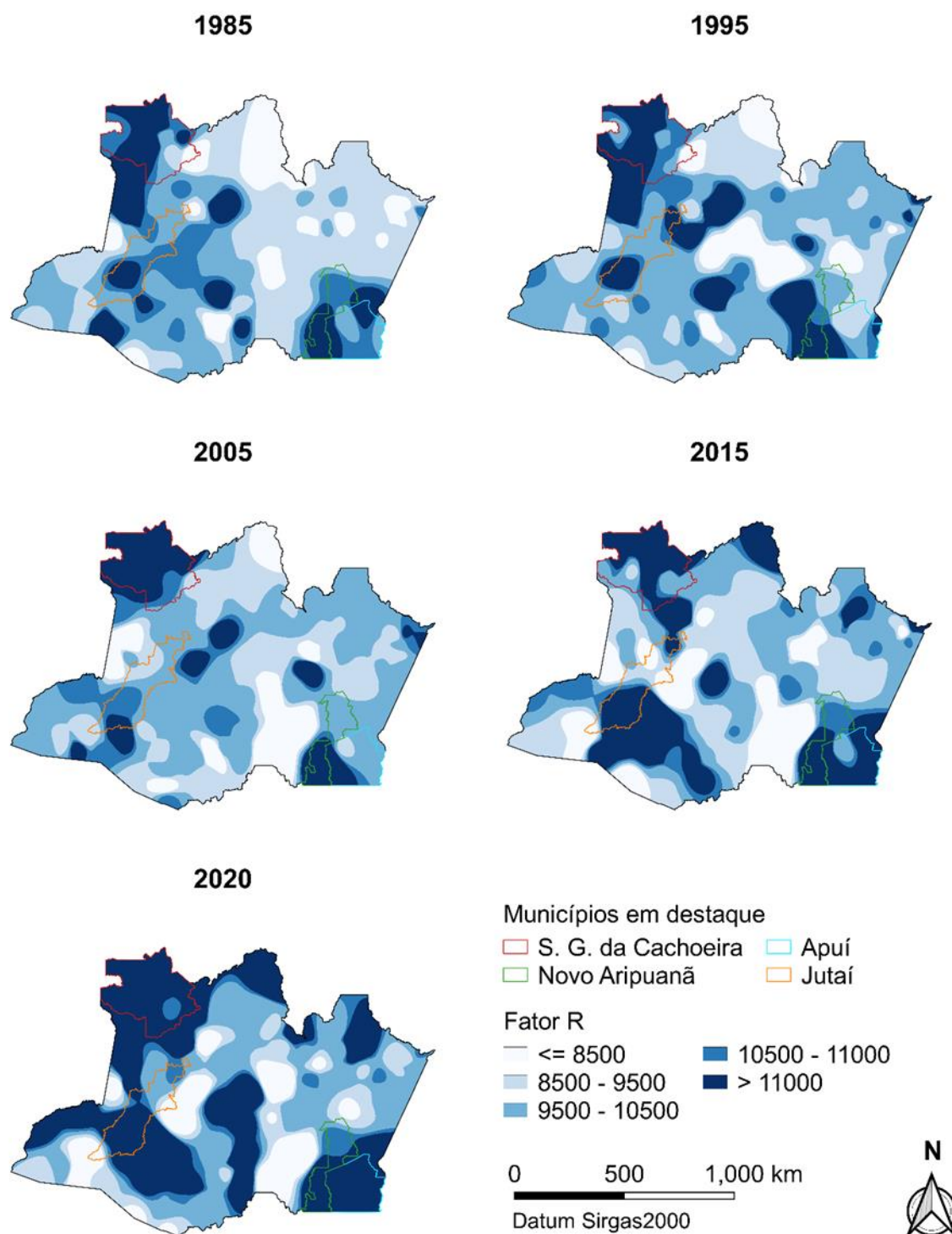
Por fim, as imagens geradas foram multiplicadas na Calculadora Raster do QGIS (2022).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o mapeamento do fator de erosividade da chuva (R) para o Amazonas em diferentes períodos; em que, quanto maior o nível de pluviosidade, maior o fator R, isto é, maior o potencial da chuva em promover processos erosivos. O potencial de perda de solo médio pela chuva na área de estudo, em Mj.mm/ha.h.ano, para cada ano, foi de 9766.9 em 1985; 9989.5 em 1995; 9831.1 em 2005; 9895.7 em 2015 e 10566.6 em 2020. Nota-se a intensidade de chuvas sempre mais elevada sobre os municípios São Gabriel da Cachoeira, Novo Aripuanã, Jutai e Apuí.



**Figura 2: Espacialização do fator R ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{hora}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) nos anos 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020 no Estado do Amazonas.**

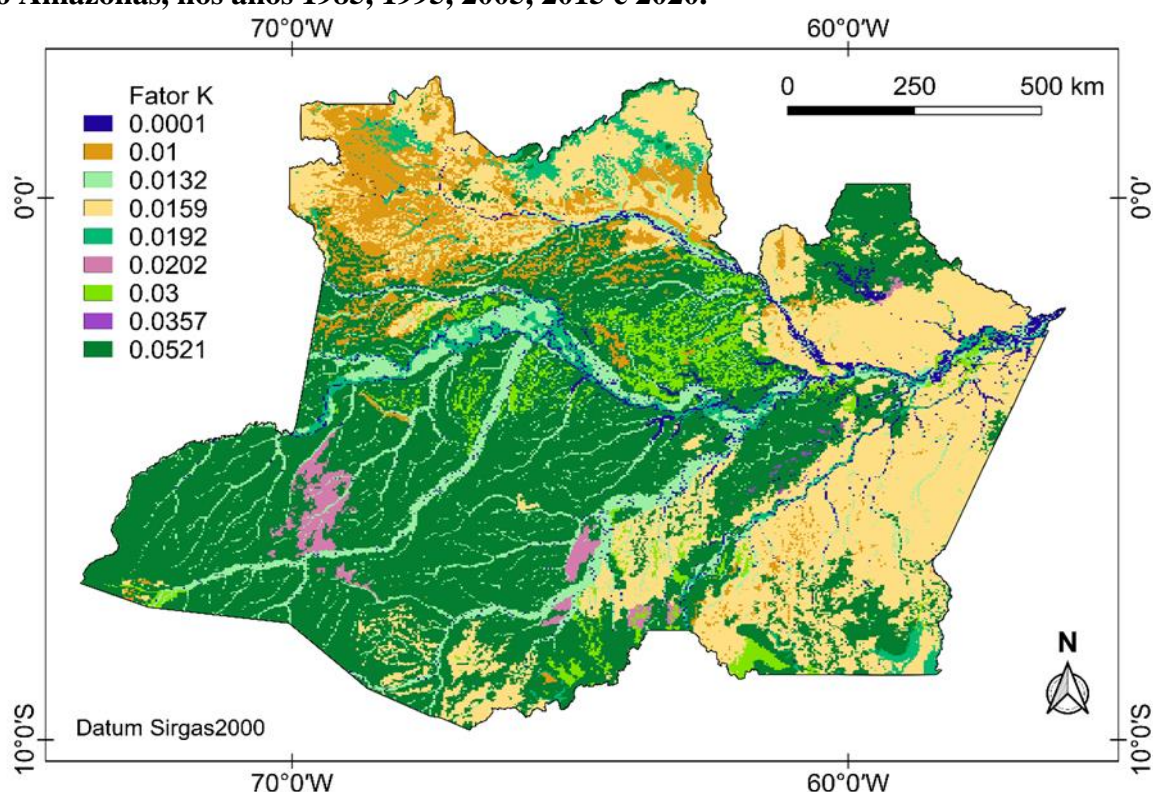


Fonte: Elaborado pelos autores.

O cálculo da erosividade das chuvas pode variar muito quanto às fórmulas apresentadas na literatura, o que, por sua vez, pode influenciar nos resultados obtidos em diferentes pesquisas (OLIVEIRA; WENDLAND; NEARING, 2013). Silva Neto e Aleixo (2020), analisando a erosividade da chuva na região do médio Solimões, observaram que no Estado do Amazonas, os índices apresentaram uma sazonalidade que variava de 500 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>, de junho a setembro, e superiores a 700 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>, de dezembro e maio. Os índices de erosividade anual predominantes na região foram valores superiores a 7000 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>, correspondendo às classes Muito Alta e Alta. Oliveira Junior e Medina (1990) obtiveram erosividade média anual da chuva do município de Manaus-AM de 14.129 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Silva et al. (2019), buscando determinar a distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas na Amazônia, observaram que o valor anual da erosividade pluviométrica variou de 7.060 a 36.767 (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Ainda, na escala mensal, as maiores taxas de erosividade encontradas pelos mesmos autores foram registradas na estação chuvosa, ou seja, fevereiro e março, em aproximadamente 1548 e 2651 (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>), respectivamente. Ainda deduziram que, no contexto de risco de erosão, a região foi classificada como de erosividade muito forte.

A susceptibilidade à erosão de cada solo presente na área de estudo é medida pelo fator K, que infere a perda de solo em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. Conforme literatura citada na metodologia, a maior porção do Estado apresenta fator K igual a 0,521 (45,41%), correspondente aos Argissolos Vermelho e Amarelo, seguido do K 0,0159 (26,55%), representando os Latossolos Amarelo e Amarelo-vermelho (Figura 3). Duarte et al. (2020) consideram fator K acima de 0,042 como muito elevado, quanto ao risco de erodibilidade; e muito baixo quando inferiores a 0,024. Godoi et al. (2021) calcularam o K em todo o Brasil, aplicando as equações da solução algébrica do nomógrafo USLE e do modelo EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator), que utilizam dados de matéria orgânica, textura, estrutura e permeabilidade do solo. Os autores supracitados obtiveram que em ambos modelos, o estado do Amazonas apresenta valores de K de até 0,0535.

**Figura 3: Espacialização do fator K (erodibilidade do solo), em  $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$ , no Estado do Amazonas, nos anos 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020.**

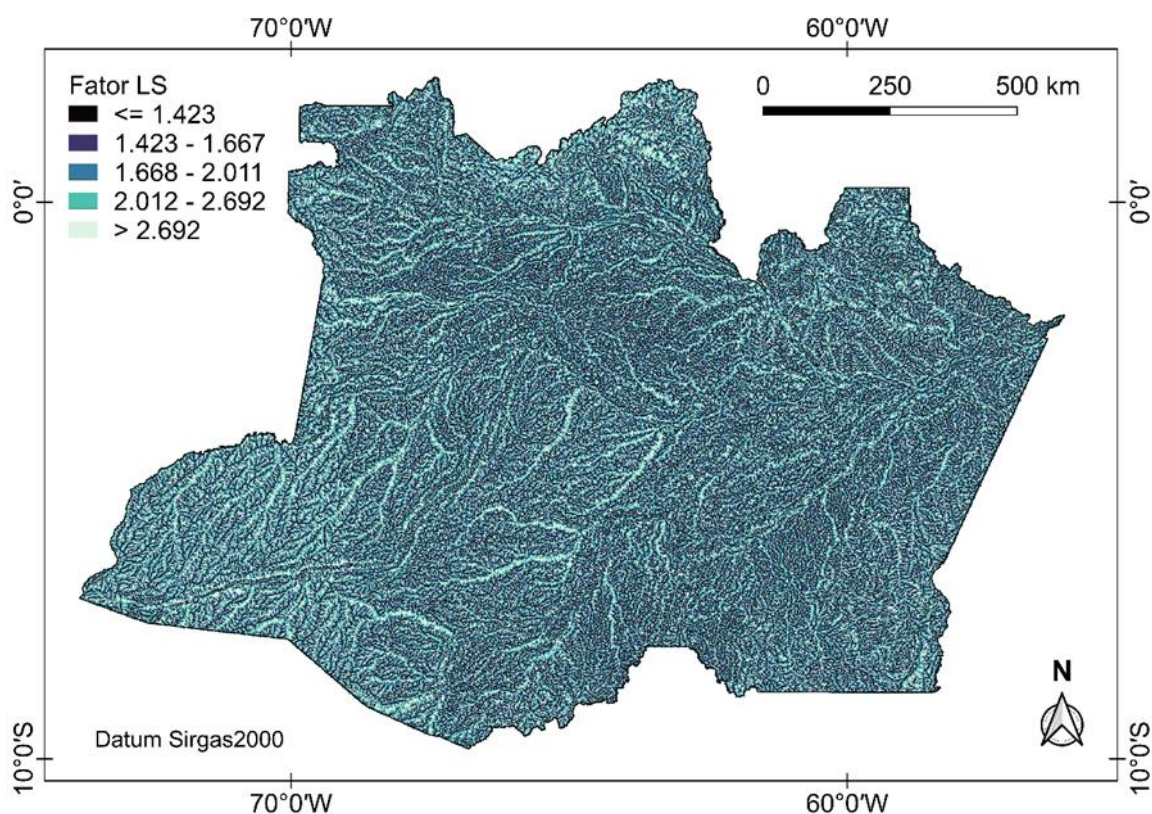


Fonte: Elaborado pelos autores.

O fator de comprimento da rampa e graus de declive (LS) variou de  $2 \times 10^{-8}$  a 16,08 (Figura 4), considerando que na área de estudo configuram solos predominantemente planos, onde 97% da área apresenta LS de até 6,43. Considera-se que, quanto maior a declividade do terreno maiores são as chances de ocorrer perda de solo por deslocamento de partículas, sobretudo se o tipo de cobertura do solo apresenta baixa capacidade de retenção, e ainda mais se encontrar-se desnudo. Para Conforti et al. (2011), a declividade das vertentes desempenha um papel crucial na elaboração dos mapas de suscetibilidade aos processos erosivos num determinado território.



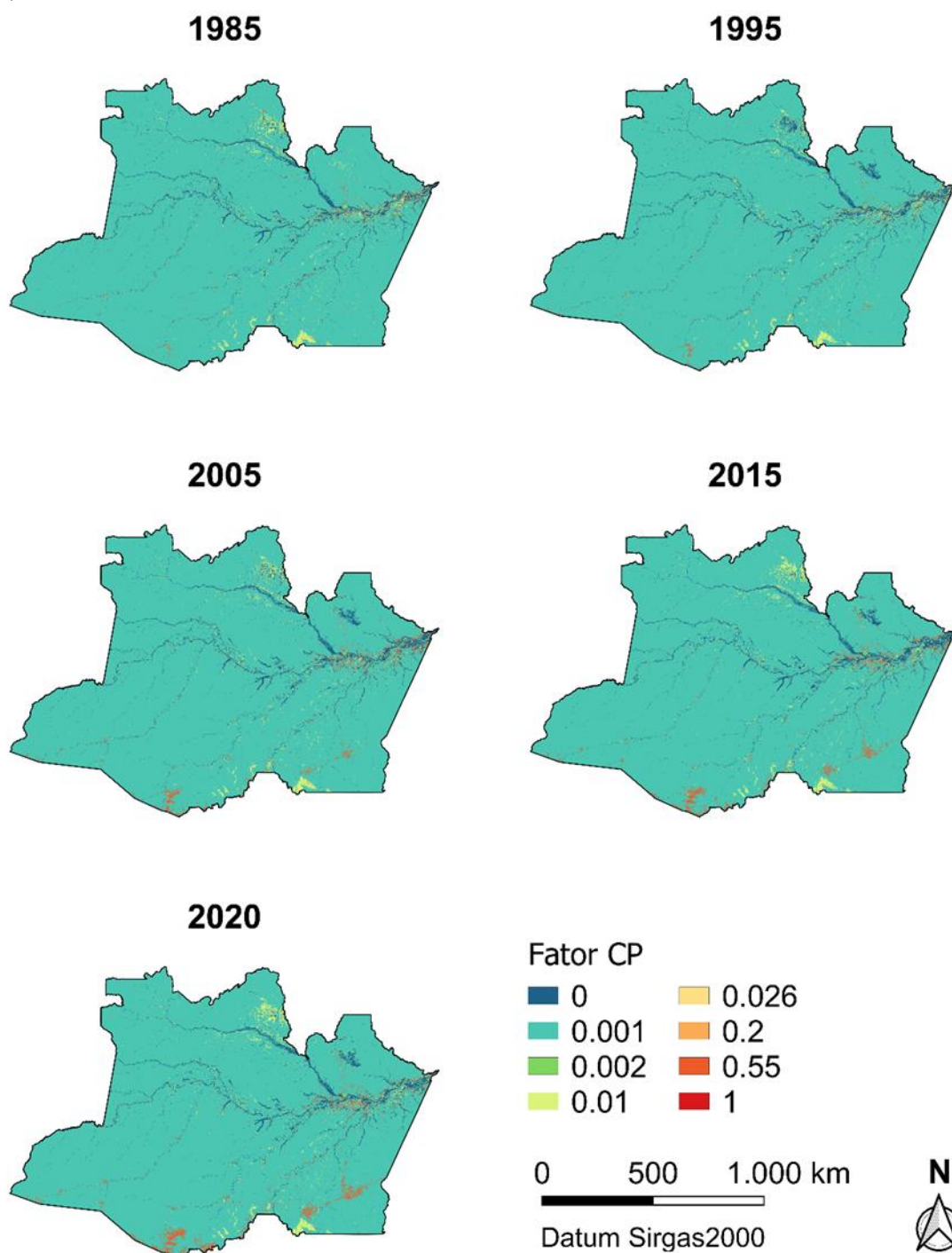
**Figura 4: Espacialização do fator LS (adimensional) no Estado do Amazonas, nos anos 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao longo dos anos, nota-se que o fator de uso, manejo e práticas conservacionistas do solo (CP) apresentou aumento em pontos específicos no sul do estado (principalmente nos municípios Boca do Acre, Lábrea, Manicoré, Novo Aripuanã, Apuí e região entorno de Manaus), em consequência do aumento de áreas de cultivo agrícola. No Município de Barcelos destaca-se pelo aumento de áreas de formação campestre (CP igual a 0,01) em detrimento de formações florestais (Figura 5).

**Figura 5: Espacialização do fator CP (adimensional) nos anos 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020, no Estado do Amazonas.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme Rosan e Alcântara (2016), a dinâmica da ocupação da região amazônica ocorreu de forma relativamente rápida e recente, devido a criação de infraestrutura para

ocupação e de diversos incentivos do governo, que incentivaram o fluxo migratório para a região, acarretando intensas mudanças.

Prado (2022), analisou a antropização em Terras Indígenas (TI) no Estado do Amazonas, dentro das áreas indígenas e em seu entorno, buscando relacionar a importância da TI para a inibição ao desmatamento e conservação da natureza, no período estabelecido entre 1985 e 2019. O autor observou que, em 2005, houve a maior aceleração da taxa de antropização das TI (64,77%), com declínio na aceleração do desmatamento até 2015, possivelmente em função das políticas públicas estabelecidas, como o Plano Plurianual de Proteção e Promoção dos Povos Indígenas, previsto na Lei 12593/12, e a Política Nacional de Gestão Ambiental em Terras Indígenas - PNGATI, conforme o decreto 7747/12 (BRASIL, 2012a, 2012b). Contudo, os dados do mesmo estudo apontaram os resultados de antropização, após 2015, “aumentam e assustam, visto que as ameaças a quem vive nestas terras, são cada vez maiores, junto de seus desafios de viver nestas condições” (Prado, 2022, p. 45). Todas as mudanças no uso e ocupação representam impacto direto na sua vulnerabilidade à erosão.

Nunes et al. (2017) aplicaram a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) na região Sul do Estado do Amazonas e obtiveram que a escolha do manejo e da prática conservacionista determinam a intensidade das perdas de solo. Conforme os resultados obtidos por esses autores, as perdas potenciais de solo foram maiores em solos desnudos: 149,72 (Argissolo) a 25,41 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Gleissolo), e a pastagem combinada à semeadura em contorno promoveu perdas de solo significativamente menores: 0,96 (Argissolos) a 0,16 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Gleissolos). Os mesmos reforçam que o cultivo de pastagem é capaz de reduzir o impacto das gotas de chuva e o movimento da água no solo, devido ao seu sistema radicular; mas o manejo inadequado do rebanho bovino intensifica as áreas degradadas por erosão. Associado às alterações no uso e ocupação do solo ao longo dos anos, observa-se o aumento médio da perda de solo calculada pela equação EUPS, no Estado do Amazonas (Tabela 3).

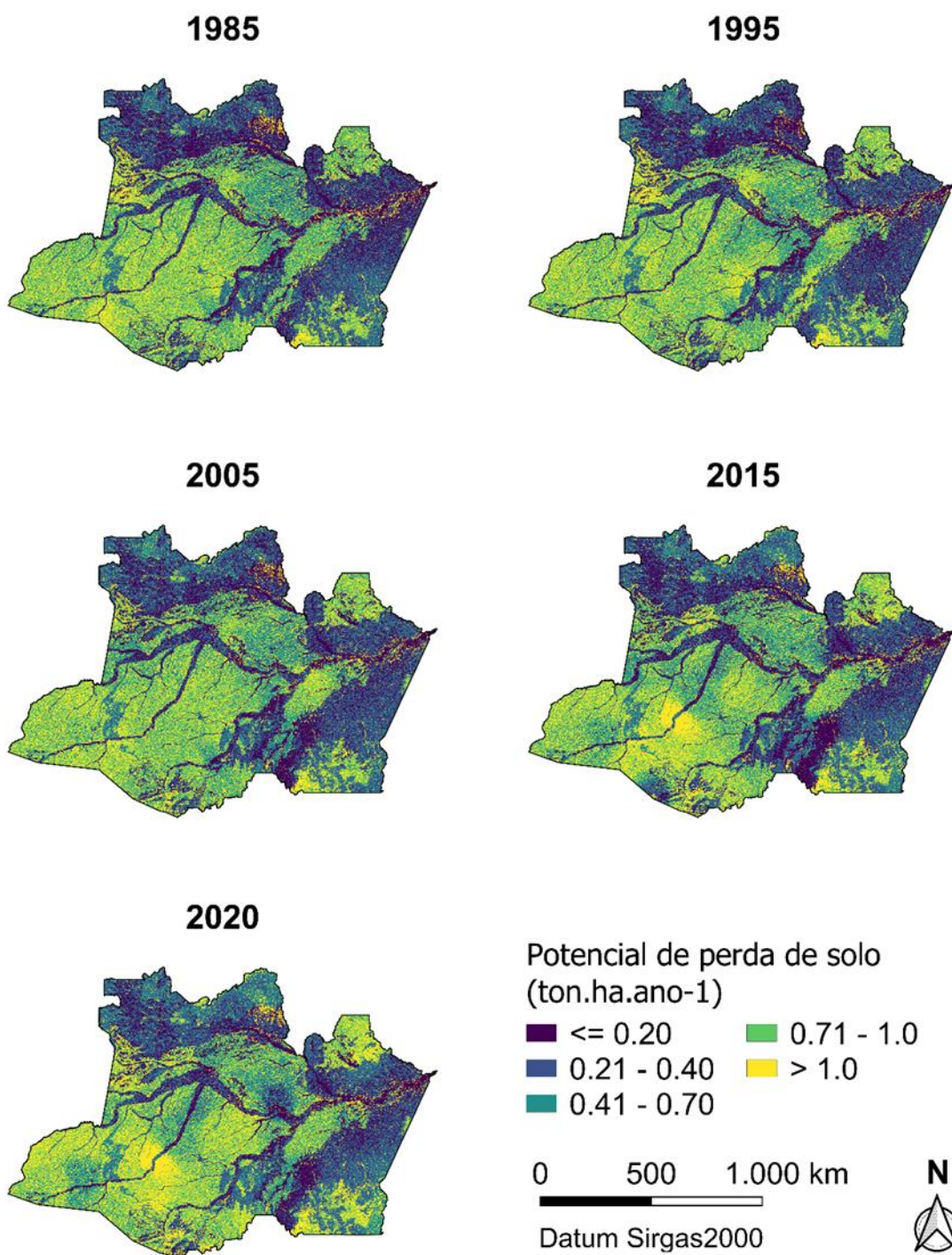
**Tabela 3: EUPS médio calculado para o estado do Amazonas em cada ano analisado.**

ANO	EUPS médio calculado (ton.ha.ano <sup>-1</sup> )
1985	2,6
1995	2,8
2005	4,2
2015	5,1
2020	6,5

É notável o aumento da média do potencial de perda de solo ao longo dos anos. Apenas no menor intervalo analisado, de 2015 a 2020, houve aumento de 27% no potencial, indicado pelo método de EUPS. Ressalta-se que, devido à maior parte do território do Amazonas ser coberto por vegetação densa, no presente estudo, verificou-se que o potencial de perda de solo no amazonense é predominantemente inferior a 1 ton. ha. ano<sup>-1</sup> (Figura 5).



**Figura 5: Espacialização do potencial de perda de solo, em ton. ha. ano-1, calculado por meio da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), nos anos 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020 no Estado do Amazonas.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

## CONCLUSÕES

No presente trabalho, foi realizado o mapeamento do modelo da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS/USLE), para o Estado do Amazonas, nos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020. Tendo em vista que a maior parte do território do Amazonas é coberto por vegetação densa, a média de perda de solo estimada encontra-se em torno de 2,6 ton. ha. ano-1 em 1985; 2,8 ton. ha. ano-1 em 1995; 4,2 ton. ha. ano-1 em 2005, 5,1 ton. ha. ano-1 em 2015 e 6,5 ha. ano-1 em 2020. É notável o aumento do potencial de perda de solo ao longo dos anos. Apenas no menor intervalo analisado, de 2015 a 2020, houve aumento de 27% no potencial de perda de solo, indicado pelo método de USLE.

Uma vez que os fatores K e LS foram constantes, as mudanças de EUPS no Amazonas foram sobretudo influenciadas pela variação dos padrões de precipitação ao longo do tempo (fator R) e pelas alterações no uso e ocupação do solo (fator CP).

O presente estudo exemplifica a capacidade de aplicação do modelo EUPS sobre grandes áreas de estudo e reforça a importância de se realizar mapeamentos da capacidade de perda de solo de áreas de interesse ambiental, tendo como objetivo o controle e monitoramento dos processos erosivos. O modelo EUPS constitui uma ferramenta de grande potencial para auxiliar no planejamento e gestão ambiental.

## AGRADECIMENTOS

O Professor Dr. Brychtn Ribeiro de Vasconcelos agradece a Universidade do Estado do Amazonas pela concessão da Gratificação de Produtividade Acadêmica (Portaria N° 409/2021-GR/UEA). A doutoranda Mirelle Tainá Vieira Lima agradece o apoio científico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo provimento de bolsa de pesquisa em nível de doutorado. Ao CNPq pela concessão de Bolsa Produtividade em Pesquisa ao Professor Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho (PQ-1D -CNPq Processo 304644/2022-6).

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, R. C.; TRES, A.; SOARES, R. V.; WENDLING, W. T.; TETTO, A. F. Classificação climática para o estado do Amazonas segundo as zonas de vida de Holdridge. **Revista de Ciências Agrárias**. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 62, 2019.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Catálogo de metadados da ANA, 2010. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/>. Acesso em: Nov. 2022.

BERTENI, F.; BARONTINI, S.; GROSSI, G. Evaluating soil erosion by water in a small alpine catchment in Northern Italy: Comparison of empirical models. **Acta Geochimica**, v. 40, n. 4, p. 507-524, 2021.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. ícone. São Paulo, v. 335, 1990. BRASIL. Lei nº 12.593, de 18 de janeiro de 2012. Institui o Plano Plurianual de Proteção e Promoção dos Povos Indígenas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012a. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112593.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112593.htm). Acesso em: Jan, 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Decreto nº 7.747, de 5 de junho de 2012. Institui a Política Nacional de Gestão Ambiental em Terras Indígenas - PNGATI. Brasília, DF, 2012b. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/decreto/d7747.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7747.htm). Acesso em: Jan, 2024.

CONFORTI, M.; A.; P. P.; ROBUSTELLI, G.; SCARCIGLIA, F. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). **Natural hazards**, v. 56, p. 881-898, 2011.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Levantamento de Geodiversidade. 2015. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: Nov. 2022.

DUARTE, M. L.; SILVA FILHO, E. P.; BRITO, W. B. M.; da SILVA, T. A. Determinação da Erodibilidade do Solo por Meio de Dois Métodos Indiretos em uma bacia hidrográfica na região sul do estado do Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020.

GODOI, R. DE F.; RODRIGUES, D. B. B.; BORRELLI, P.; OLIVEIRA, P. T. S. High-resolution soil erodibility map of Brazil. **Science of The Total Environment**, v.781, p.146673, 2021.

HIDROWEB. ANA. Estações Pluviométricas do Amazonas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: Nov. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am.html>. Acesso em: 06/02/2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente. Áreas Urbanizadas do Brasil, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/panorama>. Acesso em: Nov. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 11/01/2024.

JEBARI, S.; BERNDTSSON, R.; OLSSON, J.; BAHRI, A. Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. **Journal of hydrology**, v. 436, p. 102-110, 2012.

KAR, S. K.; KUMAR, S.; SANKAR, M.; PATRA, S.; SINGH, R. M.; SHRIMALI, S. S.; OJASVI, P. R. Process-based modelling of soil erosion: scope and limitation in the Indian context. **Curr Sci**, v. 122, n. 5, p. 533-541, 2022.

LENSE, G. H. E.; AVANZI, J. C.; PARREIRAS, T. C.; MINCATO, R. L. Effects of deforestation on water erosion rates in the Amazon region. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, p. 1-7, 2020.

MAPBIOMAS. Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil. Coleção 7, 2022. Disponível em: [https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-7/lcu/coverage/brasil\\_coverage\\_1985.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-7/lcu/coverage/brasil_coverage_1985.tif). [para os demais anos basta trocar o ano final do link. Disponível de 1985 a 2021]. Acesso em: Nov. 2022.

MARTINS, A. L. N. **Modelagem dinâmica espacial da perda de solo associada às mudanças de cobertura e uso da terra na bacia do alto Iguaçu-PR**. 2020. 155p. Dissertação de Mestrado (Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2020.

NASA. Laads Daac. DEM. MODDEM1KM. Land/sea mask and digital elevation model - remapped. 2019. Disponível em: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MODDEM1KM>. Acesso em: Nov. 2022.

NUNES, J. G.; CAMPOS, M. C. C.; NUNES, J. C.; MANTOVANELLI, B. C.; CUNHA, J. M.; SOARES, M. D. R. Aplicação da equação universal de perdas de solo na região sul do Amazonas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 15, n. 2, p. 548-557, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, R.; MEDINA, B.F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 14. p. 235-239, 1990.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, p. 139-147, 2013.

OUMA, Y. O.; LOTTERING, L.; TATEISHI, R. Soil erosion susceptibility prediction in railway corridors using RUSLE, soil degradation index and the new normalized difference railway erosivity index (NDReLI). **Remote Sensing**, v. 14, n. 2, p. 348, 2022.

PANDEY, S.; KUMAR, P.; ZLATIC, M.; NAUTIYAL, R.; PANWAR, V. P. Recent advances in assessment of soil erosion vulnerability in a watershed, **International Soil and Water Conservation Research**, v. 9, n. 3, 2021.

PRADO, H. V. **Mudança de uso e cobertura da terra em terras indígenas e entorno no estado do Amazonas**, 2022. 64 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Bacharelado em Geografia, Porto Alegre, RS, 2022.

QGIS.ORG. QGIS Geographic Information System (v 3.26). QGIS Association, 2022. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>. Acesso em: Nov. 2022.

RENARD, K. G. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Government **Printing**, 1997.

ROSAN, T. M.; ALCÂNTARA, E. Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Matogrossense: o estudo de caso do município de Cláudia (MT). **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/5, p. 979-990, 2016.

RYU, C. dlookr: Tools for Data Diagnosis, Exploration. **Transformation**, p. 352, 2019.

SILVA, D. S. BLANCO, C. J. C.; DOS SANTOS JUNIOR, C. S.; MARTINS, W. L. D. Modeling of the spatial and temporal dynamics of erosivity in the Amazon. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 6, p. 513-523, 2020.

SILVA NETO, J. C. A. S.; ALEIXO, N. C. R. Erosividade da chuva na região do médio Solimões, Amazonas, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 77, p. 01-17, 2020.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. **Department of Agriculture, Science and Education Administration**, 1978.

*Recebido em Maio de 2023*

*Aprovado em Fevereiro de 2024*

*Publicado em Agosto de 2024*