

ERODIBILIDADE DOS SOLOS POR USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NO MUNICÍPIO DE ALTAMIRA, PARÁ, BRASIL

SOIL ERODIBILITY DUE TO THE USE OF GEOPROCESSING TECHNIQUES IN THE MUNICIPALITY OF ALTAMIRA, PARÁ, BRAZIL

ERODIBILIDAD DEL SUELO POR EL USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESAMIENTO EN EL MUNICIPIO DE ALTAMIRA, PARÁ, BRASIL

PONCIANA FREIRE DE AGUIAR ¹

¹Professora do Programa de Pós-graduação em Gestão Pública do Desenvolvimento da Universidade Federal do Pará/UFPA. Pós-doutoranda em Geografia Física e Estudos Ambientais do Departamento de Geografia da Universidade do Minho. E-mail: ponciana@ufpa.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0230-6789>

RESUMO

A erodibilidade dos solos é um processo natural que pode ser intensificado pelo uso humano, o que vem ocorrendo no município de Altamira com intensidade por causa do aumento do desmatamento da Floresta Amazônica. O estudo tem como objetivos analisar a erodibilidade dos solos utilizando técnicas de geoprocessamento no mapeamento dos fatores da USLE, fator de erosividade R, erodibilidade do solo K, topográfico LS, e o uso e manejo dos solos e práticas conservacionistas CP. Os mapeamentos foram realizados na escala de 1: 250.000 no SIG QGIS para geração dos mapas e a análise de cada parâmetro. O fator R para o município de Altamira é de 11236,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ resultando em uma classe de erosividade Muito Forte. Na análise do fator K observou-se solos dos tipos gleissolos, nitossolos, neossolos, latossolos, e argissolos, com erodibilidade variando de baixa, média a alta. A análise do fator topográfico L apresentou relevos montanhosos de altas declividades, aos relevos ondulados de médias declividades, e as planícies baixas dos rios. A análise do fator C permitiu perceber que a floresta é desmatada por atividades de agricultura, pastagem, extração de madeira e mineração, com atividades legais e ilegais, que interferem nas práticas conservacionistas, por invasão de TI's e UC's, que causam conflitos. Portanto, as áreas baixas, de médias a altas erodibilidades merecem forte atenção, devendo-se observar os riscos de cada tipo pedológico, levando ações corretivas, para melhor uso de práticas conservacionistas e a sustentabilidade da Floresta Amazônica.

Palavras-chave: Erosividade. Solos. USLE. Geoprocessamento.

ABSTRACT

Soil erodibility is a natural process that can be intensified by human use, which has been occurring in the municipality of Altamira with intensity due to the increase in deforestation of the Amazon Forest. The study aims to analyze soil erodibility using geoprocessing techniques in the mapping of USLE factors, erosivity factor R, soil erodibility K, topography LS, and soil use and management and conservation practices CP. Mappings were performed at a scale of 1:250,000 in GIS QGIS for generating maps and analyzing each parameter. The R factor for the municipality of Altamira is 11236.8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ generated in a Very Strong erosivity class. In the analysis of the K factor, soil types of gleisols, nitosols, neosols, oxisols and argisols were observed, with erodibility ranging from low, medium to high. The analysis of the L topographic factor presented mountainous reliefs with high slopes, undulating reliefs with medium slopes, and low plains of rivers. The analysis of the C factor allowed us to perceive that the forest is deforested by agriculture, pasture, wood and mining inheritance, with legal and legal activities, which interfere with conservationist practices, by invasion of IT's and UC's, which cause conflicts. Therefore, as low areas, from medium to high erodibility, deserve strong attention, and the risks of each pedological type must be observed, leading to corrective actions, for better use of conservation practices and the sustainability of the Amazon Forest.

Keywords: Erosivity. Soils. USLE. Geoprocessing.

RESUMEN

La erosionabilidad del suelo es un proceso natural que puede ser intensificado por el uso humano, el cual viene ocurriendo en el municipio de Altamira con intensidad debido al aumento de la deforestación de la Selva Amazónica. El estudio tiene como objetivo analizar la erosionabilidad del suelo utilizando técnicas de geoprocésamiento en el mapeo de factores USLE, factor de erosividad R, erosionabilidad del suelo K, topografía LS y uso y manejo del suelo y prácticas de conservación CP. Se realizaron mapeos a escala 1:250,000 en GIS QGIS para generar mapas y analizar cada parámetro. El factor R para el municipio de Altamira es de 11236.8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ generados en una clase de erosividad Muy Fuerte. En el análisis del factor K se observaron tipos de suelo de gleisoles, nitosuelos, neosoles, oxisoles y argisoles, con erosionabilidad que va de baja, media a alta. El análisis del factor topográfico L presentó relieves montañosos con pendientes altas, relieves ondulados con pendientes medias y llanuras bajas de ríos. El análisis del factor C permitió percibir que el bosque es deforestado por herencia agrícola, pastoril, maderera y minera, con actividades lícitas y lícitas, que interfieren con las prácticas conservacionistas, por invasión de TI's y UC's, que provocan conflictos. Por lo tanto, como las áreas bajas, de mediana a alta erosionabilidad, merecen una

fuerte atención, y los riesgos de cada tipo pedológico deben ser observados, lo que lleva a acciones correctivas, para un mejor uso de las prácticas de conservación y la sostenibilidad de la Selva Amazónica.

Palabras-clave: Erosividad. Suelos. USLE. Geoprocementamiento.

INTRODUÇÃO

A erodibilidade dos solos é um processo natural e um dos fatores condicionados a diferentes aspectos referentes a tipologia do solo e do clima, as características e o arranjo do relevo, que são intrínsecas às estruturas morfológicas e à composição litológica do terreno, que, são influenciados e a erodibilidade do solo intensificada pelas atividades humanas.

Nesse âmbito, a ocupação humana com uso inadequado do solo e o desmatamento têm acelerado os processos erosivos dos solos na Floresta Amazônica, causando degradação, por atividades como construção de estradas, cultivo da terra pela agricultura, extração de madeira, pecuária, expansão das cidades com aumento de áreas urbanas, construção de grandes obras, dentre outras.

O conhecimento da erodibilidade do solo (fator K) e todos os fatores do modelo Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) são muito importantes no planejamento conservacionista dos solos (BERTOL *et al.*, 2007), sendo uma teoria fundamental no estudo da erosão dos solos a *Universal Soil Loss Equation* (USLE) bem utilizada (WISCHMEIER & SMITH, 1978; RENARD *et al.*, 1997; EMBRAPA, 2018), por ser um modelo que permite estimar as perdas médias anuais dos solos observando-se as características dos fatores, o cultivo dos solos e as condições de precipitação.

A erosão dos solos acelerada por atividades humanas exacerbadas tem como consequências o assoreamento, a devastação de solos férteis, os solos expostos contribuem para a instabilidade de encostas (AHMED, 2009), além de riscos geológicos, geomorfológicos, ambientais, e às populações e aos povos.

Altamira localiza-se na Amazônia Brasileira com uma topografia complexa, sendo uma área de grande biodiversidade biológica considerada um Macrodomínio, com exuberantes florestas que contribuem para a conservação dos solos, e uma densa rede de drenagem com pequenas variações ecossistêmicas, que vêm sendo alterados pela ação antrópica (AB'SÁBER, 2003). A Amazônia Brasileira tem sofrido por aumento nos desmatamentos que acarretam erosão dos solos, uma perda de floresta de cerca de 13.235 km² de agosto de 2020 a julho de 2021, (INPE, 2022).

Altamira encontra-se nesse Macrodomínio da Amazônia Brasileira, portanto, analisar os fatores de erodibilidade dos solos neste município se fazem tão necessários, para compartilhar estudos que visem sanar ou reduzir os problemas de erosão do solo, visando contribuir com melhores práticas conservacionistas.

A erosão é um importante objeto de estudo de diversas áreas científicas (geografia, geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia, agronomia, engenharia, etc.), as quais com o uso de técnicas de geoprocessamento, têm permitido o mapeamento e a quantificação dos fatores de erodibilidade dos solos com vantagens de rapidez para análises em grandes áreas, como é o caso do município de Altamira, o maior do planeta Terra.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite a realização de cálculos do fator LS, na identificação de índices morfométricos e hidrológicos, que podem refletir as características geométricas do relevo, sua drenagem e o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, contribuindo em parte com os cálculos da USLE (ZANIN *et al.*, 2017).

Portanto, esse estudo tem como objetivo principal a análise da erodibilidade dos solos do município de Altamira utilizando técnicas de geoprocessamento na análise de fatores da USLE, através do mapeamento dos fatores de erosividade (R), erodibilidade do solo (K), topográfico (LS), e o uso e manejo dos solos e práticas conservacionistas (CP), visando contribuir para melhorias no manejo do uso do solo.

Neste intuito, a presente pesquisa visa proporcionar um estudo com técnicas de mapeamentos visando alcançar estimativas que possam contribuir para a preservação, conservação e melhores práticas de preservação e conservação dos solos de Altamira.

METODOLOGIA

Foram realizadas consultas bibliográficas e documentais a sites e órgãos (para *download* de shapefiles e imagens) para análises desta pesquisa descritiva quantitativa, tais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para consulta do acervo dos Projetos Terra Brasilis e a Missão Topográfica de Radar Embarcado, o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

A base de dados utilizada nesta pesquisa incluíram as shapefiles do IBGE utilizadas foram os do Mapa de Clima do Brasil de 2014 na escala 1: 5.000.000, as de Cobertura e Uso da Terra de 2017 e Malha Territorial de 2021 na escala de 1: 250.000. As shapefiles de 2020 disponíveis no site da EMBRAPA (2022) na escala de 1: 250.000. As shapefiles do Terra Brasilis de 2022 na escala de 1:100.000.

Os mapeamentos desta pesquisa foram realizados na escala de 1: 250.000 no SIG *Geographic Information System* QGIS 3.22 (2022), para análise de cada parâmetro da USLE, inclusive os do fator topográfico gerados a partir das imagens do SRTM.

Foram escolhidos a geração de mapas de estimativa da perda de solo por erosão laminar utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) definida pela fórmula $A = R.K.L.S.C.P$, onde: A é a perda de solos em T/(ha.ano); R é o fator de erosividade das chuvas, em t.h.Mj.mm; K é o fator de erosividade do solo em t.h./(M.J/mm); LS, onde L é o fator comprimento de rampa e Sd é a declividade; C é o fator uso e manejo do solo e P o fator práticas conservacionistas.

Para gerar o mapa do fator de erosividade (R) da USLE, foram utilizados dados pluviométricos (shp) do IBGE (2014) para a geração do Mapa de Precipitação Média Anual do Município de Altamira (PA), através dos dados do mapeamento de agressividade de climática do IBGE do Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal de 2014 (IBGE, 2014), seguindo o método do Sistema Internacional de Unidades (FOSTER *et al.*, 1981), com uso dos dados de distribuição média mensal da precipitação para o período dos anos de 1960 a 1990 do IBGE (2014). Como o valor das médias obtidas nessa pesquisa, obtiveram valores próximos aos dos resultados de erosividade calculados para o município de Altamira por Silva (SILVA *et al.*, 2018), optou-se por utilizar o parâmetro R calculado por Silva, para a presente pesquisa, onde o fator R da sua pesquisa para o município de Altamira (PA) foi de 11236,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, o que resultou em uma classe de erosividade Muito Forte.

O fator erodibilidade do solo (K) da USLE é um modelo que expressa a capacidade do solo em resistir à erosão, e foi gerado a partir da geração do Mapa de Solos e Erosividade: para distinguir a tipologia do solo (textura, mineralogia, cimentação, estrutura) com base na Embrapa utilizando até o 4º nível categórico do sistema de Nomenclatura das classes, ordem, subordem, grande grupo e subgrupos (EMBRAPA, 2018) na descrição do Mapa de Erodibilidade gerado nesta pesquisa; com base nos dados de shapefiles de 2021 do IBGE (2022); e acoplados aos índices de erodibilidade já calculados: para Argissolos (em Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹) K é 0,034; para Neossolos Litólicos K é 0,046; para Latossolos K é 0,028 (FARINAS *et al.*, 2006; e SILVA *et al.*, 2004); nos Nitossolos K fica próximo de 0,011 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (BERTOL *et al.*, 2007); e os Gleissolos que podem variar de 0,009 a 0,016 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (REATTO *et al.*, 2000).

O fator topográfico (LS) inclui o fator topográfico adimensional (L), e a declividade (Sd) que foram analisados a partir do Mapa topográfico com geração do Modelo Digital de Elevação

(MDE) e o de Declividade do Município de Altamira, baseando-se na classificação da declividade (%) já propostos: 0 a 3 é relevo plano; 3 a 8 é relevo suavemente ondulado; 8 a 20 é relevo ondulado; 20 a 45 é relevo fortemente ondulado; 45 a 75 é relevo montanhoso; e valores > 75 é relevo fortemente montanhoso (EMBRAPA, 2018).

E o fator CP que inclui o uso e manejo dos solos e características das culturas (C), para uso do solo C: 0 é água; 0,01 é mata densa; 0,25 é mata aberta; 0,45 é agricultura e/ou solo exposto; e as práticas conservacionistas (P) de acordo com Pruski: 1,0 é práticas conservacionistas; 0,5 é plantio de contorno; 0,4 é alternância de campinas com plantio de contornos; 0,2 é cordão de vegetação permanente (PRUSKI, 2009).

E o Mapa de Erodibilidade do Solo à Erosão Hídrica de Altamira foi gerado com base nas shapefiles de 2020 do Modelo Espacial de Erodibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil (EMBRAPA, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

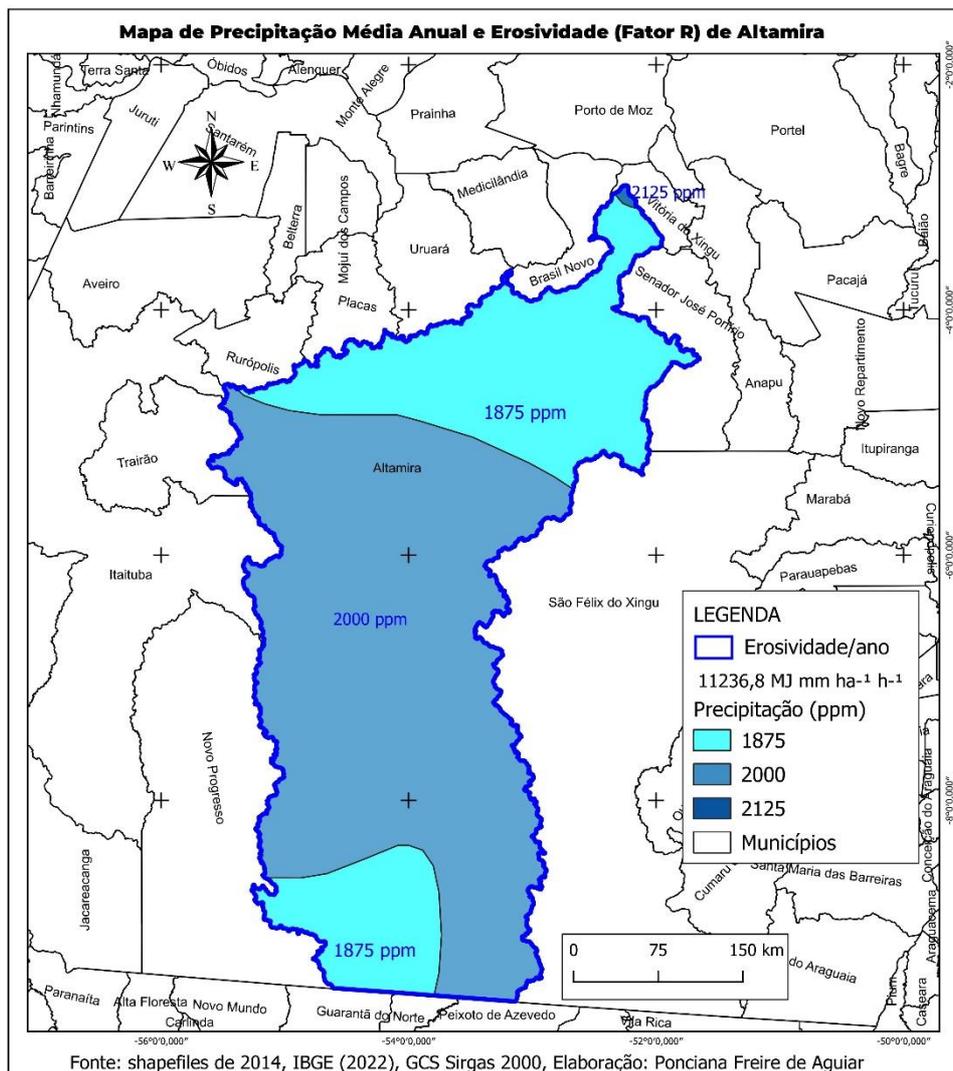
Os resultados apresentaram-se satisfatórios para as análises permitindo perceber a grande importância do uso de dados secundários em geoprocessamento, e suas técnicas para mapear, aliadas a métodos de mapeamentos utilizando sensoriamento remoto, que permitem a geração de mapas e cálculos de forma rápida e com tratamento de grandes quantidades de dados e de áreas muito grandes, como é o caso da área de estudo, município de Altamira.

Na análise do fator R foi gerado o Mapa de Precipitação da área (Figura 1) que mostra as médias anuais de 1960 a 1990 demonstram altos índices de chuva, que foram de 1875 ppm, 2000 ppm e 2125 ppm.

No Mapa Precipitação Média Anual (Figura 1) na escala 1:250.000 observa-se a distribuição da precipitação com uma média total anual de 1960 a 1990 de 2125 ppm (a maior média), sendo um mapa com poucos detalhes pois os dados de distribuição da média mensal da precipitação de 1960 a 1990 do IBGE (2014), era da escala base de 1: 5.000.000. Os valores médios para as três classes identificadas (que foram de 2125 ppm, 2000 ppm e 1875 ppm).

Como esse valor das médias geradas nesta pesquisa, obtiveram valores próximos aos dos resultados de precipitação e erosividade calculados para o município de Altamira por Silva (SILVA *et al.*, 2018), foi utilizado nessa pesquisa o fator R de Silva. Silva realizou um ótimo estudo de erosividade para o município de Altamira para o período de 1987 a 2015 (SILVA *et al.*, 2018), calculando dados de precipitação e tipos de solos para identificar a erosividade, tendo observado que os maiores valores de precipitação localizam-se nos domínios da Floresta Ombrófila Densa, com médias que variaram de 1750mm a 2250mm anuais, e concentração das chuvas fraca (35% a 45%) a média (45% a 55%), e menor período de estiagem (2 a 3 meses ao ano). Assim, o parâmetro faor R de Silva para o município de Altamira (PA) foi de 11236,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, o que resultou em uma classe de erosividade Muito Forte, tendo variado de 7.872,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ em 1990 a 14.237,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ no ano de 2006.

Figura 1. Mapa de Precipitação Média Anual e Erosividade (Fator R) do município de Altamira.



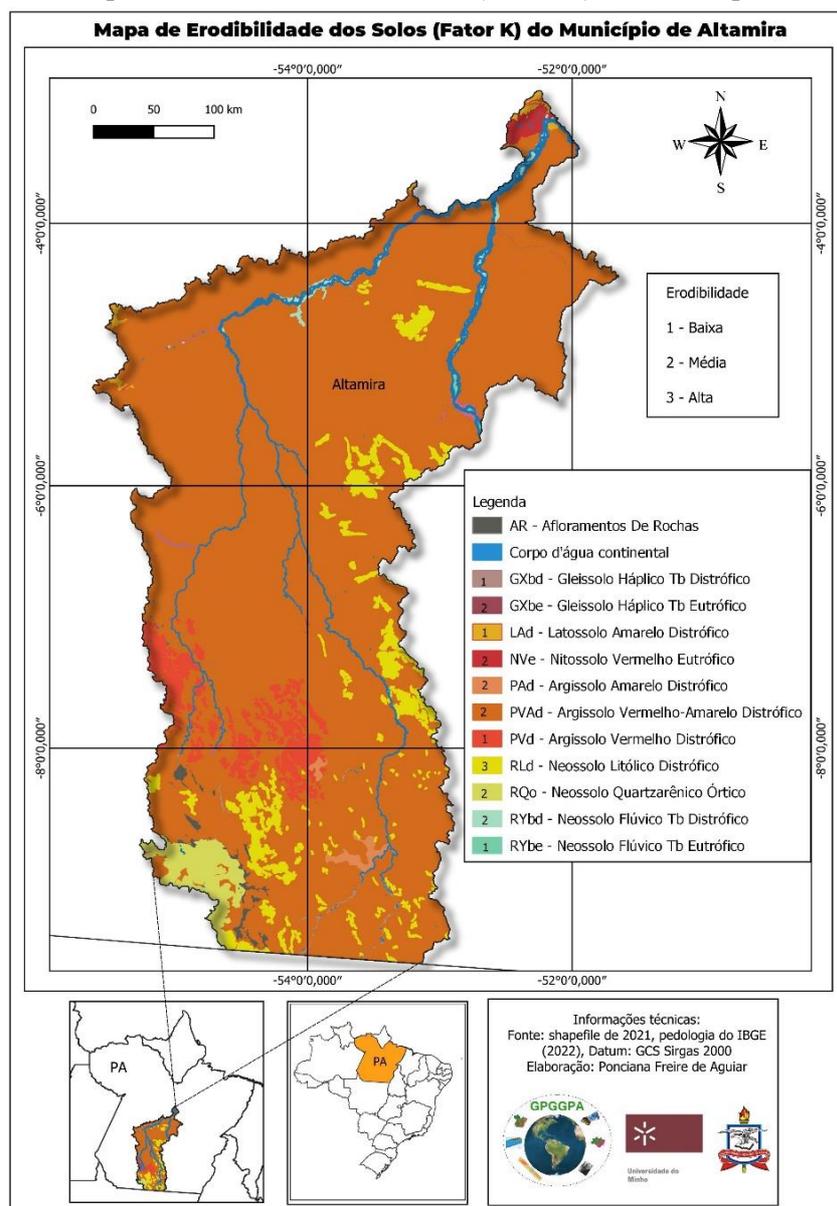
Fonte: Elaborado pela autora com base de dados do IBGE (2014).

As áreas de média total na sua pesquisa foram de 1875 ppm, as médias das chuvas variaram de 1500mm a 2250mm anuais, com estação chuvosa de 7 meses ao ano, mas com concentração das chuvas no trimestre mais seco foram de média intensidade (45% a 55%), e ocorrência de período seco de 3 a 4 meses, em áreas de Floresta Estacional e/ou Savana. As áreas de precipitação média total 1875 ppm, variaram entre 1750mm a 2250mm anuais, com estação seca de 3 meses, umidade anual relativa inferior a 85%, e temperaturas entre 24°C e 26°C (SILVA *et al.*, 2018).

Esse valor de 11236,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ de fator R com erosividade Muito Forte (SILVA *et al.*, 2018), pode ser comparado aos parâmetros de Carvalho (CARVALHO, 2008) para erosividade, onde R < 2452 é Fraca, 2452 < R < 4905 é Moderada, 4905 < R < 7357 é Moderada a forte, 7357 < R < 9810 é Forte, e R > 9810 Muito forte.

O fator K foi analisado através da geração do Mapa de Erodibilidade do Solo (Fator K) do município de Altamira (Figura 2), que apresentou-se de forma satisfatória para análise da erodibilidade na escala 1:250.000.

Figura 2. Mapa de Erodibilidade do Solo (Fator K) do município de Altamira.



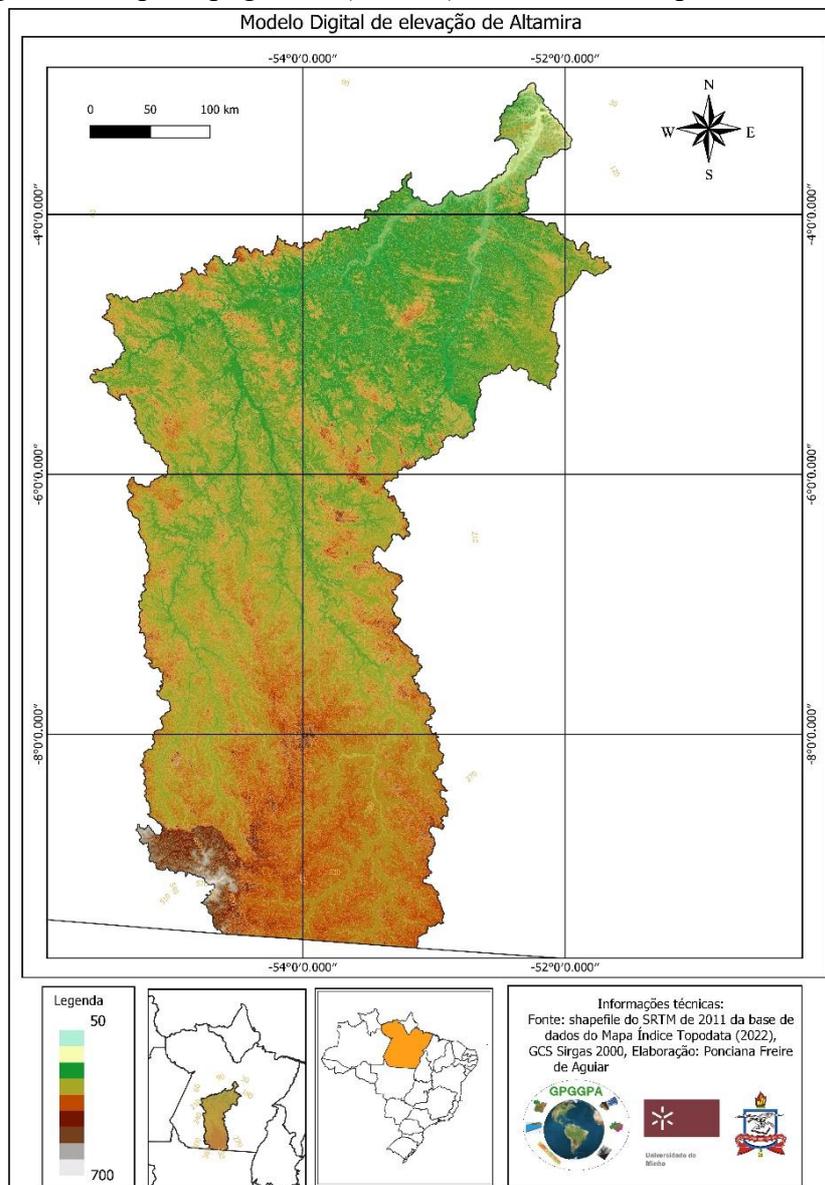
Fonte: Elaborado pela autora com base de dados do IBGE (2022).

Percebeu-se em Altamira (Figura 2) a existência de diferentes tipos de solos: os Gleissolos Háplicos Distróficos com baixa erodibilidade que ocorrem próximas às margens do Rio Xingu, os Gleissolos Háplicos Eutróficos com média erodibilidade que ocorrem próximas às margens do Rio Iriri e outros afluentes do Xingu, com baixas declividades (Figuras 3 e 4); o Latossolo Amarelo Distrófico com baixa erodibilidade com ocorrência na área norte próximo a sede do município e médias declividades, juntamente com o Nitossolo Vermelho Eutrófico com média erodibilidade; o Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico é o de maior ocorrência no município, e o Argissolo Amarelo Distrófico os dois com erodibilidade média, e o Argissolo Vermelho Distrófico com baixa erodibilidade com ocorrência na parte centro-sudeste do município.

E os Neossolos que se dividem em Neossolos Litólicos Distróficos que ocorrem em áreas de relevos acidentados próximos a encostas com alta erosividade, sendo o solo com maior erosividade do município com altas declividades (Figura 3), distribuídos espacialmente em diferentes pontos, o Neossolo Quartzarênico Órtico com média erodibilidade e ocorrência no

extremo sudeste do município na Serra do Cachimbo, os Neossolos Flúvicos Distróficos próximos a afloramentos rochosos das margens do Rio Xingu com média erodibilidade, e o Neossolo Flúvico Eutrófico com baixas erodibilidade e declividade, em margens planas de rios.

Figura 3. Mapa Topográfico (Fator L) MDE do município de Altamira.



Fonte: Elaborado pela autora, com base no SRTM de 2011 (TOPODATA, 2022).

O fator topográfico (L) analisado pelo MDE de Altamira (Figuras 3 e 4) é um muito importante pois o relevo é um dos principais aspectos que influencia na formação das estruturas e unidades de relevo, desde os mais acidentados relevo extremamente montanhoso a montanhoso das altas declividades, na área centro sul do município, e a na Serra do Cachimbo no extremo sudeste, aos relevos ondulados de médias declividades, e planícies baixas dos rios.

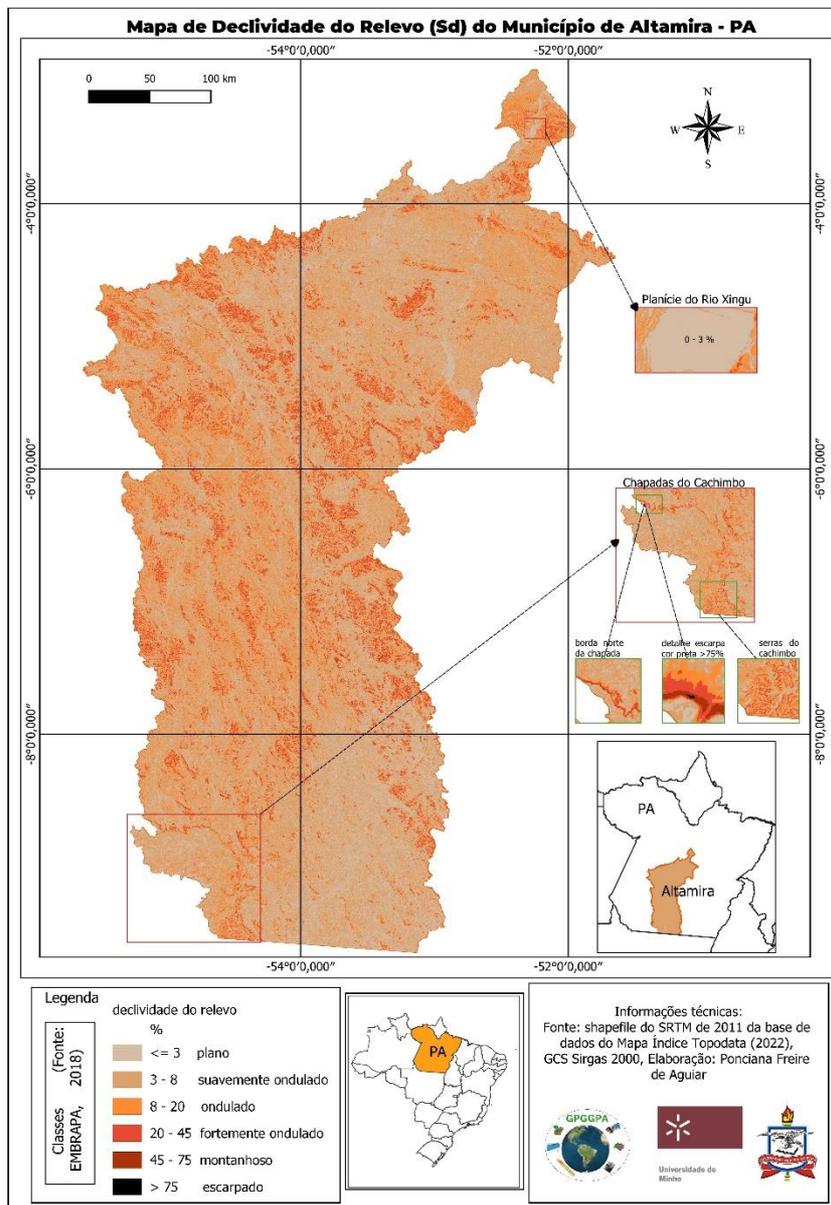
A geração de Modelo Digital de Elevação (MDE) em SIG's é fundamental na determinação do fator topográfico (LS) que permite identificar no relevo as feições de encostas e topos, com maiores valores de fator LS, e planícies das bacias hidrográficas, incluindo as áreas com canais fluviais e lagos (ZANIN et al., 2017).

Os processos exógenos são fundamentais na formação do relevo e dos solos, que ocorre por intemperismo mecânico ou meteorização mecânica, de desagregação das rochas, onde os

diversos climas através das temperaturas e das precipitações, influenciam o processo de pedogênese sob diferentes sistemas morfoclimáticos (PENTEADO, 1983).

O fator topográfico Sd (Figura 4) também é fundamental pois auxilia na geração do MDE em SIG e na identificação das classes do relevo, e das classes de maior ou menor erosão dos solos, de uma forma geral.

Figura 4. Mapa de Declividade (Fator Sd) do Município de Altamira.

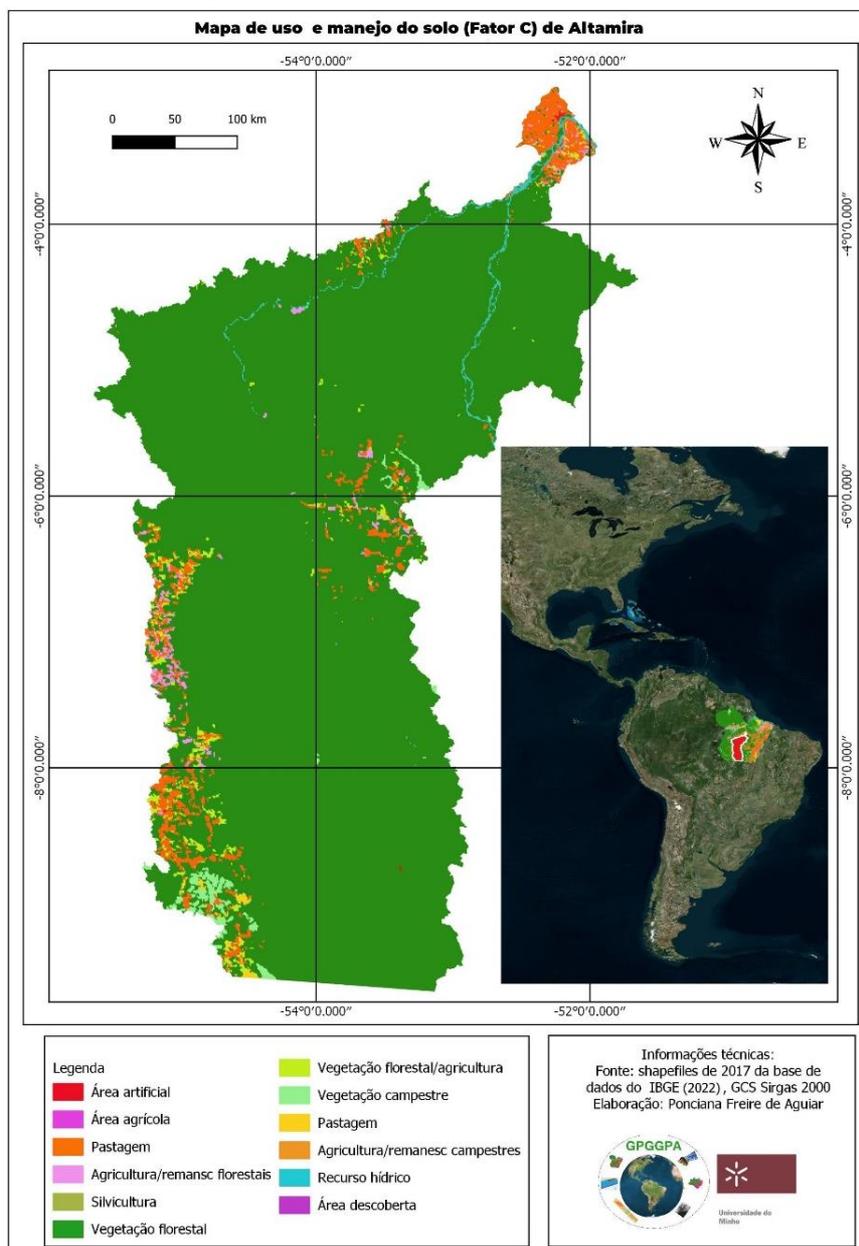


Fonte: Elaborado pela autora, com base no SRTM de 2011 (TOPODATA, 2022).

No Mapa de Declividade fator Sd (Figura 4) é possível observar que nesta escala 1:250.000 do município de Altamira, dada a extensão, pequenas áreas de unidades de declividade como as escarpas que ficam difíceis de ser visualizadas na borda norte da Chapada do Cachimbo, e áreas de relevo montanhoso, e fortemente ondulado nas bordas, como observa-se nos detalhes da borda norte da Chapada do Cachimbo, tendo áreas planas no topo, e variadas declividades na Serras do Cachimbo ao sul. Também observou-se que as maiores áreas de relevo plano encontram-se nas extensões da Planície do Rio Xingu, como visto no detalhe do mapa.

O fator C foi analisado pelo Mapa de uso e manejo do solo (Fator C) de Altamira (Figura 5), e o Fator P de Mapa de uso de práticas conservacionistas (Figura 6), demonstram bem os tipos de uso do solo nesta escala 1: 250.000.

Figura 5. Mapa de uso e manejo do solo (Fator C) de Altamira.



Fonte: Elaborado pela autora, com base de dados do IBGE (2022).

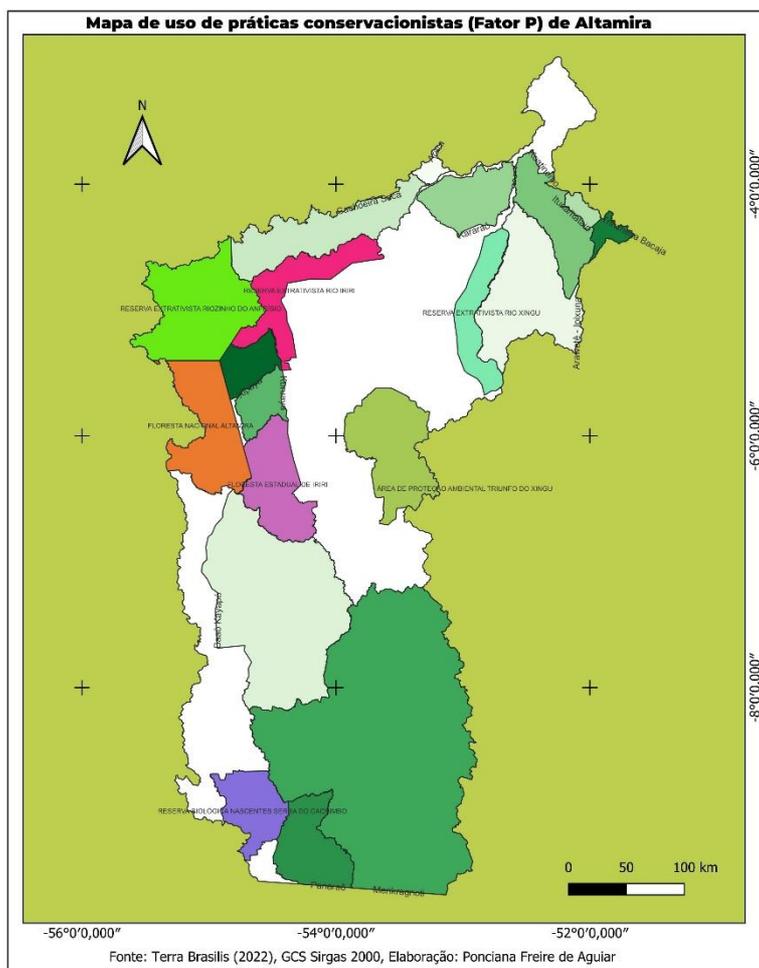
Na área de pesquisa (Figuras 5 e 6) nota-se que a maior parte do município tem a floresta desmatada por atividade de pastagem e agricultura, voltadas à exportação de carne e de soja, que vem aumentando consideravelmente nos últimos 4 anos, inclusive as atividades ilegais destes setores, madeireiras e garimpo ilegal, sendo um aspecto preocupante (Figura 6), o da invasão de Terras Indígenas (TI's) e Unidades de Conservação (UC's) pois degradam grandes áreas de solos que deviam ser conservadas e preservadas para protegê-los.

A Amazônia Brasileira é um macrodomínio que caracteriza-se pela predominância de terras baixas recobertas por florestas biodiversas, e sua diversidade de floresta densa é responsável por manter o clima, a rede hidrográfica e variações ecossistêmicas. Possui um

sistema massas de ar úmido que condicionam altos índices de precipitação anual entre 1 600 a 3 000 mm, em uma área espacial de cerca de 4,2 milhões Km², proporcionando alimentos, a navegabilidade dos rios, e grande importância dos igarapés para a ocupação indígena (AB'SÁBER, 2003).

O Mapa de uso de práticas conservacionistas (Fator P) de Altamira demonstra que grande parte do município possui UC's como a Floresta Nacional de Altamira, e 12 TI's, sendo que destas, vêm passando por pressão antrópica de invasão e desmatamentos que deram um grande salto em 2019 e vêm ocorrendo de forma crescente até 2022.

Figura 6. Mapa de uso de práticas conservacionistas (Fator P) de Altamira.



Fonte: Elaborado pela autora, com base no Terra Brasilis (2022).

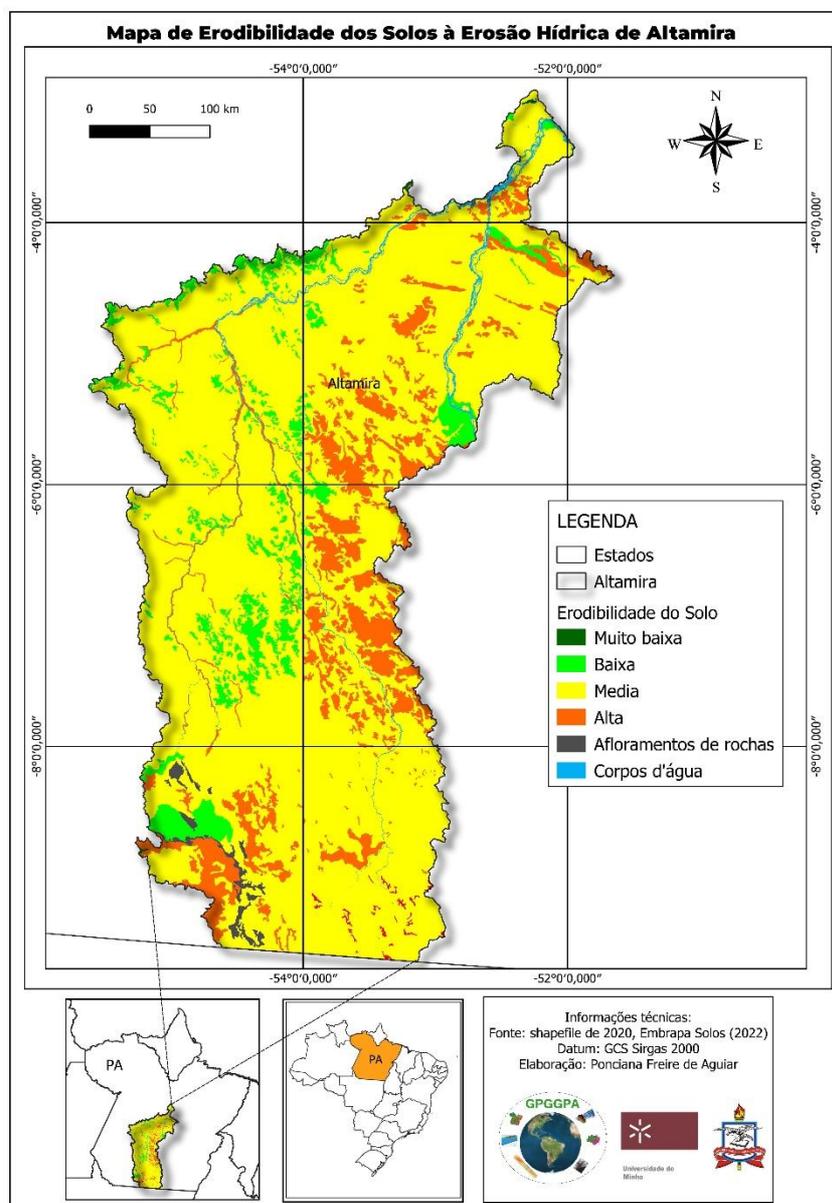
As Unidades de Conservação (APA) Triunfo do Xingu e a Reserva Biológica Nascentes Serra do Cachimbo são as que mais sofrem pressão por desmatamento ilegal e degradação dos solos (Figuras 5 e 6).

Esse fator C aliado ao fator P permite cruzar informações para identificar as áreas de uso do solo com as áreas de conservação e preservação, onde foram identificadas nesse mapeamento as áreas que vem sofrendo atividades ilegais, e avanço da pressão antrópica.

Portanto, a Amazônia é um Bioma rico que deve ser preservado, e o município de Altamira que é o maior dela deve ter o poder público (nos três níveis de governo) atuando na fiscalização ambiental e punição dos responsáveis por crimes de desmatamento, garimpo, retirada ilegal de madeira, e invasão de UC's e TI's, que causam degradação dos solos e conflitos de terra.

Segundo análises realizadas, a erodibilidade estimada, por exemplo, por regressão linear simples permite calcular as perdas de solo e a erosividade das chuvas, sugerindo-se estudos mais adequados, para um intervalo de confiança de 95 % (BERTOL et al., 2007).

Figura 7. Mapa de Erodibilidade do Solo e Erosão Hídrica de Altamira.



Fonte: Elaborado pela autora, com base na Embrapa (EMBRAPA, 2022).

O Mapa de Erodibilidade do Solo e Erosão Hídrica de Altamira (Figura 7) foi gerado através de dados (EMBRAPA, 2022), que avaliou a erodibilidade observando os fatores da USLE, e com base de dados de solos do IBGE (2021), portanto, utilizou-se para maior rapidez das análises os dados secundários já disponibilizados.

Portanto, percebeu-se que existe uma imensa quantidade de dados secundários e de imagens que podem ser tratados com técnicas de geoprocessamento para análise de dados e geração de cálculos, não só qualitativos, mas também com valores quantitativos, que podem ser utilizados em cálculos da USLE, para análise da erodibilidade dos solos, conforme observa-se na Figura 7, bem como, para integração dos dados, e observação das classes de erodibilidade, que neste caso, apresentaram erodibilidade baixa, média e alta para o município de Altamira, permitindo boas análises para melhores práticas conservacionistas dos solos.

E principalmente, as áreas de médias a altas erodibilidades do solo merecem forte atenção para a manutenção adequada dos solos para as gerações futuras, conforme parâmetros de uso e conservação dos solos que devem ser respeitados para uma maior sustentabilidade para a Floresta Amazônica que protege os solos do município de Altamira.

Portanto, propõe-se para grandes áreas uso de técnicas de geoprocessamento, que permitem também uma maior rapidez e boa acurácia no tratamento de grandes quantidades de informação. Além da necessidade de órgãos ambientais cumprirem seu papel de monitoramento e fiscalização para adequação dos componentes da legislação brasileira e uma melhor conservação dos solos de Altamira, na Amazônia.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentaram-se satisfatórios para as análises geradas permitindo perceber a importância do uso de dados secundários e as técnicas do geoprocessamento e sensoriamento remoto nos mapeamentos, que permitem a geração de mapas e cálculos de forma rápida para o tratamento de grandes quantidades de dados e de áreas muito grandes, como é o caso do município de Altamira, área de estudo.

O fator R para o município de Altamira (PA) é de 11236,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ resultando em uma classe de erosividade Muito Forte, necessitando realizar melhores práticas conservacionistas para uma maior conservação dos solos.

O fator K foi analisado através da geração do Mapa de Erodibilidade do Solo (Fator K) do município de Altamira, apresentando solos como os gleissolos, nitossolos, neossolos, latossolos, e argissolos, variando de baixa, média a alta erodibilidades, devendo-se observar a potencialidade de cada um no uso do solo e conservação.

O fator topográfico L analisado pelo MDE de Altamira é muito importante pois o relevo é um dos principais fatores que influencia na formação das estruturas e unidades de relevo, desde os relevos montanhosos de altas declividades, aos relevos ondulados de médias declividades, e as planícies baixas dos rios.

O fator C foi analisado pelo uso e manejo do solo de Altamira e o fator P de Mapa de uso de práticas conservacionistas que demonstram bem os tipos de uso do solo, permitindo perceber que a maior parte do município tem a floresta desmatada por atividade de agricultura, extração de madeira, pastagem e minerações legais e ilegais em Terras Indígenas (TI's) e Unidades de Conservação (UC's), pois o desmatamento degrada e a mineração polui os rios e os solos, além de causar conflitos territoriais, devendo-se ser evitados no contexto práticas conservacionistas.

E principalmente, as áreas baixas, de médias a altas erodibilidades do solo merecem forte atenção, devendo-se monitorar e avaliar os risco de cada tipo pedológico, realizar ações corretivas, para a manutenção adequada dos solos, conforme parâmetros de sustentabilidade para a Floresta Amazônica, uso de práticas conservacionistas, respeitando o recurso solo, para existência e manutenção para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

- AHMED, C. R. M. **Fatores que influenciam a erodibilidade nos solos do município de Campo dos Goytacazes-RJ sob uma análise multicritério**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Rio de Janeiro, 2003.
- AB'SABER, A. **Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003, 160p.
- BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F. L.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um nitossolo háplico alumínico determinada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 541-549, 2007.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Interciência, Rio de Janeiro. 2. ed. 2008.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 5ed, 2018. 356p.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Mapa de erodibilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil**. EMBRAPA: Banco de dados. 2022. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_erodibilidade_solo. Acesso em: 13 out. 2022.
- FARINAS, M.; JÚNIOR, O. A. de C.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da USLE - Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-85. 2006.
- FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**. n. 36, p. 355-359, 1981.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Potencial de Agressividade Climática da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014, p. 15. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95900.pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Estimativa de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal para 2021 é de 13.235 km²**. 2021. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Fh3emCcsWJI&t=12s>. Acesso em: 27 ago. de 2022.
- PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1983, 3ed, 185p.
- PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2009. 279p.



QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2022. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 22 ago. 2022.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; CHAGAS, C. S.; MARTINS, E. S.; ANDAHUR, J. P.; GODOY, M. J. S.; ASSAD, M. L. C. L. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Jardim, DF, escala 1:50.000**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Boletim de Pesquisa, n. 18, 2000. 63p.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington, DC: Agriculture Handbook USDA-ARS, n. 703, 1997, 385p.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, n. 57, p. 251- 259. 2004.

SILVA, F. R. R.; NASCIMENTO, J. S. do.; MEDEIROS, M. L. S. da; FERREIRA, P. V. da S.; SILVA, C. M. da. Erosividade da chuva: análise do fator erosividade da chuva e distribuição da precipitação pluviométrica da chuva de Altamira (PA). **Anais do III Congresso Internacional das Ciências Agrária**, João Pessoa, n. 1, p. 1-14, 2018. Doi: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00118>.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: Agriculture handbook USDA, 1978, 537p.

ZANIN, P. R.; BONUMÁ, N. B.; MINELLA, J. P. G. Determinação do fator topográfico em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p. 21 - 36, 2017. Dói: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1023>.

