

Artigo

Potencial erosivo das chuvas e fragilidade ambiental em áreas rurais no município de Rurópolis, Pará

Samária Letícia Carvalho Silva^{1,*}, Lucieta Guerreiro Martorano², Leônidas Luiz Volcato Descovi Filho³, Irene Ci-belle Gonçalves Sampaio⁴

¹ Engenheira Sanitarista e Ambiental, Mestra em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida, Universidade Federal do Oeste do Pará, Rua Vera Paz, s/nº, Bairro Salé, Santarém-PA, CEP 68035-110, ORCID 0000-0002-9886-8291, samariaambiental@gmail.com

² Meteorologista e Engenheira Agrônoma, Doutora em Fitotecnia/Agrometeorologia. Embrapa Amazônia Oriental. Travessa Dr. Enéas Pinheiro, s/nº (Conjunto Embrapa), Marco, Belém - PA, CEP 66095-903 ORCID 0000-0003-3893-3781, martorano.lucietta@gmail.com

³ Geógrafo, Doutor em Geografia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Rua Vera Paz, s/nº, Bairro Salé, Santarém-PA, CEP 68035-110, ORCID 0000-0001-9245-308X, leonidas.descovi@ufopa.edu.br

⁴ Licenciada em Ciências Biológicas. Doutora em Ciências pelo Programa Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, docente do Instituto Federal do Pará, Rua Universitário, s/nº, Bairro Maria Magdalena, Itaituba/PA, CEP 68183-300, ORCID 0000-0001-5457-2918, irene.sampaio@ifpa.edu.br

* Autor correspondente: samariaambiental@gmail.com

Abstract: In the Amazon, the soil deterioration causes a drop in pasture productivity. In this sense, the objective of this study was to identify areas with different classes of fragility to soil loss due to water erosion in the rural area of the municipality of Rurópolis, Pará. Data were collected from rainfall information and Geographic Information Systems (GIS). To estimate the erosivity of rainfall, the monthly and annual rainfall values of the historical series from 1983 to 2021 were considered, with a spatial cutout for the rural area of the municipality of Rurópolis, Pará. The results showed a high erosive potential of the rains, with greater expressiveness in the wettest period (December and May), that were the period most prone to water erosion. The weak class (46.84%) and medium class of potential fragility (35.05%) predominated in the study area. In the analysis of emerging consumption, the weak class prevailed and it was estimated at 46.45%. With this research, it is expected to sensitize the social actors about the risks of soil loss by erosion and, consequently, financial losses in the productive sector, when soil and water conservation practices are not adopted.

Citação: Siva, S. L.C.; Martorano, L. G.; Descovi Filho, L. L. V.; Sampaio, I. C. G. Potencial erosivo das chuvas e fragilidade ambiental em áreas rurais no município de Rurópolis, Pará.

RBCA 2025, 14, 2. p.1-13

<https://doi.org/10.47209/2317-5729.v14.n.2.7182>

Editora de Seção: Dra. Karen Janones da Rocha

Recebido: 29/01/2023

Aceito: 23/09/2025

Publicado: 31/01/2026

Nota do editor: A RBCA permanece neutra em relação às reivindicações jurisdicionais em sites publicados e ações institucionais.



Copyright: © 2025 pelos autores. Enviado para possível publicação em acesso aberto sob os termos e condições da licença Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Resumo: Na Amazônia, a deterioração do solo pelo processo erosivo, causa a queda da produtividade das pastagens. O objetivo neste estudo foi identificar áreas com diferentes classes de fragilidade à perda de solo por erosão hídrica na zona rural do município de Rurópolis, Pará. Dados foram levantados a partir de informações pluviais e Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Para a estimativa da erosividade das chuvas foram considerados os valores de precipitação mensal e anual de 1983 a 2021. Foi realizada a análise empírica da fragilidade à perda de solo pela erosão em ambientes naturais (fragilidade potencial) e antropizados (fragilidade emergente), com recorte espacial para a zona rural do município. Os resultados evidenciaram alto potencial erosivo das chuvas, com maior expressividade no período mais chuvoso (dezembro e maio), sendo o período mais propício à perda de solo pela erosão hídrica. As classes de fraca (46,84%) e média fragilidade potencial (35,05%), predominaram na área de estudo. Na análise de fragilidade emergente, a classe fraca foi

estimada em 46,45%. Com esta pesquisa, espera-se sensibilizar atores sociais sobre os riscos de perda de solo pela erosão e, consequentemente, as perdas financeiras no setor produtivo, quando não se adota práticas de conservação do solo e da água.

Palavras-chave: Agropecuária. Fragilidade. Geoprocessamento. Erosão. Amazônia.

1. Introdução

O município de Rurópolis localizado no sudoeste do estado do Pará foi a primeira cidade construída na Transamazônica pelo Programa de Integração Nacional (Pinho et al., 2018). O incentivo do governo no processo de ocupação das terras na Amazônia gerou a expansão das atividades agropecuárias ao longo das rodovias (BR-163 e BR-230) e estradas vicinais.

Desde a fundação (1974), o desenvolvimento rural do município foi consolidado no uso do solo para a agropecuária. As áreas desflorestadas para agricultura de subsistência ao longo do tempo, foram convertidas para pastagem extensiva e se consolidou como principal atividade econômica na zona rural (Pereira, 2015).

Ross (1994), desenvolveu uma metodologia de análise do ambiente em suas condições naturais e com intervenção antrópica. Esse método constitui em uma forma de identificar o grau de fragilidade de uma região, no qual a fragilidade potencial determina a maior ou menor estabilidade do ambiente, considerando o meio natural e fatores como solo e declividade (Spröhl & Ross, 2004; Massa & Ross, 2012; Martins et al., 2018). Por outro lado, a fragilidade emergente representa o equilíbrio ou instabilidade do meio em decorrência das mudanças de cobertura e uso do solo - alterações antrópicas (Periçato & Souza, 2019). A estimativa da fragilidade potencial e emergente de um ambiente passa pelo levantamento de dados sobre solos, declividade e cobertura vegetal. Esses elementos precisam ser avaliados de forma integrada, visando o planejamento ambiental (Massa & Ross, 2012; Valle et al., 2016).

A declividade do terreno é um dos fatores que determina o potencial natural à erosão, enquanto a cobertura do solo oferece maior ou menor grau de proteção, considerando a biomassa vegetal (Pires et al., 2015; Araújo et al., 2020). Assim, a avaliação das fragilidades potencial e emergente direciona o planejamento ambiental em função do seu nível de fragilidade, determinando ações que devem ou não ser realizadas no espaço ocupado (França et al., 2017).

Na Amazônia, a deterioração do solo causado pelo processo erosivo, enfraquece as áreas de pastagem, causando a queda da produtividade e prejuízos ao agricultor (Albuquerque et al., 2021). Essas áreas antropizadas e com maior declividade são apontadas como as mais frágeis à degradação (Neto & Aleixo, 2020; Martorano et al., 2021).

O impacto da erosão hídrica é resultado da perda da vegetação - que é responsável pela proteção do solo - bem como da ausência de adoção de técnicas de conservação, capazes de manter a superfície do solo protegida de intempéries das chuvas erosivas. Entre os fatores relacionados ao clima, a precipitação é a maior responsável pela ocorrência dos processos erosivos (Viola et al., 2014; Martorano et al., 2016).

A ausência da espacialização das áreas mais sensíveis à erosão hídrica, dificulta a tomada de decisão quanto ao uso do solo. Para minimizar os impactos resultantes da intervenção antrópica, a documentação do espaço geográfico, por meio de mapas, deve contemplar uma análise sistemática das questões vinculadas às potencialidades do meio físico, como forma de promover uma maior sustentabilidade ambiental e socioeconômica (Bastos et al., 2015; Melo et al., 2018; Leite et al., 2021).

Dessa maneira, o objetivo neste trabalho, foi identificar áreas com diferentes classes de fragilidade à perda de solo por erosão hídrica na zona rural do município de Rurópolis, Pará.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo foi a zona rural do município de Rurópolis, Pará, Brasil. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), o município encontra-se entre a latitude 04° 05' 44" Sul e a longitude 54° 54' 37" Oeste, com área territorial de 7.020,79 km² (Figura 1). Cerca de 17% da área territorial do município de Rurópolis pertence a Floresta Nacional do Tapajós (FLONA), que abrange os municípios de Belterra, Rurópolis, Aveiro e Placas (Santos et al., 2017).

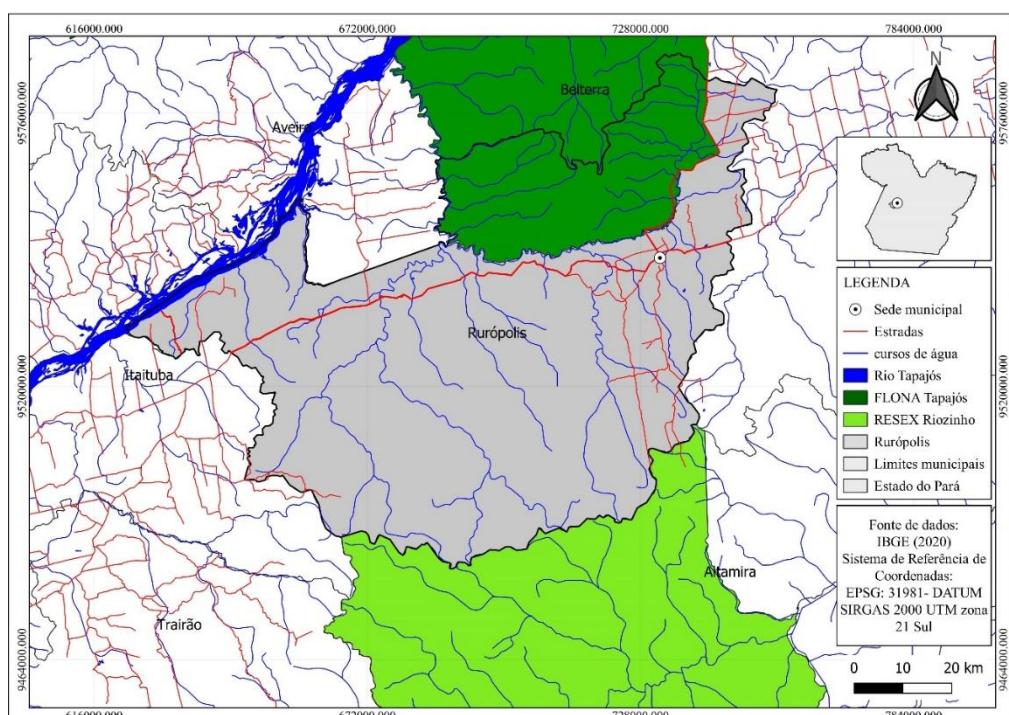


Figura 1: Localização do município de Rurópolis, Pará. Fonte: IBGE (2021). Legenda: FLONA- Floresta Nacional do Tapajós; RESEX- Reserva Extrativista Riozinho. Elaboração: Autores.

2.2 Precipitação pluvial e o potencial erosivo das chuvas

Foram obtidos dados da precipitação pluvial do município de Rurópolis, disponíveis na base de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no período de 1983 a maio de 2021 (ANA, 2021), e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), de junho a dezembro de 2021, somando uma série temporal de 39 anos (Cemaden, 2021).

Para a estimativa do potencial erosivo das chuvas foram considerados os valores de precipitação mensal e anual da série histórica de 1983 a 2021. Utilizou-se o volume mensal e anual para calcular a erosividade (Equações 1 e 2).

Primeiro calculou-se o coeficiente de chuva (Rc) pela equação (1), posteriormente, o índice de erosividade, utilizando a equação (2). A estimativa da erosividade (EI30) foi calculada pela equação desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) e adaptada de Oliveira Júnior (1996).

$$Rc = \left(\frac{(p_{mensal})^2}{(p_{anual})} \right) \quad (1)$$

$$EI30 = 321,5 + 36,2 * Rc \quad (2)$$

Na equação 1 o R_c refere-se ao coeficiente de chuva (mm) que é calculado considerando a precipitação mensal (mm), elevada ao quadrado ($pmensal^2$) dividida pela precipitação total anual (mm) (Panual). Os coeficientes de chuva foram calculados mês a mês para toda a série histórica. Na equação 2, $EI30$ é o índice de erosividade causado pelas chuvas, calculado mês a mês.

E = refere-se a energia cinética da chuva medida em Megajoule de milímetros por hectare ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}$); $I30$ = é a intensidade da chuva em milímetros por hora ($mm\ h^{-1}$).

Para categorizar os valores de erosividade, utilizou-se a classificação proposta por Santos (2008), conforme Tabela 1.

Tabela 1: Classificação do Índice de Erosividade ($EI30$) anual e mensal.

Classes da erosividade	Erosividade ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$)	Erosividade ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ mês^{-1}$)
Muito baixa	$R \leq 2500$	$R \leq 250$
Baixa	$2.500 < R < 5.000$	$250 < R < 500$
Média	$5.000 < R < 7.000$	$500 < R < 700$
Alta	$7.000 < R < 10.000$	$700 < R < 1000$
Muito Alta	$R > 10.000$	$R > 1000$

Fonte: Santos (2008). Elaboração: Autores.

2.3 Fragilidade potencial e emergente

Foram levantados dados cartográficos das seguintes classes temáticas: declividade do terreno, tipos de solos, cobertura e uso do solo. A declividade foi obtida do Banco de Dados Geomorfométricos (Topodata), os tipos de solos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a cobertura e uso do solo do projeto MapBiomas Brasil coleção 6.0 (INPE, 2021; Mapbiomas, 2021).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) do Topodata (baseado nas imagens SRTM da NASA, foi adquirido do arquivo “altitude” em formato GeoTiff (extensão.tif), com resolução espacial de 30 metros, na escala 1:250.000. Da imagem geoprocessada gerou-se as classes de declividade (INPE, 2021).

Para elaboração do mapa das classes de solos (pedologia) foram obtidas informações por meio de dados disponibilizados em formato digital do tipo Shapefile escala 1:250.000 por meio do recorte das cartas (SA-21 – Santarém e SB-21 – Tapajós), disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), principal provedor de informações geográficas e estatísticas do Brasil (IBGE, 2021). Para elaboração do mapa de cobertura e uso do solo, foram utilizadas informações do projeto MapBiomas de mapeamento anual de uso e cobertura do solo do Brasil, em formato GeoTiff, escala 1:250.000 (Mapbiomas, 2021).

Foram analisadas três temáticas das cinco propostas por Ross (1994), com adaptações baseadas em estudos de Massa e Ross (2012), Santos e Oliveira (2013), Valle et al. (2016). Após a elaboração dos mapas de fragilidades individuais dos três temas (declividade, tipos de solos, cobertura e uso do solo), foram gerados os mapas de fragilidade ambiental potencial e emergente.

O mapa de fragilidade potencial foi resultado do cruzamento do mapa de declividade com o mapa de solos. O resultado dessa integração indica fragilidade natural do ambiente e sua suscetibilidade em desenvolver processos erosivos mais intensos mesmo sem atividades antrópicas.

O mapa de fragilidade emergente é resultante da associação do mapa de fragilidade potencial, acrescentando o mapa de cobertura e uso do solo, o qual indica a fragilidade do ambiente em desenvolver processos erosivos mais intensos, considerando a influência antrópica no ambiente (Ross, 1994; Santos & Oliveira, 2013).

Utilizou-se a ferramenta r.reclass e reclassificação por tabela no programa QGIS Desktop 3.16.16 (QGIS, 2022), com algoritmo GRASS 7.8.5 para reclassificar os mapas individuais. Em seguida, com auxílio da calculadora raster, somou-se os valores dos dois mapas (declividade e tipos de solo) e extraiu-se a média da soma dos valores atribuídos aos dois mapas temáticos gerando o mapa de fragilidade potencial. O resultado do mapa de fragilidade potencial foi integrado com o mapa de cobertura e uso do solo, gerando o mapa de fragilidade emergente, aplicando a técnica de análise espacial de álgebra de mapa, pelo procedimento de sobreposição ponderada.

A fragilidade do mapa de declividade foi calculada segundo intervalos já conceituados na literatura referente a estudos de capacidade de uso e aptidão agrícola (Ross, 1994). Os níveis de fragilidades são representados em cinco (05) classes de intensidade, de muito fraca a muito forte (Spröl & Ross, 2004).

A fragilidade dos tipos de solos é classificada de muito fraca a muito forte, que segundo Ross (1994), são categorizadas levando em consideração uma série de fatores de cada tipo de solo, como as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas, profundidade e espessura dos tipos de solo, que influenciam na quantidade de chuva que infiltra ou escoa no terreno (Tabela 2). Como o mapa de solos estava em formato Shapefile, os pesos foram atribuídos na tabela de atributos, em seguida convertido para o formato GeoTiff e feito a reclassificação.

Tabela 2: Classes de fragilidade para pedologia e declividade.

Pesos atribuídos	Fragilidade	Declividade (%)	Classes de solo (pedologia)
1	Muito fraca	0-6 %	Latossolo Amarelo
2	Fraca	6- 12%	-
3	Média	12-20 %	Argissolo Vermelho-Amarelo
4	Forte	20 a 30%	Cambissolo Háplico
5	Muito Forte	Acima de 30%	Gleissolo Háplico, Neossolo

Fonte: Adaptado de Ross (1994). Elaboração: Autores.

Os códigos 3 e 12 estão inseridos na categoria 1 de floresta e formação natural não florestal e ficou definido como classe de “florestas”, atribuindo peso 1 (grau de fragilidade muito fraca). As classes de pastagem e agricultura, representadas pelos códigos 15, 39 e 41, respectivamente, foram agrupadas e denominadas somente de classe agropecuária, atribuindo o peso 3 (média fragilidade) (Mapbiomas, 2021) (Tabela 3).

Para a fragilidade das classes de cobertura e uso foi utilizado a reclassificação por tabela, levando em consideração os códigos da legenda da coleção 6.0 do (Mapbiomas, 2021).

Tabela 3: Classes de fragilidade para cobertura e uso do solo.

Pesos atribuídos	Fragilidade	Cobertura e uso do solo
1	Muito fraca	Florestas
3	Média	Agropecuária

Fonte: Adaptado de Ross (1994). Elaboração: Autores.

Na Figura 2, apresenta-se os mapas individuais de cada tema: declividade, classes de solos, cobertura e uso do solo.

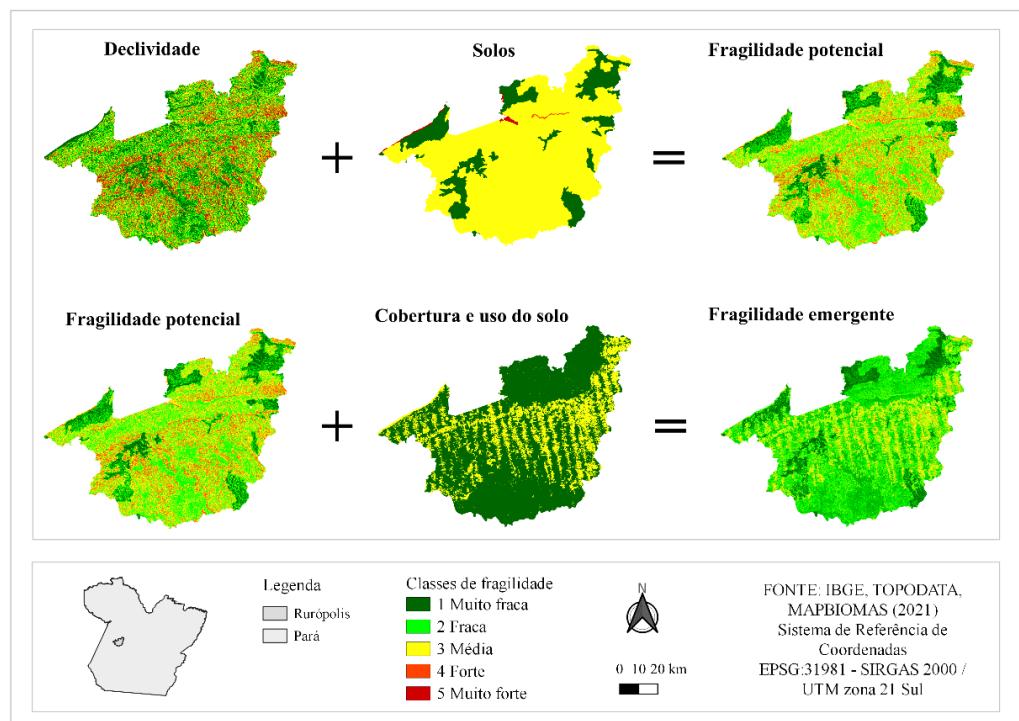


Figura 2: Esquema metodológico para mapeamento das fragilidades potencial e emergente. Fontes: INPE/TOPODATA (2021) e Mapbiomas (2021). Elaboração: Autores.

3. Resultados e discussão

3.1 Precipitação pluvial e o potencial erosivo das chuvas

O maior valor encontrado para a precipitação máxima mensal foi de 796 mm, ocorrido no mês de dezembro de 1985, enquanto o menor, foi de 8,3 em agosto de 1991 (Figura 3).

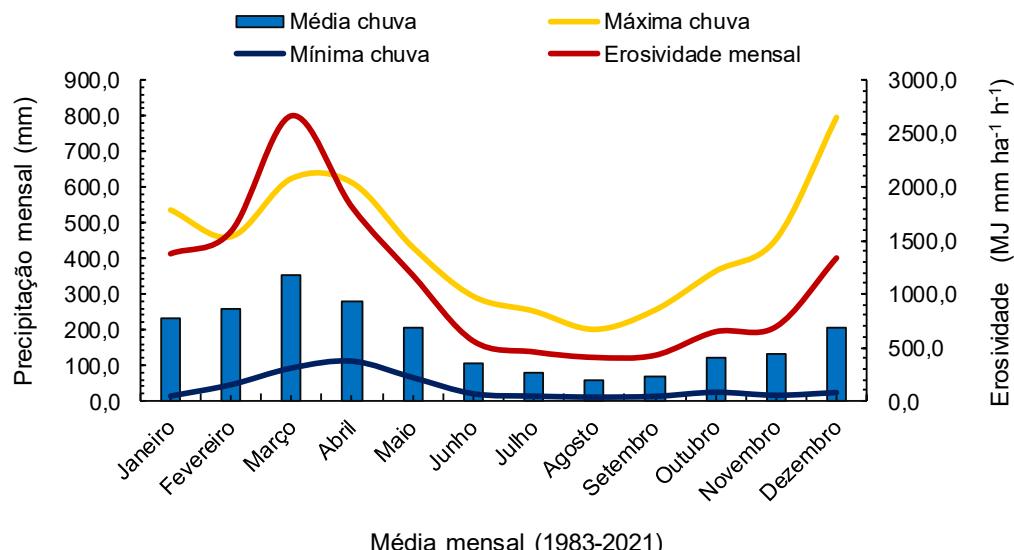


Figura 3: Precipitação média, máximas, mínimas e erosividade média mensal, Rurópolis, Pará. Fonte de dados: ANA (2009, 2021) e CEMADEN (2021). Elaboração: Autores.

Ao avaliar a distribuição sazonal da erosividade média mensal, percebeu-se que os números mais expressivos foram entre o período de dezembro a maio com valores mais elevados no mês de março, atingindo 2.668,3 MJ mm $ha^{-1} h^{-1}$ e abril com 1.814,1 MJ

mm $ha^{-1} h^{-1} mês^{-1}$. Conforme observado na Figura 3, no período menos chuvoso, a erosividade mínima foi de 414,8 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} mês^{-1}$ no mês de agosto.

Observou-se que os valores da Erosividade começaram aumentar no mês dezembro, logo atinge o pico no mês de março, o qual é o maior do ano em volume pluvial. Rizzo et al. (2023), ao analisar a vulnerabilidade dos solos quanto à erosão hídrica, verificaram que essa é a época com maiores riscos a processos erosivos, devido a maior concentração do volume pluvial anual na área de estudo. No decorrer do ano, os valores da erosividade vão diminuindo a partir de junho até novembro, atingindo valores inferiores a 800 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} mês^{-1}$ nesse período.

No entanto, ressalta-se que o aumento do processo erosivo, também está associado a maior erosividade das chuvas, em razão do impacto da gota de chuva diretamente sobre o solo e o desprendimento de partículas. Considerando que, na região amazônica a precipitação pluvial tem os maiores volumes precipitados do país (Lima et al., 2023), o que representa, consequentemente, maior energia erosiva total, indicando que se deve ter os maiores cuidados na proteção ao solo (Machado et al., 2013).

A erosividade das chuvas pode acarretar maior ocorrência de erosão hídrica no solo no período chuvoso (Bazzano, et al., 2007). Contudo, a intensificação do processo erosivo, além do volume de chuva, também depende de outros fatores como cobertura do solo e manejo, pois quanto mais protegido o solo, menor o potencial de ocorrer erosão, devido a vegetação atenuar a energia da chuva (Eduardo et al., 2013).

De acordo com as classes de erosividade (Tabela 1), na região estudada as chuvas apresentaram alto potencial erosivo com maior expressividade no período chuvoso. Entre dezembro e maio, verificou-se a maior concentração das chuvas anuais, acumulando o percentual de 73% do volume precipitado para todo o ano, sendo o período mais propício à perda de solo pela erosão hídrica. De acordo com Ribeiro et al. (2016), ações como reduzir o solo exposto nas pastagens e adoção de técnicas de manejo adequada, atenuam os impactos ambientais e prejuízos econômicos da erosão nessa época mais crítica.

3.2 *Fragilidade individual da declividade, pedologia, cobertura e uso do solo*

Com base na estimativa da fragilidade para a classe de declividade, observou-se que na área de estudo há predominância da fragilidade fraca e média e, ambas correspondem a 57% do total do município de Rurópolis. Para as classes forte e muito forte contabilizaram-se 1.338,39 km², cerca de 19%, distribuídas aleatoriamente na região estudada.

Quanto a fragilidade relacionada aos solos da região, o Argissolo Vermelho-Amarelo é o maior em porção territorial (80%) e apresenta média fragilidade, enquanto a classe de fragilidade muito baixa é presente em regiões com Latossolo Amarelo. A seguir, apresenta-se a distribuição das áreas de cada classe de fragilidade para as temáticas individuais de declividade, solos, cobertura e uso do solo (Tabela 4), cobertura e uso do solo (Tabela 5).

Tabela 4: Distribuição das classes de fragilidade para as temáticas estudadas.

Fragilidade	Declividade (%)	Área (km ²)	Percentual (%)	Pedologia	Área (km ²)	Percentual (%)
Muito fraca	0-6	1.642,31	23,46	LAd	1.295,85	18,56
Fraca	6-12	2.205,79	31,51	-	-	-
Média	12-20	1.813,00	25,90	PVAd	5.635,97	80,73
Forte	20-30	958,46	13,69	CXbd	12,17	0,17
Muito forte	>30	379,93	5,43	GXve/ RYbd	37,01	0,53

Legenda para pedologia: LAd -Latossolo Amarelo distrófico; PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico; CXbd - Cambissolo Háplico Tb distrófico; RYbd - Neossolo Flúvico Tb distrófico; GXve - Gleissolo Háplico Ta eutrófico. Elaboração: Autores.

Para o tema cobertura e uso do solo, a classe agropecuária foi classificada com média fragilidade e representa cerca de 26% do total da extensão municipal, com uso do solo predominante para pastagem extensiva com criação de bovinos. Araújo et al. (2020), destaca que apesar da cobertura de pastagem oferecer proteção ao solo, o manejo inadequado e o processo de degradação da vegetação, associados ao aumento da declividade tende a favorecer o escoamento superficial e elevar a ocorrência de processos erosivos.

Quando o mapa de uso e cobertura foi reclassificado, a maior porção do território foi na classe de cobertura florestal com extensão de 5.196,55 km², correspondendo a 74% da área de estudo. Estimou-se que 1.257 km² (17%), da cobertura florestal do município pertence à unidade de conservação de uso sustentável da Floresta Nacional do Tapajós (Tabela 5).

Tabela 5: Distribuição das classes de fragilidade para cobertura e uso do solo.

Classes	Fragilidade	Cobertura e uso do solo	Área (km ²)	Percentual (%)
1	Muito fraca	Florestas	5.196,55	74,00
3	Média	Agropecuária	1.826,19	26,00

Elaboração: Autores.

3.3 Fragilidade potencial e emergente

Na Figura 4, apresenta-se a distribuição espacial das classes de fragilidades potencial e emergente, ilustrando as zonas de fragilidades existentes no município, de acordo a classificação de Ross (1994).

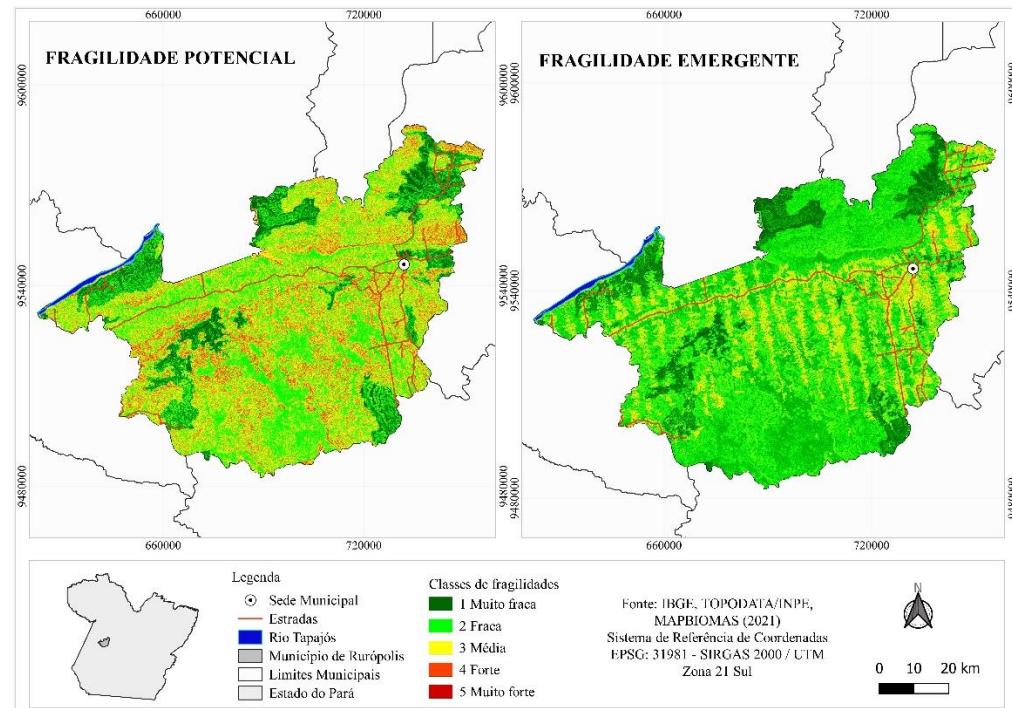


Figura 4: Mapas de fragilidade potencial e emergente do município de Rurópolis, Pará. Fonte: IBGE, INPE/TOPODATA (2021), Mapbiomas, (2021). Elaboração: Autores.

Na Tabela 6, observa-se a quantificação das áreas referentes a cada classe de fragilidade potencial e emergente, distribuídas em todo o território do município de Rurópolis.

Tabela 6: Distribuição territorial da fragilidade potencial e emergente.

Fragilidade potencial	Fragilidade emergente
-----------------------	-----------------------

Classes de fragilidade	Área (km ²)	Percentual (%)	Área (km ²)	Percentual (%)
Muito fraca	890,75	12,82	3.043,28	43,79
Fraca	3.255,05	46,84	3.227,53	46,45
Média	2.435,41	35,05	678,24	9,76
Forte	367,64	5,29	0,08	0,00
Muito forte	0,18	0,00	0,00	0,00

Elaboração: Autores.

Para a fragilidade potencial, observou-se o total de 2.435,41 km² (35,05%) com média fragilidade aos processos erosivos. A maior representatividade foi da classe de fraca fragilidade (46%), distribuída em sua maioria, nas áreas com relevo plano e suave ondulado. Já a classe muito fraca predominou em regiões com a presença de Latossolo Amarelo, corroborando desse modo, com estudos de Periçato e Souza (2019), os quais também associaram a classe de fraca fragilidade em locais com ocorrência de Latossolos e localidades com baixa declividade.

Embora a classe de forte fragilidade potencial corresponda a aproximadamente 367,64 km² da área total, é caracterizada pela influência da declividade, sendo altamente suscetível à perda de solo pelo processo erosivo.

Os locais classificados com média e forte fragilidade ocorreram onde a declividade é mais elevada e predomina os Argissolos. De acordo com Medeiros et al. (2018), os Argissolos são considerados mais suscetíveis aos processos erosivos nas regiões de clima tropical, onde eventos pluviais intensos favorecem a desagregação das partículas de solo e escoamento superficial. As perdas de solo em locais com maior declividade do terreno são aceleradas pela velocidade do escoamento superficial, responsável pelo transporte de sedimentos e assoreamento de corpos hídricos (Martins et al., 2018).

Diante disso, Valle et al. (2016), observaram que a relação entre a declividade e os tipos de solos são fatores cruciais para determinar o grau de fragilidade potencial de uma região. Ressalta-se ainda que o volume de chuva elevado no período chuvoso, associado aos altos valores de erosividade, podem levar a maiores perdas de solo nas regiões onde o relevo é mais acentuado (Trindade et al., 2016; Souza et al., 2020).

Ao analisar a fragilidade emergente, foi possível constatar que as classes muito fraca e fraca ocuparam 90% da área de estudo. Percebeu-se que a minoria do município possui média fragilidade (9,76%). O mapa de fragilidade emergente indicou que o município possui menos de 1% da classe forte, revelando a influência da cobertura e uso do solo nos processos erosivos (Figura 4).

No município, notou-se que devido a cobertura do solo ser composta por floresta em mais de 70% da área estudada, o potencial de fragilidade emergente foi reduzido, indicando que a cobertura vegetal oferece proteção natural ao solo, permitindo maior infiltração da água e redução do escoamento superficial, conforme observado por (Santos & Marchioro, 2020).

As áreas de pastagens com maior densidade de vegetação também apresentaram baixa fragilidade aos processos erosivos. Na classe de uso agropecuário, locais com menor cobertura apresentaram média fragilidade e representou o total de 678,24 km². Trindade e Rodrigues (2016), alertaram que é necessário medidas que restaurem as pastagens em processo de degradação, reduzindo os riscos de evolução para a classe de alta fragilidade.

De acordo com Lima et al. (2020), as pastagens com baixa cobertura e com áreas de solo descoberto pode acelerar os efeitos da erosão, pois reduz a infiltração e aumenta a energia cinética do escoamento superficial durante eventos pluviais extremos. Desse modo, o escoamento superficial é a fase do ciclo hidrológico mais relevante para provocar danos ambientais, pois é onde ocorre o transporte da água da chuva na superfície terrestre, dando início as etapas do processo erosivo pelo deslocamento de partículas do solo e

carreamento de material, culminando no depósito de sedimentos nos corpos hídricos (Cunha et al., 2020).

Pesquisas sobre a pecuária extensiva na Amazônia de Martorano et al. (2021), indicaram que os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPFs) é uma das estratégias para melhorar a qualidade do pasto, do solo, reduzir a supressão de florestas nativas e emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. Da mesma forma, Olival et al. (2021) reforçaram o uso desse sistema produtivo para recuperação de pastagens degradadas.

4. Conclusão

Os resultados evidenciaram que a chuva é o principal agente potencializador da erosão hídrica. Assim sendo, a cobertura vegetal do solo é crucial na mitigação dos efeitos erosivos em terras destinadas ao uso agropecuário, reduzindo as perdas de solo nas áreas de pastagens com boa cobertura vegetal.

Na análise da fragilidade potencial, as áreas com média fragilidade foram nas regiões onde a declividade é mais acentuada. Por outro lado, ao observar o mapa de fragilidade emergente, é possível visualizar que os pontos detectados com média fragilidade, estão presentes nas áreas de pecuária extensiva (locais mais antropizados).

As análises realizadas neste estudo podem ser utilizadas para orientar políticas públicas e sensibilizar atores sociais sobre os riscos de perda de solo pela erosão e, consequentemente, as perdas financeiras no setor produtivo quando não se adota práticas de conservação do solo e da água. A partir desse estudo, é possível tomar decisões quanto ao melhor planejamento territorial, com adoção de medidas de conservação do solo e água.

Financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Agradecimentos: À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa a primeira autora durante o mestrado em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida-PPGSAQ. Ao Programa Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão (PEEx). Ao Programa de Apoio ao Desenvolvimento Acadêmico da Universidade Federal do oeste do Pará- PROAC pelo auxílio financeiro recebido. À Embrapa Amazônia Oriental pelo apoio científico.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuição dos autores: 1- Samária Letícia Carvalho Silva: Conceituação, Curadoria de dados, Investigação, Visualização, Redação –rascunho original
2-Lucieta Guerreiro Martorano: Análise formal, Metodologia, Supervisão, Validação, Redação – Revisão e Edição
3- Leônidas Luiz Volcato Descovi Filho: Conceitualização; Metodologia, Supervisão, Validação, Redação – revisão e edição
4- Irene Cibelle Gonçalves Sampaio: Análise formal, Redação – Revisão e edição

Referências

- Albuquerque, J., Galvão, J. R., Moraes, M. H., Santana, M. A. D. C., Oliveira, L. D. A., & Lima, M. C. (2021). A erosividade das chuvas: O manejo agrícola sustentável das terras do município de Castanhal/PA. Biodiversidade Brasileira - BioBrasil, 11(4), 12–20. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i4.1788>.
- ANA. (2009). Inventário de Estações Pluviométricas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download>. Acesso em: 09 de março de 2021.
- ANA. (2021). Séries Históricas de Estações. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 09 de março de 2021.

- Araújo, K. V. de, Andrade, A. M. de, & Dobbss, L. B. (2020). Análise da fragilidade potencial e emergente do município de Canaã dos Carajás, sudeste do Estado do Pará. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 4 (28) 1-30. <https://doi.org/10.5902/2236499444092>.
- Bastos, A. de S., Maniesi, V., & Gomes, F. B. (2015). Vulnerabilidade natural à erosão no sudoeste da Amazônia associada aos seus modos de ocupação – o caso do entorno da terra indígena Uru Eu Wau Wau. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16(2), Artigo 2. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i2.386>.
- Bazzano, M. G. P., Eltz, F. L. F., & Cassol, E. A. (2007). Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31 (5) 1205–1217. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500036>.
- CEMADEN. (2021, dezembro 31). Mapa Interativo: Estação Pluviométrica de Rurópolis. Mapa Interativo da rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do CEMADEN. Dados de junho a dezembro de 2021. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Acesso em: 22 de junho de 2021.
- Cunha, R. A. R., Wander, A. E., Ferreira, M. E., & Berttiol, G. M. (2020). Definição de áreas prioritárias para recuperação de pastagens degradadas e seu impacto econômico no vale. *Agroecossistemas*, 12 (2) 34–50. <https://doi.org/10.18542/ragros.v12i2.8202>.
- Eduardo, E. N., de Carvalho, D. F., Machado, R. L., Soares, P. F. C., & de Almeida, W. S. (2013). Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 37 (3) 796-803. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300026>.
- França, L. C. J., Piuzana, D., & Ross, J. L. S. (2017). Potential and emerging environmental fragility in desertification nucleus in the brazilian semi-arid (Gilbués, Piauí). 38, 21–37.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). Portal de Mapas. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portaldemapas.ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 de junho de 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013). Manual Técnico de Uso da Terra. 3. Ed. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 30 de junho de 2021.
- INPE. (2021). Mapa de declividade—TOPODATA. Disponível em: <https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 30 de junho de 2020.
- Leite, E. F., Carvalho, E. M. de, Moraes, E. M. V. de, & Farias, F. R. (2021). Uso e Ocupação da Terra, Aspectos Físicos e Econômicos do Município de Aquidauana-MS. *Revista Pantaneira*, 19, 1–19.
- Lima, C. A. de, Montenegro, A. A. de A., Lima, J. L. M. P. de, Almeida, T. A. B., & Santos, J. C. N. dos. (2020). Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25, 531–542. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020193900>.
- Lima, E. P., Xavier, J. P. S., Barros, A. H. C., & da Silva, B. B. (2023). Erosividade da chuva do Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023. PDF (37p.): il. color. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892; 286). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/260323/1/CNPS-BPD-286-2023.pdf>. Acesso em: 25 de abr. 2024.
- Machado, R. L., Carvalho, D. F., Rouws, J. R. C., Gomes, D. P., & Eduardo, E. N. (2013). Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 37 (2), Abr 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200024>.
- Mapbiomas. (2021). Coleção [6.0] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lclu/coverage/brasil_coverage_2020.tif. Acesso em: 17 de julho de 2021.
- Martins, R., Colares, A., Almeida, S., Zanella, M., & Nery, C. (2018). Fragilidade potencial e emergente na bacia do rio Peruaçu, região norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomática*, 6 (2), 99-118. <https://doi.org/10.3895/rbgeo.v6n2.7521>.
- Martorano, L. G., Moraes, J. R. D. S. C. D., Silva, L. K. X., Fernandes, P. C. C., Júnior, J. M. D. A., Lisboa, L. S., Neves, K. A. L., Pacheco, A., Beldini, T. P., Aparecido, L. E. D. O., Silva, W. C. D., & Godinho, V. D. P. C. (2021). Agricultural and livestock production in the Amazon: A reflection on the necessity of adoption of integrated production strategies in the western

- region of the state of Pará. *Australian Journal of Crop Science*, 15(08), 1102–1109.
<https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.08.p2908>
- Martorano, L. G., Siviero, M., Tourne, D., Vieira, S., Fitzjarrald, D., Vettorazzi, C., Junior, S., Yared, J., Yeared, G., Meyering, É., Sheila, L., & Lisboa, S. (2016). Agriculture and forest: A sustainable strategy in the Brazilian Amazon. *Australian Journal of Crop Science*, 15(8), 1136–1143.
- Massa, E. M., & Ross, J. L. S. (2012). Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, Bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. *Revista do Departamento de Geografia*, 24, 57–79.
<https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0024.0004>.
- Medeiros, F. B., Marcatto, F. S., Silveira, H., & Nóbrega, M. de. (2018). Avaliação da estabilidade de agregados e a vulnerabilidade à erosão ao longo de uma vertente no município de Araruna, região noroeste do Paraná-Brasil / Evaluation of aggregates stability and vulnerability to erosion along a shed in the municipality of Araruna, northwest region of Paraná-Brazil. *Caderno de Geografia*, 28(55), Artigo 55. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2018v28n55p845-862>.
- Melo, F. P., Gois, D. V., dos Santos, C. A., Souza, R. L., & Guerra, A. J. T. (2018). Estruturação de modelo de risco de degradação ambiental aplicado ao Município de Pacatuba-SE. *Caderno de Geografia*, 28, 674–685. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2018v28n54p674>.
- Neto, J. C. A. S., & Aleixo, N. C. R. (2020). Erosividade da chuva na Região do Médio Solimões, Amazonas, Brasil. *Caminhos de Geografia*, 21(77), Artigo 77. <https://doi.org/10.14393/RCG217747117>.
- Olival, A. de A., Souza, S. E. X. F. de, Moraes, J. P. G. de, & Campana, M. (2021). Effect of Amazonian tree species on soil and pasture quality in silvopastoral systems. *Acta Amazonica*, 51, 281–290. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202004692>.
- Oliveira Júnior, R. C. (1996). Índice de erosividade das chuvas na Região de Conceição do I Araguaia, Pará. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/374434/1/BoletimPesquisa165CPATU.pdf>. Acesso em: 23 abril de 2020.
- Pereira, A. dos R. (2015). A colonização na transamazônica durante o governo de Emílio Garrastazu Médici. *Revista Reflexão e Ação*, Santa Cruz do Sul, 23, 54–77. <https://doi.org/10.17058/rea.v23i2.6369>.
- Periçato, A. J., & Souza, M. L. de. (2019). O Estudo da Fragilidade Potencial e Emergente na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, Noroeste do Paraná. *Caderno de Geografia*, 29(59), Artigo 59. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p1064>
- Pinho, G. F.; Monteiro, E. Z.; Pina, S. A. M (2018). A utopia urbana amazônica. eixo temático: história e teoria da arquitetura, da cidade e do urbanismo. In: Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (4.: 2018: Salvador, Ba). Programação do Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 13 a 19 de outubro. – Salvador: FAUFBA, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328450551_A_Utopia_Urbana_Amazonica. Acesso em: 20 abril de 2020.
- Pires, L. do C., Silva, L. F. da, Mendonça, B. G., & Bacani, V. M. (2015). Análise da fragilidade ambiental do município de Aquidauana-MS / Analysis of the environmental fragility of the municipality of Aquidauana-MS. *Caderno de Geografia*, 25(43), Artigo 43. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2015v25n43p52>.
- QGIS, S. Q. (2022). <http://qgisbrasil.org/>.
- Ribeiro, A., Mincato, R., Curi, N., & Shinji, F. (2016). Vulnerabilidade Ambiental à Erosão Hídrica em uma Sub-Bacia Hidrográfica pelo Processo Analítico Hierárquico. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 016–031.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p016-031>.
- Rizzo, F. A., Silva, D. C. C., & Tonello, P. S. (2023). Análise da vulnerabilidade dos solos quanto à erosão hídrica na bacia do Córrego Pequiá, Açaílândia, Maranhão. *Revista Do Departamento De Geografia*, 43, e192740..
<https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.192740>

- Ross, J. L. S. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, 8, 63–74. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.
- Santos, C. N. (2008). El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul [Dissertação de Mestrado]. https://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/handle/4925/Tese_Cristiano_Santos.pdf;jsessionid=7E79EEE937800817BA50B24FCD827390?sequence=1.
- Santos, J. R. U. dos, & Marchioro, E. (2020). Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, 39, 72–87. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>
- Santos, J. G., & de Oliveira, L. A. (2013). A fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão São Bento da Ressaca, município de Frutal – MG. *OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia*, 5 (15), 02–23.
- Santos, L. S., Martorano, L. G., Gutierrez, C. B. B., Pontes, A. N., & Silva, O. M. (2017). Aspecto Fisiográficos da Floresta Nacional do Tapajós e seu Entorno – Oeste do Pará, Brasil. *Revista Espacios*, 38(2), 26–36.
- Souza, D. S. L. de, Dellargine, F. L., Mira, I. R. C. de, Silva, G. T. G., & Silva, M. L. (2020). Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes – MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(5), Artigo 5. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2269-2292>.
- Spröhl, C., & Ross, J. L. S. (2004). Comparative analysis of environmental fragility by applying three models. *GEOUSP Espaço e Tempo* (Online), 8(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.123868>.
- Trindade, A. L. F., Oliveira, P. T. S. de, Anache, J. A. A., & Wendland, E. (2016). Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1918–1928. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016001200002>.
- Trindade, S. P., & Rodrigues, R. Á. (2016). Uso do solo na Microbacia do Ribeirão Samambaia e sua relação com a suscetibilidade à erosão laminar. *Revista Geográfica Acadêmica*, 10(1), Artigo 1.
- Valle, I. C., Francelino, M. R., & Pinheiro, H. S. K. (2016). Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. *Floresta e Ambiente*, 23(2), 295–308. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.107714>.
- Viola, M. R., Avanzi, J. C., Mello, C. R. D., Lima, S. D. O., & Alves, M. V. G. (2014). Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(2), 125–135. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000200007>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. United State Department of Agriculture - USDA. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/RUSLE/AH_537.pdf.