

FRAGILIDADE AMBIENTAL E PERDAS DE SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS CACHORROS, SÃO LUÍS – MA

ENVIRONMENTAL FRAGILITY AND SOIL LOSSES IN THE RIO DOS CACHORROS WATER BASIN

DELONY DE QUEIROZ RIBEIRO¹
MELINA FUSHIMI²
CAIO AUGUSTO MARQUES DOS SANTOS³
JOSÉ FERNANDO RODRIGUES BEZERRA⁴

¹Doutoranda em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão
E-mail: idelony@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7512-4073>

²Professora do Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental da Universidade Estadual Paulista e do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão
E-mail: melina.fushimi@unesp.br

³Professor do curso de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Rondonópolis
E-mail: kiomarques@hotmail.com

⁴Professor do curso de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão
E-mail: fernangeo@hotmail.com

RESUMO

Dentre os processos de degradação ambiental, a expansão das áreas urbanas e a mineração remove a cobertura vegetal, proporcionando processos erosivos acelerados e perdas de solos nas bacias hidrográficas, afetando o equilíbrio ecológico, a qualidade de vida das pessoas e a sustentabilidade dessas áreas. Nesse sentido, o presente artigo possui como objetivo analisar a fragilidade ambiental e as perdas de solos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, situada no município de São Luís, estado do Maranhão. Em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), foi elaborado o mapa de fragilidade ambiental a partir das variáveis curvaturas da superfície, declividade, solos, unidades de relevo e uso e cobertura da terra. Os valores de perdas de solos pela erosão laminar foram determinados a partir da adaptação dos índices de cada componente da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS). Trabalhos de campo foram realizados para o reconhecimento das características ambientais, dinâmica dos processos erosivos e reambulação das informações mapeadas. Os resultados apontaram que 26% da área de pesquisa possui fragilidade ambiental forte, caracterizada por curvatura de superfície côncava, declividades que variam de 20 a 45%, presença de Neossolos Quartzarênicos e solo exposto aos agentes erosivos. Complementarmente, os setores que apresentaram as maiores perdas de solos por erosão laminar foram as áreas de solo exposto (associada à mineração), com valores superiores a 200 t.ha⁻¹ ano⁻¹, onde também foram verificados processos erosivos lineares.

Palavras-chave: Erosão laminar. Fragilidade ambiental. Perdas de solos. Bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

ABSTRACT

The society's conflicting relationship with nature generates impacts, particularly in coastal areas, as is the case with the hydrographic basin of the Cachorros River, São Luís, Maranhão. Rapid urbanization affects the environment, increasing environmental fragility. The research analyzes this fragility and soil losses based on cartographic data, fieldwork, and spatial analysis. It was observed that the urban area is expanding, with an increase in industrial activities, especially mining and ports, while the rural area is diminishing. This removal of vegetative cover intensifies erosion and soil losses. The environmental fragility in the area varies from Very Weak to Very Strong, with the majority falling in the Moderate class. Soil losses range from 0 a > 200 t.ha⁻¹ year⁻¹. These analyses are crucial for guiding discussions on territorial planning, land use, environmental protection, and water resource management.

Keywords: Environment. Sheet Erosion. Environmental Fragility. Soil Loss. Cachorros River.

RÉSUMÉ

La relation conflictuelle de la société avec la nature génère principalement des impacts dans les zones côtières, comme c'est le cas du bassin hydrographique de la rivière des Cachorros à São Luís, Maranhão. L'urbanisation rapide affecte l'environnement, augmentant la fragilité environnementale. La recherche analyse cette fragilité et les pertes de sol à partir de données

cartographiques, de travaux sur le terrain et d'analyses spatiales. On a constaté que la zone urbaine s'agrandit, avec une augmentation des activités industrielles, en particulier l'exploitation minière et les ports, tandis que la zone rurale diminue. Cette suppression de la couverture végétale intensifie l'érosion et les pertes de sol. La fragilité environnementale de la région varie de Très Faible à Très Forte, avec la majorité dans la catégorie Moyenne. Les pertes de sol varient de 0 à > 200 t/ha⁻¹/an⁻¹. Ces analyses sont essentielles pour guider les discussions sur la planification territoriale, l'utilisation des terres, la protection de l'environnement et la gestion des ressources en eau.

Mots clés: Environnement. Érosion en nappe. Fragilité environnementale. Pertes de sol. Rivière des Cachorros

RESUMEN

La relación conflictiva de la sociedad con la naturaleza genera impactos principalmente en las áreas costeras, como es el caso de la cuenca hidrográfica del río de los Cachorros, en São Luís, Maranhão. La rápida urbanización afecta el entorno, aumentando la fragilidad ambiental. La investigación analiza esta fragilidad y las pérdidas de suelo, basándose en datos cartográficos, trabajo de campo y análisis espacial. Se ha observado que el área urbana crece, con un aumento de las actividades industriales, en particular la minería y los puertos, mientras que la rural disminuye. Esta eliminación de la cobertura vegetal intensifica la erosión y las pérdidas de suelo. La fragilidad ambiental de la zona varía desde Muy Débil hasta Muy Fuerte, siendo la mayoría de la clase Media. Las pérdidas de suelo oscilan entre 0 y > 200 t/há⁻¹/año⁻¹. Estos análisis son fundamentales para orientar las discusiones sobre la planificación territorial, el uso de la tierra, la protección del medio ambiente y la gestión de los recursos hídricos.

Palabras clave: Entorno. Erosión laminar. Fragilidad ambiental. Pérdida de suelos. Río de los Perros.

INTRODUÇÃO

O solo é indispensável para as atividades humanas, sobretudo com a manutenção da vida e a análise dos riscos ambientais. De acordo com Nunes (2004), a apropriação na maioria das vezes indevida dos recursos naturais pode resultar em quadros irreversíveis de degradação ambiental.

Dentre os processos de degradação ambiental, a expansão das áreas urbanas e a mineração remove a cobertura vegetal, proporcionando processos erosivos acelerados e perdas de solos nas bacias hidrográficas, afetando o equilíbrio ecológico, a qualidade de vida das pessoas e a sustentabilidade dessas áreas.

A erosão é considerada um dos maiores riscos ambientais devido aos grandes danos ambientais, econômicos e sociais *on-site* e *off-site* (GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; ALMEIDA FILHO; ALMEIDA, 2016). A erosão é um fenômeno natural, relacionado ao tempo geológico e à esculturação da superfície terrestre, porém são intensificados pelo uso e cobertura da terra, com o desenvolvimento de processos erosivos acelerados (GUERRA; BOTELHO, 2006; BERTONI; LOMBARDI NETO; 2017).

Segundo Jorge e Guerra (2013), a erosão do solo causa perda de nutrientes, redução do crescimento vegetal, diminuição de áreas agrícolas e pecuárias, assoreamento de corpos d'água, poluição por defensivos agrícolas transportados pelos sedimentos e risco de movimentos de massa, frequentemente resultando em prejuízos materiais e imateriais.

No contexto da dinâmica erosiva acelerada, São Luís é uma cidade densamente povoada, com uma população registrada de 1.037.775 pessoas no último censo (IBGE, 2022). O crescimento urbano de São Luís, juntamente com o desenvolvimento de infraestruturas e serviços, tem resultado na supressão da cobertura vegetal da cidade e no aumento significativo das áreas urbanizadas, de mineração e de processos erosivos acelerados.

Segundo Lopes (2018, p. 94), São Luís “é uma metrópole periférica na hierarquia urbana brasileira, entretanto, é o principal centro do Maranhão, com uma influência sobre 202 municípios, logo sofreu os maiores impactos do acelerado crescimento econômico estadual entre 2000 e 2010”, caracterizado, principalmente, pela inserção de grandes projetos industriais, como a Vale S.A (até 2007 Companhia Vale do Rio Doce - CVRD), Usina Termoelétrica MPX Itaqui e a Consórcio de Alumínio do Maranhão (ALUMAR).

Dentre as bacias hidrográficas de São Luís, a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é alvo de grandes projetos urbanos e industriais, resultando em consequências ambientais, incluindo o aumento dos processos erosivos e perdas significativas de solos.

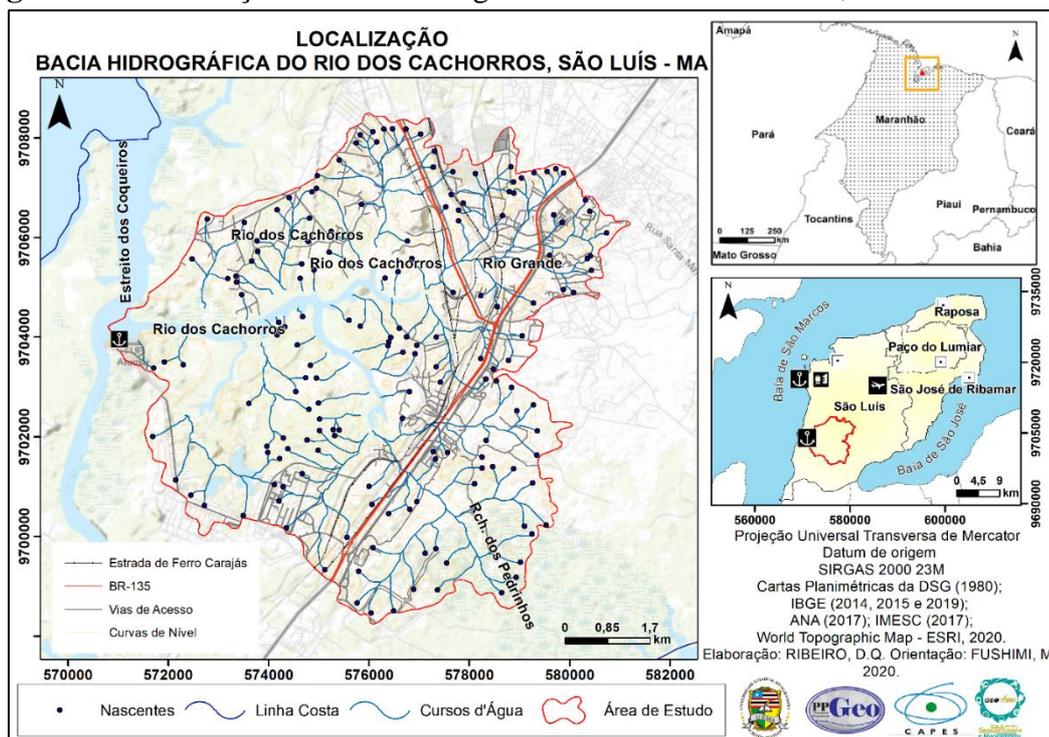
Nesse sentido, o presente artigo possui como objetivo analisar a fragilidade ambiental e as perdas de solos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, situada no município de São Luís, estado do Maranhão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Cachorros possui área de 64,37 km² e localiza-se em São Luís, estado do Maranhão, especificamente no setor Sudoeste do município (Figura 1).

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pelos autores (2022).

A bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é principalmente formada pelas características geoambientais como o Grupo Itapecuru (substrato rochoso), Colinas Esparsas (relevo), Curvaturas Retilíneas, Neossolos Quartzarênicos (Solo) e Declividade Suavemente Ondulada. Esta bacia está situada em um ambiente costeiro.

Bases cartográficas

As bases cartográficas foram organizadas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) no *Quantum GIS*[®], versão 3.16.14 (*software* livre de código aberto), e *ArcGIS*[®], versão 10.2.2 (licença EFL999703439). As bases cartográficas utilizadas foram: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Agência Espacial Europeia (ESA). Também foram utilizadas imagens do *Google Earth Pro*[®].

Fragilidade ambiental

A análise e o mapeamento da fragilidade ambiental basearam-se em Ross (1994), com adaptação dos pesos diante das características e particularidades ambientais da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.

Assim, optou-se pelos dados de curvaturas da superfície, declividade, solos, unidades de relevo e uso e cobertura da terra, em escala 1:70.000. No processo de organização das variáveis selecionadas (Quadro 1), levou-se em consideração a influência desses elementos no comportamento das perdas de solo pela erosão laminar.

Quadro 1 - Pesos e graus de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

Grau de fragilidade	Curvatura da superfície	Declividade	Solo	Unidade de relevo	Uso e cobertura
	Peso 10%	Peso 20%	Peso 30%	Peso 40%	Peso 50%
1 – Muito fraco	-	-	Gleissolo Tiomórfico	Planície de maré	Vegetação de manguezal
2 – Fraco	-	0 – 3	Gleissolo Háptico	Planície fluvial	Vegetação secundária
3 – Médio	Convexa	3 F- 8	Latossolo	Tabuleiro de topo plano	-
4 – Forte	Retilínea	8 F- 20	Argissolo	Colina esparsa	Área urbanizada
5 – Muito forte	Côncava	20 F- 45	Neossolo Quartzarênico	-	Solo exposto

Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pelos autores (2022).

A atribuição dos pesos se justifica diante do tipo de uso e cobertura, o qual influencia diretamente o nível de exposição aos agentes erosivos. Por exemplo, nas áreas urbanas, embora a vegetação não esteja presente, existe a impermeabilização do solo, enquanto os setores de solo exposto estão totalmente sujeitos aos agentes intempéricos, apresentando maior fragilidade aos processos erosivos laminares.

A partir dessas etapas e processamentos foi realizada a análise de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, resultando em classes que variam de Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte.

Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)

Os valores de perdas de solo pela erosão laminar foram determinados a partir da adaptação dos índices de cada componente da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) propostas por Wischmeier e Smith (1978) e Ross (1994): Perda de Solo - A ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), Erosividade - R ($Mj \cdot mm/ha^{-1} \cdot h^{-1}$), Erodibilidade - K ($ton \cdot h/Mj/mm \cdot ano$), Comprimento da Rampa - L (m), Declividade - S (%), Uso - CP (adimensional), conforme Quadro 2:

Quadro 2 - Adaptação da EUPS para a área de estudo

Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)	Equação Universal de Perdas de Solos adaptada para a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros
<p>A = R.K.L.S.C.P</p> <p>A = perda total de solo por unidade de área (ha) R ou E = erosividade causada pelas chuvas K = erodibilidade dos solos face suas características físicas L = comprimento da vertente ou rampa</p>	<p>K = para determinar os pesos dessas classes, foram consultados autores que já haviam analisado esses solos CP = uso e cobertura do solo</p>

S = declividade média da rampa ou vertente C = uso e manejo da terra P = prática conservacionista adotada	
---	--

Fonte: Wischmeier e Smith (1978) e Ross (1994). Elaborado pelos autores (2024).

De modo geral, a erosividade (R) indica a capacidade da chuva em ocasionar erosão, a erodibilidade (K) diz a respeito às propriedades do solo frente à chuva e ao escoamento, o fator topográfico (LS) tem influência direta na intensidade da erosão laminar e o fator uso (CP) leva em consideração a cobertura da terra e sua relação aos processos erosivos.

Para a erosividade (R) foi utilizado os dados da série temporal dos dados climatológicos do período de 2000 a 2020 de São Luís, disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020).

O fator erodibilidade (K) (Quadro 3) baseou-se no esboço das principais classes de solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros de Fushimi (2020) e na adaptação dos pesos propostos por Guimarães et al. (2011), Morais e Sales (2017) e Santos et al. (2019). Medidas experimentais do valor de K, conforme normas estabelecidas na metodologia original da EUPS, necessitam de muitos anos de experimentação (ZAPAROLI; CREMON, 2010) e, por se tratar de uma área de estudo de difícil locomoção e segurança que apresenta diversos conflitos de interesse, os valores foram adaptados de levantamento bibliográfico.

Quadro 3 - Erodibilidade (K) da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

Erodibilidade - Fator K (ton.h/Mj/mm/.ano)	
Gleissolos Tiomórficos	0,001
Gleissolos Háplicos	
Neossolos Quartzarênicos	0,487
Argissolos	0,0592
Latossolos	0,015

Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pelos autores (2022).

Os dados do fator topográfico (LS) foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da imagem TOPODATA do DSR/INPE (2008), com resolução espacial de 30 metros.

Sobre o fator uso e manejo da terra e práticas conservacionistas (CP) (Quadro 4), optou-se por analisar as duas variáveis juntas, pois o propósito não são os sistemas conservacionistas, mas sim como o uso e a cobertura da terra se relacionam com as perdas de solo. Dessa forma, utilizou-se dados de uso e cobertura da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros gerados pela imagem de satélite *Sentinel-2* do ano 2020, resolução espacial de 10 metros, e a determinação dos pesos das classes baseou-se em autores que aplicaram a EUPS: Guimarães et al. (2011), Barbosa et al. (2015), Pasquatto e Tomazoni (2016) e Carneiro (2019).

Quadro 4 - Fator uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas (fator CP) da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

Uso e cobertura da terra/práticas conservacionistas- Fator CP (adimensional)	
Formação de Manguezal	0
Formação Secundária	0,00040
Área Urbanizada	0,06880
Solo Exposto	1

Fonte: Guimarães et al. (2011), Barbosa et al. (2015), Pasquatto e Tomazoni (2016) e Carneiro (2019).
Elaborado pelos autores (2022).

Posteriormente, em ambiente SIG foi gerado o mapeamento de perdas de solos estimadas (A), de acordo com as classes da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 1967 apud Guimarães et al., 2011): Nenhuma ou Ligeira, Moderada, Alta e Muito Alta.

Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo ocorreram nos meses de maio e novembro de 2021 e fevereiro de 2022, tanto no período de seca quanto chuvoso, visto que a chuva é um agente erosivo na estação chuvosa (erosão pluvial), enquanto o vento predomina na seca (erosão eólica).

Para complementar a análise ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, foi identificado e georreferenciado 32 pontos de erosão laminar e Linear (6 pontos), laminar (2 pontos) e linear (24 pontos), os quais foram levantados em trabalhos de campo, imagens do *Google Earth Pro*[®] do ano de 2022 e imagens do satélite *Sentinel-2* de 2020 e *Maxar Technologies* de 2021.

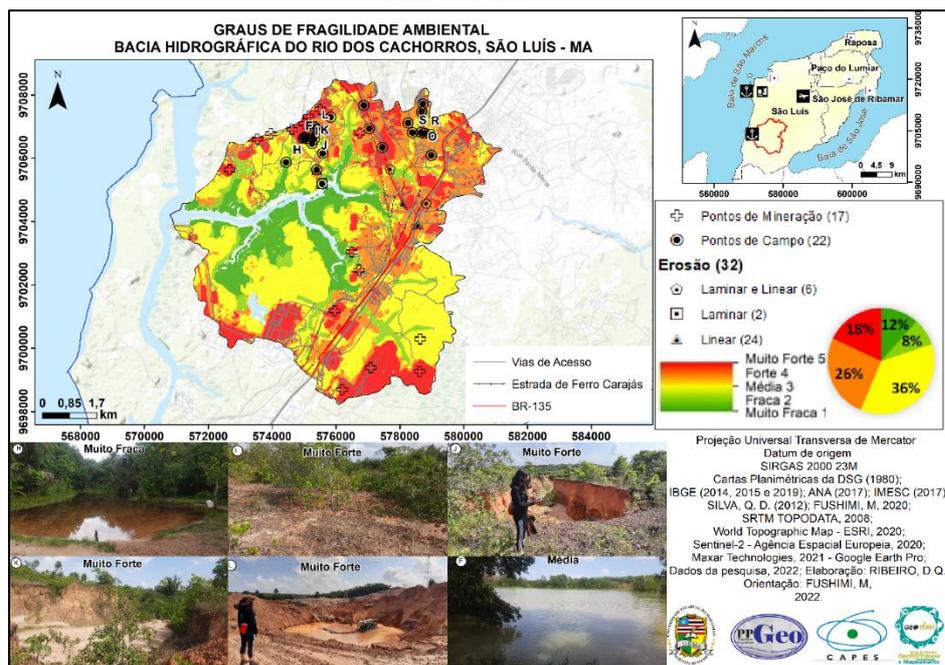
Os trabalhos de campo foram essenciais para o reconhecimento das características ambientais, dinâmica dos processos erosivos e reambulação das informações mapeadas, como uso e cobertura da terra, fragilidade ambiental e perda de solos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na inter-relação das características ambientais de curvatura da superfície, declividade, tipos de solo, unidades de relevo e uso e cobertura da terra a partir de mapas e pontos de observação (Figura 2), foi possível analisar o comportamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA.

A fragilidade ambiental apresentou as classes Muito Fraca (1), Fraca (2), Média (3), Forte (4) e Muito Forte (5). Em relação à distribuição dessas classes destaca-se a Média (36%), seguida pela Forte (26%), Muito Forte (18%), Muito Fraca (12%) e Fraca (8%).

Figura 2 - Mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pelos autores (2022).

A fragilidade Muito Fraca caracteriza-se pelos Gleissolos Tiomórficos, planície de maré e vegetação de manguezal e a fragilidade Fraca é formada por Gleissolos Háplicos, planície fluvial e vegetação secundária. Ambos os ambientes estão diretamente relacionados com as águas fluviais e costeiras, principalmente do rio dos Cachorros, em baixas declividades (até 3%) e com a presença de formações vegetais protegendo o solo contra o efeito *splash* ou erosão por salpico.

Na fragilidade Média, a curvatura de superfície é convexa, com declividades que variam de 3 a 8% em tabuleiros com topos planos e Latossolos. A fragilidade Forte apresenta curvatura de superfície retilínea, colinas esparsas com declividades entre 8 a 20%, solos do tipo Argissolos, exceto nas áreas urbanizadas (Figura 3A).

A fragilidade Muito Forte é constituída pela curvatura de superfície côncava, declividades que variam de 20 a 45% (consideradas acentuadas para a área de estudo) e Neossolos Quartzarênicos (Figura 3B) e sem cobertura (Figura 3C), cujo solo encontra-se exposto aos processos erosivos, com o predomínio da erosão eólica no período de seca e erosão pluvial na estação chuvosa. Os setores de solo exposto situam-se, preferencialmente, em áreas de mineração, conforme pesquisas realizadas por Castro e Pereira (2012) e Ribeiro et al. (2021). A partir das imagens do *Google Earth Pro*[®] dos anos de 2020 e 2021 da Figura 4 foi possível observar que um novo setor de mineração (em vermelho na Figura 4) desenvolveu-se, removendo completamente a cobertura vegetal.

Figura 3 - (A) Cobertura urbana. (B) Neossolo Quartzarênico. (C) Solo exposto



Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

Figura 4 - Avanço da mineração (em vermelho) entre 2019 e 2020



Fonte: Google Earth Pro. Elaborado pelos autores (2024).

Além da fragilidade ambiental foi realizada a análise da perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros por meio da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).

O Quadro 5 apresenta os dados pluviométricos da estação meteorológica de São Luís entre os anos de 2000 a 2020 (INMET, 2020) utilizados para o cálculo do índice de erosividade (EI). Os maiores índices de erosividade são nos meses de março, com média mensal de 24740,43 Mj.mm/ha⁻¹.h⁻¹, e abril, com média mensal de 26578,03 Mj.mm/ha⁻¹.h⁻¹. Estes meses são chuvosos (433,03 mm e 451,67 mm de precipitação, nessa ordem) em virtude da atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na região.

Quadro 5 - Fator erosividade (R) da série histórica de 2000 a 2020

Meses	Média mensal de precipitação entre 2000 a 2020 (mm)	Média mensal do Índice de Erosividade (EI) (Mj.mm/ha ⁻¹ .h ⁻¹)
Janeiro	245,52	9429,19
Fevereiro	340,64	16453,22
Março	433,03	24740,43
Abril	451,67	26578,03
Mai	307,21	13802,79
Junho	185,01	5828,52
Julho	111,58	44,8513
Agosto	22,26	159,26
Setembro	2,67	4,32
Outubro	3,52	6,925
Novembro	6,08	17,53
Dezembro	51,20	656,27
FATOR R		8143,45

Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pelos autores (2022).

O fator erosividade (R) da série histórica de 2000 a 2020 foi de 8143,45 Mj.mm/ha⁻¹.h⁻¹, sendo este dado dependente da distribuição da precipitação ao longo dos anos.

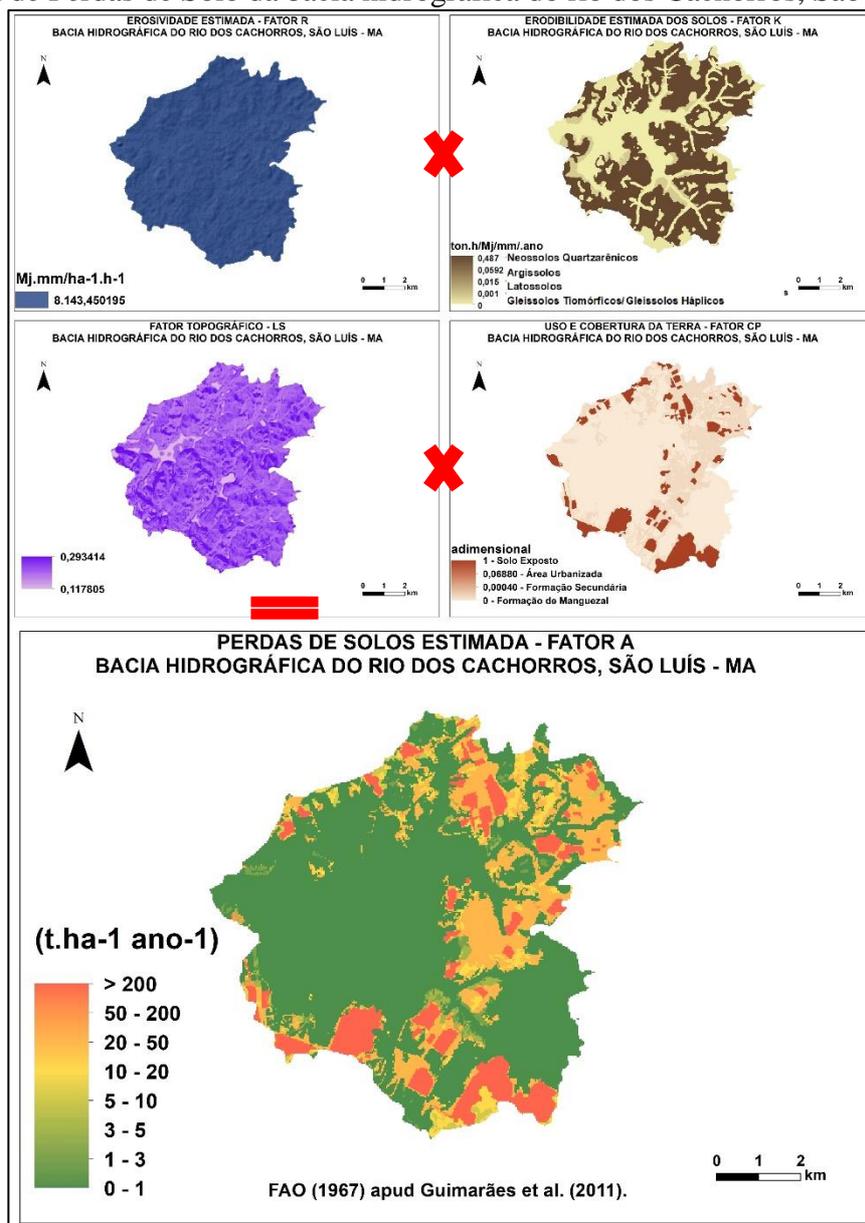
No fator erodibilidade dos solos (Fator K), com base nas pesquisas desenvolvidas por Guimarães et al. (2011), Morais e Sales (2017) e Santos et al. (2019), para os Gleissolos Tiomórficos e Gleissolos Háplicos utilizou-se uma erodibilidade estimada de 0,001 ton.h/Mj/mm/ano. Os Latossolos apresentaram uma erodibilidade estimada de 0,015 ton.h/Mj/mm/ano), nos Argissolos o valor foi de 0,0592 ton.h/Mj/mm/ano e nos Neossolos Quartzarênicos a erodibilidade foi estimada em 0,487 ton.h/Mj/mm/ano. Esse fator indica a resistência do solo à erosão.

O fator topográfico (LS) indica o impacto do comprimento de rampa (L) em metros e da declividade, em %, na erosão laminar. Os valores encontrados para o fator topográfico LS foram relativamente baixos, entre 0,11 a 0,29 m, pois na área de estudo predomina um relevo suavemente ondulado de tabuleiros com topos planos, conforme mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão elaborado por Silva (2012).

No fator uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas (CP) foram identificadas as seguintes classes e valores: vegetação de manguezal (0), vegetação de formação secundária (0,00040), área urbanizada (0,06880) e solo exposto (1). O solo exposto é a classe mais frágil aos processos erosivos, pois sofre impacto direto do efeito *splash*, com consequente escoamento superficial. A área urbanizada recebeu peso menor que solo exposto em virtude de deter cobertura, mesmo que impermeabilizada, reduzindo o impacto da chuva na superfície. Por outro lado, as áreas com formações vegetais receberam valores menores, pois apresentam ligeira ou nenhuma perda de solos diante do seu papel de proteção.

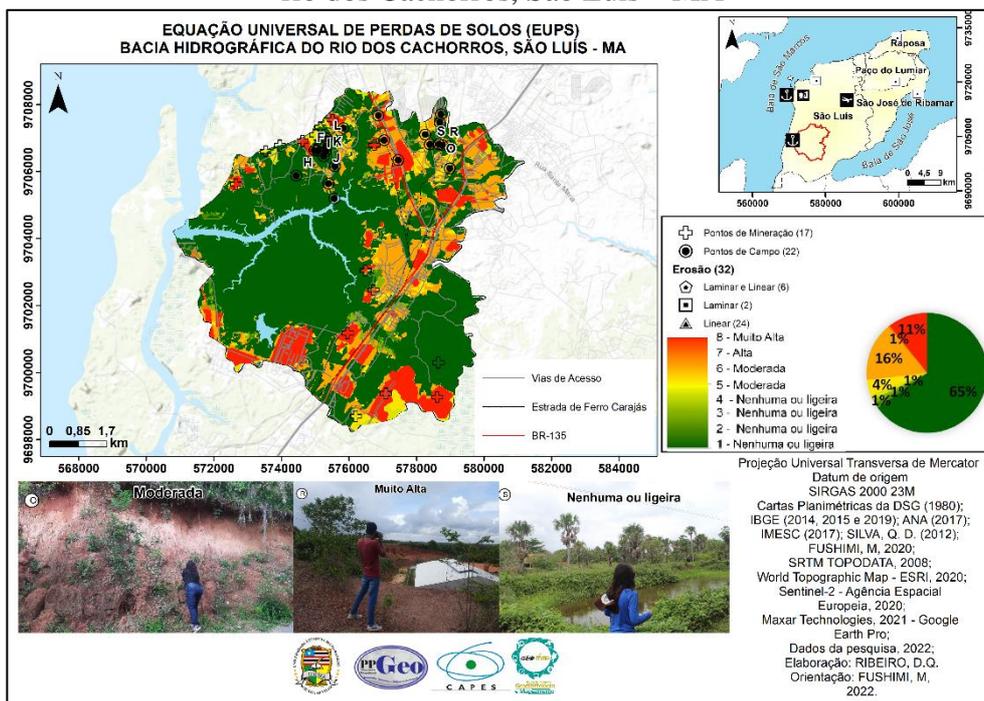
A partir dos dados dos fatores chuva (R), erodibilidade dos solos (K), comprimento de rampa (L), declividade (S) e uso e práticas (CP) da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (Figura 5) foi aplicada a Equação Universal de Perdas de Solos, expressando índices de perda de solo por erosão laminar de 0 a acima 200 t.ha⁻¹ ano⁻¹ e divididas em 8 classes (Figura 6): Nenhuma ou ligeira 1 (0 – 1 t.ha⁻¹ ano⁻¹), (65%); Nenhuma ou ligeira 2 (1 – 3 t.ha⁻¹ ano⁻¹), (1%); Nenhuma ou ligeira 3 (3 – 5 t.ha⁻¹ ano⁻¹), (1%); Nenhuma ou ligeira 4 (5 – 10 t.ha⁻¹ ano⁻¹), (1%); Moderada 5 (10 – 20 t.ha⁻¹ ano⁻¹), (4%); Moderada 6 (20 – 50 t.ha⁻¹ ano⁻¹), (16%); Alta 7 (50 – 200 t.ha⁻¹ ano⁻¹), (1%); e Muito Alta 8 (> 200 t.ha⁻¹ ano⁻¹), (11%).

Figura 5 - Fatores e seus produtos cartográficos usados para a estimativa da Equação Universal de Perdas de Solo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pelos autores (2022).

Figura 6 - Espacialização da Equação Universal de Perdas de Solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís – MA

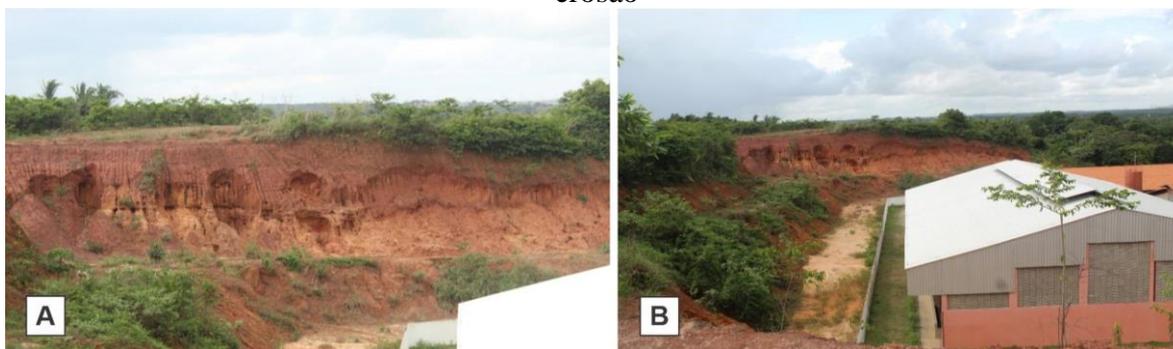


Fonte: Dados da Pesquisa (2022). Elaborado pelos autores (2022).

A classe de nenhuma ou ligeira perda de solos está relacionada às formações vegetais remanescentes e de manguezal em setores de baixa declividade. O nível moderado relaciona-se às áreas urbanizadas, com a impermeabilização do solo que reduz a infiltração e proporciona o aumento do escoamento superficial.

Os setores que apresentaram as maiores perdas de solos por erosão laminar foram as áreas de solo exposto (associada à mineração), com valores superiores a 200 t.ha⁻¹ ano⁻¹, onde também foram verificados processos erosivos lineares. Dentre os impactos da dinâmica erosiva, tem-se o surgimento das áreas de risco das comunidades que vivem na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, como no Assentamento Rio Grande, localizado em setor de fragilidade ambiental muito forte e perdas de solos muito alta (Figura 7).

Figura 7 - (A) Erosão no Assentamento Rio Grande. (B) Escola situada a jusante da erosão



Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

Diante da intensa dinâmica de usos da terra, substituindo as formações vegetais pela cobertura urbana e solos exposto para mineração, a tendência é que surjam novas áreas de

fragilidade ambiental média a muito forte e de perdas de solos moderadas a muito altas e aquelas que já existem se intensifiquem.

CONCLUSÃO

O reconhecimento e a caracterização dos indicadores ambientais e de organização de território, além do zoneamento, possibilitou analisar os diferentes níveis de fragilidade ambiental e de perdas de solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, possibilitando uma compreensão sobre esse complexo ambiente costeiro.

A análise da fragilidade ambiental e de perdas de solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros passaram por diversas etapas de elaboração e adaptações, por conseguinte foram gerados diversos produtos, que podem ser vistos como ferramentas de auxílio à análise e interpretação do ambiente dessa área, que visam, sobretudo, contribuir com o poder público municipal para um planejamento ambiental adequado.

Nesse sentido, o presente estudo pode contribuir com importantes materiais a serem empregados para o planejamento territorial-ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, visto que a articulação da fragilidade e da EUPS se mostrou uma significativa ferramenta de análise do ambiente e dos processos erosivos. Foi notado que aplicando essas duas técnicas houve áreas com características parecidas em ambos os procedimentos, sobretudo com relação a espacialização dos dados.

Recomenda-se a implantação de políticas públicas na área da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros para preservação das áreas de vegetação remanescentes, assim como o mapeamento das áreas de risco (principalmente nas proximidades das comunidades, bem como a recuperação de áreas degradadas (ou minimização de impactos) nos setores onde desenvolvem-se processos erosivos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, Gerson Salviano de; ALMEIDA, Maria Cristina Jacinto de. Erosão hídrica do tipo ravina e boçoroca. *In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ANÁLISE DE RISCO LATINO AMERICANA*, 3., 2016, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: ABGE, 1-8, 2016. Disponível em: < https://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CTGeo/artigos_tecnicos/1197-erosao_hidrica_do_tipo_ravina_e_bocoroca.htm>. Acesso em: 07 jun. 2020.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2017.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do Solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.

CARNEIRO, Ana Flávia Soares. **Fragilidade Ambiental em Bacias Hidrográficas do Vão Do Paranã – GO**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, 2019.

CASTRO, Hugo Fernando R.; PEREIRA, Edilea Dutra. Cartografia geológico-geotécnica da Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros. **Revista Geonorte**, Amazonas, v. 3, n. 4, p. 750-759, novembro 2012. Disponível em: < <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1984>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

GOUDIE, A. **The changing Earth-Rates of Geomorphological Processes**. Oxford: Blackwell Publishers, 1995.

GUERRA, Antonio José Teixeira. BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. Erosão dos Solos. *In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Texeira (orgs.) Geomorfologia do Brasil*. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006., cap. 5, p. 181-226.

GUIMARÃES, Rafael Zoboli; LINGNAU, Christel; RIZZI, Nivaldo Eduardo; SCHEICHI, Richardson Guenther; BIANCHI, Rita de Cassia. Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do rio Campinas, Joinville SC. **Raoga espaço geográfico em análise**, [S.l.], v. 23, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades@**: Maranhão - São Luís. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-luis/panorama>>. Acesso em: 01 jul.2023.

_____. **Resolução nº 1/2005** - Define a data de término do período de transição
JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidente. *In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 7 - 30.

LOPES, Francisco Clébio Rodrigues. Metamorfoses no espaço metropolitano de São Luís (MA). **GeoTextos**, Bahia, vol. 14, n. 1, p. 83-102, julho 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/25306>>. Acesso em: 05 jul. 2021.
MORAIS, Reurysson Chagas de Sousa; SALES, Marta Celina Linhares. Estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, Minas Gerais, v. 27, n. 1, p. 84-105, 2017.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion & conservation**. 3. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

NUNES, J. O. R. Os novos ritmos da natureza. *In: ENCONTRO ESTADUAL DE GEOGRAFIA - Território, Sociedade e Natureza: novas dinâmicas espaciais*, 24, 2004, [s.l]. **Anais** [...], [s.l]. 1-9, 2004. Disponível em: <<https://web.ua.es/es/giecryal/documentos/documentos839/docs/os-novos-ritmos-da-natureza.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2020.

PASQUATTO, Maisa Carla; TOMAZONI, Julio Caetano. Estudo do processo erosivo laminar na bacia de captação do rio Barro Preto, em Coronel Vivida-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 9, p. 555-570, 2016.

RIBEIRO, D. Q.; SILVA, P. Z. F. ; CRUZ, W. L. ; FUSHIMI, M. . Análise dos Processos Minerários e Avaliação da Degradação Resultante das Atividades Extrativistas Minerárias na Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros, São Luís - MA. *In: XIV Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia - XIV ENANPEGE*, 2021. Anais do XIV ENANPEGE. Campina Grande: Realize Editora, 2021. p. 1-20.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: < <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

SANTOS, Jefferson Pereira Caldas; PEREIRA CALDAS, Vanessa Ingrid Saraiva; SILVA, Antonio Soares. Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 12, n. 4, p. 1415-1430, nov. 2019. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/239000>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. 249 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. *Agricultural Handbook*. n. 537, Washington: USDA, 1978.

ZAPAROLI, Fabiana Cristina Meira; CREMON, Édipo Henrique. Análise Comparativa Entre Quatro Metodologias de Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jangada, Noroeste Paulista. *In: Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 3, 2007, Minas Gerais. **Anais [...]** Minas Gerais: 1-18, 2007. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinago/8/10/6.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de fomento concedida para a presente pesquisa.