



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO POR
EROSÃO LAMINAR NO MUNICÍPIO DE ESTRELA DO NORTE - SP**

Discentes:

Nicolas Henrique Coccia

Raphael Mendonça Duarte Figueiredo

Orientadora: Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia

Presidente Prudente-SP

2024

NICOLAS HENRIQUE COCCIA

RAPHAEL MENDONÇA DUARTE FIGUEIREDO

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO
LAMINAR NO MUNICÍPIO DE ESTRELA DO NORTE - SP**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP) Faculdade de
Ciências e Tecnologia/ Presidente
Prudente para obtenção do título de
Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof^a. Dra. Isabel Cristina
Moroz Caccia

Presidente Prudente-SP

2024

C659f

Coccia; Figueiredo, Nicolas Henrique; Raphael Mendonça Duarte.

Fragilidade ambiental e estimativa de perdas de solo por erosão laminar no município de Estrela do Norte - SP / Nicolas Henrique; Raphael Mendonça Duarte. Coccia; Figueiredo. -- Presidente Prudente, 2024

59 p. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientadora: Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia

1. Geografia ambiental. 2. Sistema de informação geográfica. 3. Equação Universal de Perda de Solo. 4. Erosão do solo. I. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

Nicolas Henrique Coccia
Raphael Mendonça Duarte Figueiredo

Trabalho de graduação aprovado como requisitos parciais para obtenção de título de bacharelado em Geografia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Faculdade de Ciências e Tecnologia, *campus* de Presidente Prudente, pela seguinte banca examinadora:

Prof^a Dr. Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia:

Documento assinado digitalmente
 ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA
Data: 19/12/2024 14:03:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Ms. Gleice Santana Pereira:

Documento assinado digitalmente
 GLEICE SANTANA PEREIRA
Data: 19/12/2024 14:42:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ms. Arthur Massagardi:

Documento assinado digitalmente
 ARTHUR MASSAGARDI
Data: 19/12/2024 12:01:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nicolas Henrique Coccia:

Documento assinado digitalmente
 NICOLAS HENRIQUE COCCIA
Data: 18/12/2024 18:40:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Raphael Mendonça Duarte Figueiredo:

Documento assinado digitalmente
 RAPHAEL MENDONCA DUARTE FIGUEIREDO
Data: 18/12/2024 18:45:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

RESUMO

O presente estudo é dividido em duas partes e a primeira tem como objetivo identificar e analisar os níveis de Fragilidade Ambiental (Fragilidade Emergente) no município de Estrela do Norte, na porção oeste do Estado de São Paulo. Para isso, aplicou-se a metodologia de Ross (1990, 1994 e 1995), com a utilização de Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde a Fragilidade Emergente (FE) é resultado da sobreposição ponderada da Fragilidade Potencial (FP), resultante da correlação entre a Fragilidade do Relevo e a Fragilidade dos Solos. A segunda parte do estudo visa apresentar e quantificar e espacializar perdas de solos no município de Estrela do Norte - SP através do modelo preditivo da Equação Universal de Perdas de Solo e da utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). Diante desses estudos sempre relembramos que os processos erosivos fazem parte de uma dinâmica natural de interação entre relevo, clima e o solo.

Porém, a interferência humana através dos usos da terra e mudanças nas coberturas do solo sem a adoção de práticas conservacionistas estão acelerando, e muito, esses processos e causando sérios impactos ambientais, econômicos e até sociais. Como principais resultados vê-se que, para a erosão linear (Fragilidade Ambiental), 85% do município está classificado nos níveis “Alto” a “Muito Alto”, enquanto que, para a erosão laminar (EUPS), 72% do município perde, no mínimo, 20t de solo/ ha/ ano.

PALAVRAS-CHAVE: EUPS, Estrela do Norte - SP, Fragilidade Ambiental, Processos Erosivos, SIGs.

ABSTRACT:

The present study is divided into two parts and the first aims to identify and analyze the levels of Environmental Fragility (Emerging Fragility) in the municipality of Estrela do Norte, in the western portion of the State of São Paulo. For this, the Ross methodology (1990, 1994 and 1995) was applied, using a Geographic Information System (GIS), where Emerging Fragility (FE) is the result of the weighted overlap of Potential Fragility (FP), resulting from the correlation between Relief Fragility and Soil Fragility. The second part of the study aims to present and quantify and spatialize soil losses in the municipality of Estrela do Norte - SP through the predictive model of the Universal Soil Loss Equation and the use of Geographic Information Systems (GIS). In view of these studies, we always remember that erosion processes are part of a natural dynamic of interaction between relief, climate and soil.

However, human interference through land use and changes in soil cover without the adoption of conservation practices are greatly accelerating these processes and causing serious environmental, economic and even social impacts. The main results show that, for linear erosion (Environmental Fragility), 85% of the municipality is classified as "High" to "Very High" level, while, for laminar erosion (EUPS), 72% of the municipality loses at least 20t of soil/ha/year.

KEY WORDS: EUPS, Estrela do Norte - SP, Environmental Fragility, Erosive Processes, SIGs.

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1: Evolução de processos erosivos...	11
Figura 2: Mapa de localização do município de Estrela do Norte - SP...	15
Figura 3: Principais Geoformas...	19
Figura 4: Mapa de Níveis de Declividade...	24
Figura 5: Mapa de Fragilidade das Geoformas...	25
Figura 6: Mapa dos Níveis de Fragilidade do Relevo...	27
Figura 7: Mapa de Fragilidade dos Solos...	29
Figura 8: Mapa de Fragilidade Potencial...	30
Figura 9: Mapa de Fragilidade dos Usos e Cobertura da Terra...	32
Figura 10: Mapa de Fragilidade Emergente...	33
Figura 11: Mapa das Isoerodentes (Fator R)...	36
Figura 12: Mapa Fator K...	37
Figura 13: Mapa Fatores L e S...	38
Figura 14: Mapa Fator C...	39
Figura 15: Mapa Fator P...	40

Figura 16: Mapa de Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Laminar...
41

Figura 17: Mapa de Sedimentos Exportados Estrela do Norte - SP... 43

Figura 18: Mapa de Sedimentos Retidos... 44

Figura 19: Níveis de Sedimentos Exportados por Sub-Bacia em Estrela do Norte - SP...
45

Figura 20: Mapa de erosão pluvial... 48

LISTA DE GRÁFICOS:

Gráfico 1: Usos e cobertura da terra no município de Estrela do Norte...	16
Gráfico 2: Níveis de Fragilidade das Declividades...	25
Gráfico 3: Níveis de Fragilidade das Geoformas...	26
Gráfico 4: Níveis de Fragilidade do Relevo...	27
Gráfico 5: Distribuição dos níveis de Fragilidade dos Solos...	29
Gráfico 6: Distribuição dos níveis de Fragilidade Potencial...	31
Gráfico 7: Gráfico de Distribuição dos Níveis de Fragilidade dos Usos e Cobertura da Terra...	32
Gráfico 8: Gráfico de Distribuição dos níveis de Fragilidade Ambiental...	34
Gráfico 9: Gráfico Comparativo dos Níveis de Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente...	35
Gráfico 10: Distribuição dos Níveis de Perdas de Solo por Erosão Laminar em Estrela do Norte - SP...	41
Gráfico 11: Distribuição dos Níveis de Sedimentos Exportados em Estrela do Norte - SP...	43
Gráfico 12: Distribuição dos Níveis de Sedimentos Retidos em Estrela do Norte - SP	45
Gráfico 13: Distribuição dos Níveis de Sedimentos Exportados por Sub-Bacia em	

Estrela do Norte - SP... 46

Gráfico 14: Distribuição dos Níveis de Erosão Pluvial em Estrela do Norte - SP... 49

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1: Classificação da Erosividade...	36
Tabela 2: Classe de valores para Erodibilidade dos Solos...	37

LISTA DE QUADROS:

Quadro 1: Classes de Declividades e níveis de Fragilidade...	18
Quadro 2: Geoformas e níveis de Fragilidades...	19
Quadro 3: Solos de Estrela do Norte - SP de acordo com seus níveis de Fragilidade.	20
Quadro 4: Valores de Erodibilidade para cada tipo de Solo...	22
Quadro 5: Dados numéricos para as variáveis C e P...	23
Quadro 6: Grau de Erosão por quantidade de perda de solo...	4

SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO:	13
2. OBJETIVOS:	15
2.1. Objetivos Gerais:	15
2.2. Objetivos Específicos:	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:	15
3.1. Fragilidade Ambiental:	15
3.2. Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS):	17
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO:	18
5. METODOLOGIA:	20
5.1. Metodologia Fragilidade Ambiental:	20
5.2. Metodologia Estimativa de Perdas de Solo:	24
6. RESULTADOS	27
6.1. Fragilidade Ambiental:	27
6.2. Estimativa de Perdas de Solo (EUPS).	38
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS:	51
8. REFERÊNCIAS:	53

1. INTRODUÇÃO:

O interior de São Paulo possui historicamente grandes ciclos de produção baseados na monocultura, tais como o café, algodão, pastagem e mais recentemente a cana (FAUSTO, 2018). As erosões causadas por essas culturas causam impactos ambientais nas pequenas, médias e grandes propriedades de uma forma que nos motivou uma curiosidade e buscamos aprofundar nosso conhecimento ao redor do tema para entender e visualizar esses acontecimentos em Estrela do Norte - SP.

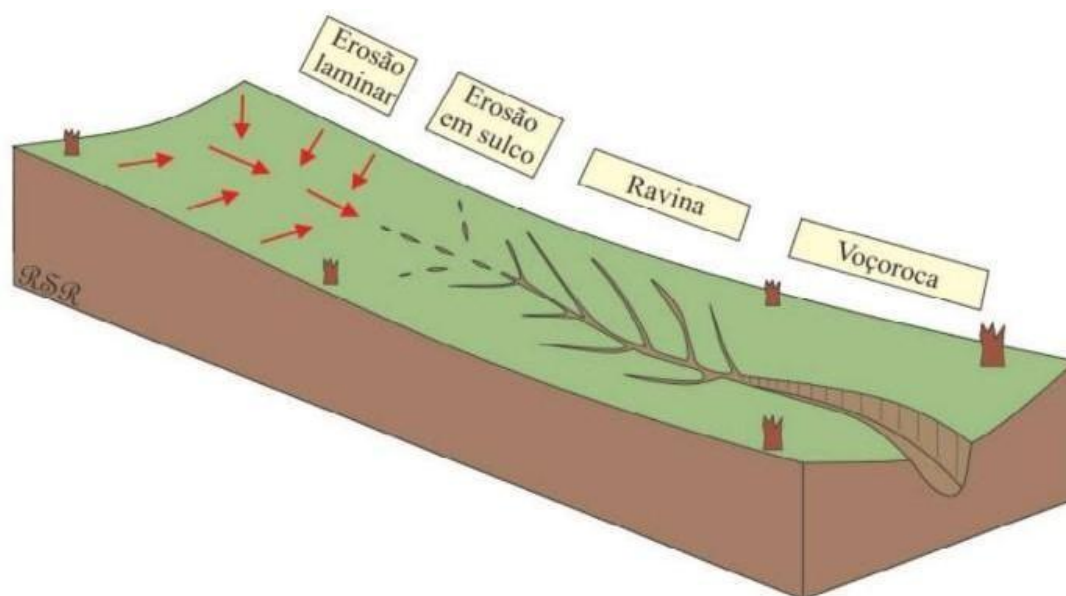
Tominaga et al (2009) estudos de Castro (1991); apud Weill & Pires Neto, (2007), estimaram as perdas de solo por erosão no Estado de São Paulo em aproximadamente 200 milhões de toneladas anuais. O IPT (2012) identificou, entre rurais e urbanas, 39.864 erosões no estado de São Paulo.

Dado este contexto, vamos fazer um recorte visando dar mais enfoque e atenção para as erosões rurais, porém, não vamos desconsiderar ou ignorar as erosões urbanas, visto que as erosões urbanas também estão sob influência de ação antrópica, portanto, também merecem atenção.

As erosões lineares e laminares são consideradas erosões pluviais, portanto ocorrem através do contato da chuva com o solo. Ambas implicam em danos ambientais e a diferença entre ambas são as “marcas” que causam no solo. As erosões lineares são mais visíveis e geralmente ocorrem em terrenos mais declivosos, fazendo com que as águas pluviais formem caminhos preferenciais de escoamento superficial. Esses fluxos concentrados de água formam sulcos, ravinas e voçorocas, que são verdadeiros “buracos” no solo, evidenciando o local em que as águas se concentram em dias de precipitação. Já as erosões laminares são mais discretas por não deixarem marcas no terreno. São erosões que ocorrem literalmente graças à lâminas finas de água, retirando camadas superficiais dos solos, de maneira uniforme e gradual e geralmente em locais menos declivosos, conferindo um caráter menos dramático e urgente quando comparada às erosões lineares, mas que ainda sim causam perdas significativas de solos e de seus nutrientes.

Para Estrela do Norte - SP, o IPT (2012) mapeou 262 erosões, sendo 8 delas urbanas e 254 rurais. A figura 1 explica a evolução dos processos erosivos.

Figura 1: Evolução de processos erosivos



Fonte: Ribeiro, 2021

Apesar de serem processos naturais, os usos que são atribuídos a esses solos têm aumentado, e muito, as quantidades de solo “perdidos” ou erodidos. Solos em preparação para cultivo ou já cultivados, áreas urbanas impermeabilizadas, monoculturas e áreas vegetadas, por exemplo, possuem valores numéricos de proteção aos solos diferentes entre si, obtidos através dos estudos de Bertoni e Lombardi Neto (1983).

Quando falamos em degradação ambiental causada pelos processos erosivos pluviais, ela ocorre em duas frentes: a primeira quando trata-se das toneladas de solos perdidos e a segunda quando pensamos a respeito da deposição desses sedimentos, que atingem, inevitavelmente, os cursos d’água, assoreando-os, alterando suas propriedades químicas e físicas e consequentemente alterando a dinâmica fluvial e a qualidade das águas.

A partir desse contexto, buscou-se estimar através das metodologias de Fragilidade Ambiental e Equação Universal de Perdas de Solo, o impacto das erosões lineares e laminares em Estrela do Norte - SP, que de acordo com o IPT (2012), apresenta 254 erosões rurais e 8 erosões urbanas em 268,2 km² de área, equivalente a quase um foco erosivo por km².

Os números já demonstram os efeitos da degradação ambiental presente no município e a falta de medidas protecionistas ao solo, pois como comentado

anteriormente, as erosões são processos naturais, porém o uso antrópico do solo tem acelerado esses processos e causado danos ambientais, que futuramente, podem se tornar um dano social, pois sem a terra para produzir, todo o município e a sua população perdem, aos poucos, sua fonte de renda e dificultam a manutenção do seu modo de vida.

2. OBJETIVOS:

2.1 Objetivos Gerais:

- Identificar, quantificar e espacializar os níveis de Fragilidade Ambiental e Perdas de Solo por Erosão Laminar em Estrela do Norte - SP, utilizando as SIGs;

2.2 Objetivos Específicos:

- Identificar e analisar a Geomorfologia, Pedologia e tipos de Uso da Terra da área de estudo
- Espacializar dados quantitativos e qualitativos acerca da erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, aspectos do relevo e de uso e cobertura da terra através de mapas intermediários;
- Estimar quantitativamente e espacializar as perdas de solo, bem como identificar as áreas com maior tendência à retenção ou exportação de sedimentos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:

3.1 Fragilidade Ambiental:

As principais referências utilizadas para a realização desse estudo foram a Teoria das Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977) e as obras de Jurandyr Ross (1990, 1994 e 1995) que aperfeiçoaram a teoria de Tricart.

Partindo dos pressupostos da teoria das Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977), admite-se todas as relações e dependências entre os agentes componentes da paisagem, portanto o equilíbrio de um ecossistema está atrelado à relação balanceada entre seus diversos agentes que influenciam-se mutuamente de forma contínua. Sendo assim, para

Tricart (1977), as Unidades Ecodinâmicas Estáveis seriam aquelas que não têm influência da atividade antrópica, portanto encontram-se em equilíbrio com as dinâmicas naturais, enquanto as Unidades Fortemente Instáveis apresentavam alto grau de degradação, vindos especialmente de influência antrópica. Tricart (op cit.) admitia ainda a possibilidade de Unidades Ecodinâmicas Intergrades, que corresponderiam a situações de instabilidade temporária, podendo retornar à estabilidade ou evoluir para Unidade Fortemente Instável.

Já para Ross (1994), as “Unidades Fortemente Estáveis” estariam em instabilidade potencial ou Fragilidade Potencial, pois a própria Natureza apresenta em seus aspectos físicos elementos que contribuem para a erosão, e conseqüentemente, a perda de solo. Ross (1994) propõem ainda cinco níveis hierárquicos de Fragilidade Potencial (Muito baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta).

As Unidades Ecodinâmicas Fortemente Instáveis de Tricart (1977), foram reclassificadas por Ross (1990) como unidades de Instabilidade Emergente ou Fragilidade Emergente. Essas correspondem às áreas que sofreram alteração no seu equilíbrio natural por conta da ação antrópica e, portanto, tem seus níveis de susceptibilidade aumentados, devendo também ser classificadas em cinco níveis hierárquicos. Para Ross (op cit) essa situação é considerada como Instabilidade Emergente.

3.2 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS):

Os processos erosivos estão relacionados com interações naturais e humanas que desgastam a superfície terrestre em diferentes escalas temporais, podendo provocar degradações de um dia para o outro ou em milhares de anos. Para fins de distinção metodológica, a Fragilidade Ambiental trabalha com as erosões lineares, enquanto a EUPS trabalha com a erosão laminar, sendo a junção de ambas uma ótima ferramenta para estudos com foco em análises de degradação ambiental.

Em episódios de precipitação, as gotas atingem o solo e causam um impacto inicial na superfície, esse impacto desagrega partículas do solo e faz com que essas partículas sejam carregadas através do escoamento dessas águas. Esse escoamento superficial difuso, que erode as camadas superficiais do solo, é a chamada erosão laminar e, a partir do momento em que o escoamento torna-se concentrado, passa a atuar a erosão linear, que erode com maior intensidade nos locais por onde esse escoamento superficial concentrado ocorre, provocando as alterações visíveis no solo, tais como sulcos, ravinas e voçorocas. A figura 1 que utilizamos na introdução explica bem esse processo citado no parágrafo.

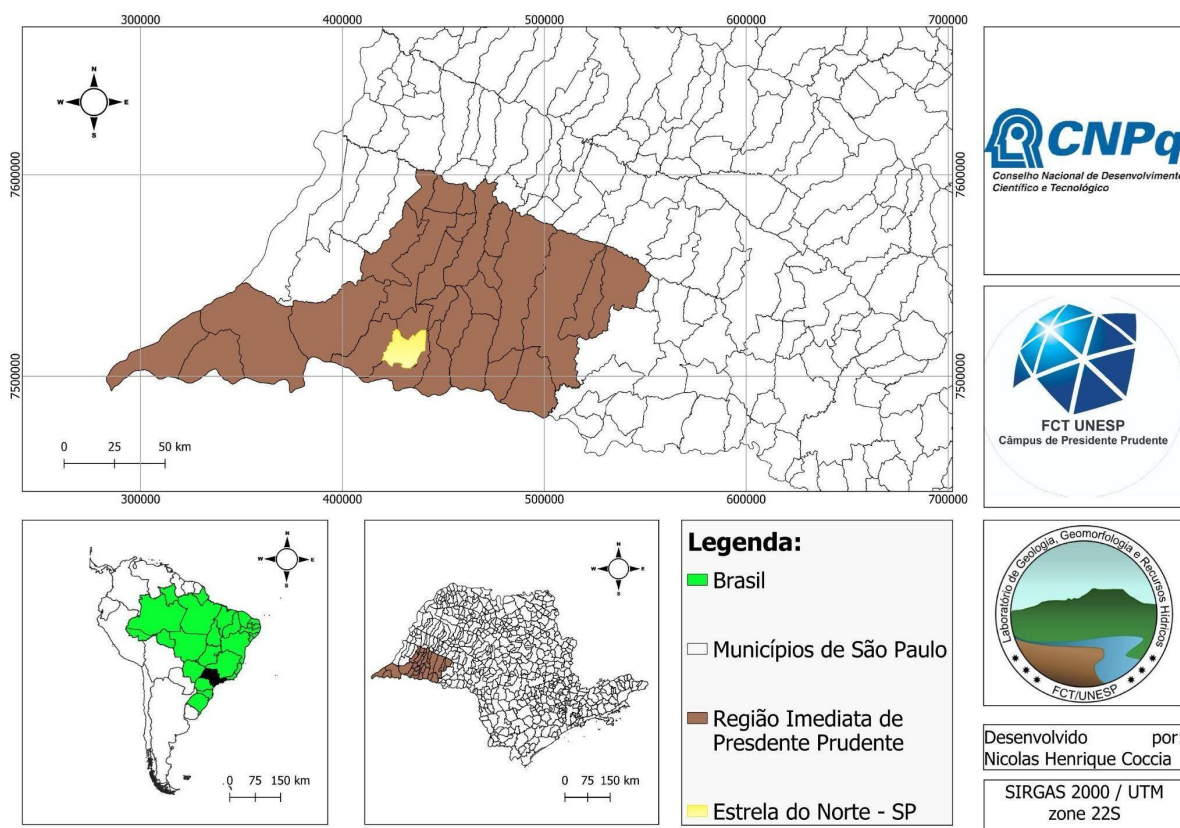
A fim de estimar as perdas de solo por erosão laminar foi criado o modelo matemático preditivo da USLE (*Universal Soil Loss Equation*) por Wischmeier e Smith em 1978, em português, EUPS (Equação Universal de Perdas de Solo). Os primeiros estudos utilizando esse modelo aqui no Brasil foram de Bertoni et al (1975).

A equação se dá pela fórmula $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$, onde A representa a perda de solos em t/ha/Ano; R representa o índice de erodibilidade da chuva através da energia de seus contatos com o terreno; K representa o índice de erodibilidade natural dos tipos de solo, ou seja, é atribuído um valor numérico para determinar a sua suscetibilidade à erosão; os fatores L e S representam, respectivamente, o índice de comprimento e o grau de declividade das vertentes e os fatores C e P dizem respeito aos tipos de uso do solo e se o mesmo é trabalhado ou não a partir de práticas conservacionistas (Carvalho,1994). Neste trabalho, para todas essas variáveis foram atribuídos valores numéricos obtidos na literatura, sobretudo a partir de Bertoni e Lombardi Neto (2012).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO:

A fim de caracterizar a área de estudo foi elaborado um mapa de localização para o município, conforme a figura 2 abaixo :

Figura 2: Mapa de localização do município de Estrela do Norte - SP



Fonte: Os autores, 2024

A área de estudo situa-se na macrorregião Sudeste do Brasil, mais especificamente na porção Oeste do Estado de São Paulo. O município de Estrela do Norte compreende uma área de 268,2 Km² e de acordo com o Censo de 2022 do IBGE, conta com 2.073 habitantes.

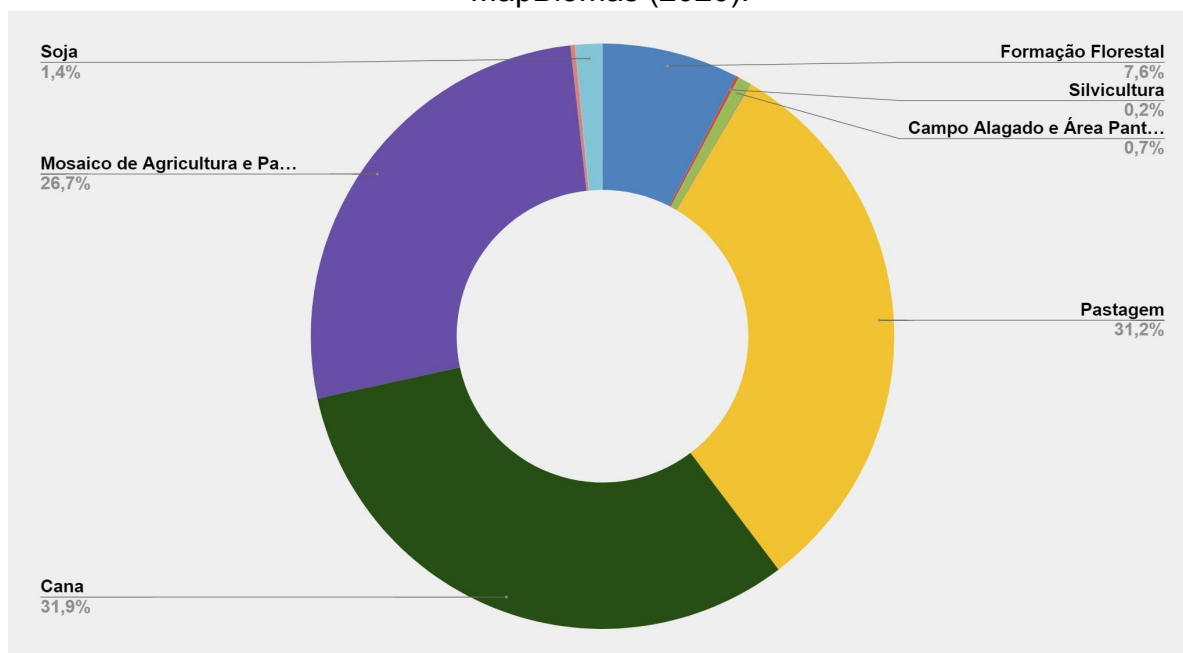
O município se localiza na Bacia Sedimentar do Paraná e, geologicamente, predominam na área as rochas sedimentares da Formação Adamantina (Grupo Bauru) (IPT, 1981). Como complemento à caracterização geológica, o CBH-PP (2024) diz:

O Pontal do Paranapanema encontra-se no Planalto Ocidental Paulista da Bacia Sedimentar do Paraná. Constitui-se essencialmente por formações geológicas areníticas do Grupo Bauru (62,2% da Fm. Adamantina, 28,7% da Fm. Caiuá e 2,7% da Fm. Santo Anastácio). Apresentam-se em menores proporções basaltos do Grupo São Bento (4,3% da Fm. Serra Geral e terrenos cenozoicos (2,1%)). Classificam-se cinco unidades de mapeamento: Kal, Kall, Kalll, KalV,

KaV.

De acordo com o projeto MapBiomas (2020), no município de Estrela do Norte predominam usos rurais, conforme se observa no Gráfico 1.

Gráfico 1: Usos e cobertura da terra no município de Estrela do Norte, segundo MapBiomas (2020).



Fonte: Os autores, 2023

Observa-se a predominância de Pastagens, Cultivo de Cana de Açúcar e Mosaico de Agricultura e Pastagem. As áreas com cobertura vegetal florestal ocupam apenas 7,6% da área.

Quanto ao relevo, o município está inserido na morfoescultura denominada Planalto Ocidental Paulista, onde o mesmo apresenta modelados de dissecação com topos tabulares e com topos convexos que constituem Formas de Relevos identificadas como colinas amplas e baixas, e colinas baixas a médias com topos mais estreitos e alongados, respectivamente. (ROSS & MOROZ, 1997).

Quanto ao clima, de acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema (CBH-PP)

O clima da região é predominantemente continental. Segundo a classificação de Köppen, há dois tipos de clima: Aw-Tropical Úmido, abrangendo uma estreita faixa ao rio Paraná, caracterizada por estação chuvosa no verão e seca no inverno, com temperatura média anual entre 22 e 24°C e precipitação pluviométrica anual em torno de 1500 mm e Cwa-Mesotérmico de Inverno Seco, abrangendo o restante da região, caracterizado por temperaturas médias anuais ligeiramente inferiores a 22°C, com chuvas típicas de clima tropical, de maior ocorrência no verão.

(<http://geobrasilis.com.br/pirh/ugrh/comites/sp/cbhpp/caracterizacao/>)

Quanto aos tipos de solos, o município é composto por Gleissolos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos e Latossolo Vermelhos-Amarelos, segundo o mapa pedológico do estado de São Paulo, de Rossi (2017).

Ambos os tipos de Latossolos são característicos de climas quentes e úmidos, são solos bem desenvolvidos com horizonte B extenso, de boa drenagem, em sua grande maioria de baixa fertilidade natural e ocorrem em relevo plano a suave ondulado (Tullio, 2019).

Os Argissolos também são formados em climas quentes e úmidos, bastante heterogêneos com relação à profundidade, mas normalmente com o Horizonte B também profundo, porém com maiores concentrações de argila, o que compromete a boa drenagem desse tipo de solo, normalmente encontrados em declividades mais elevadas quando comparado com os Latossolos (Lepsch, 2011).

Os Gleissolos estão associados a áreas inundadas, ou seja, associados à presença de corpos d'água, apresentam um horizonte A/H bem acinzentado, essa coloração indica a ausência de oxigenação do solo (Lepsch, 2011).

5 METODOLOGIA:

5.1 Metodologia Fragilidade Ambiental:

Como já foi citado anteriormente, a identificação dos níveis de Fragilidade apoiou-se na cartografia ambiental, através da produção de mapas temáticos e de mapa síntese de Fragilidade Ambiental.

Para a produção de todos os mapas presentes nessa pesquisa foi utilizado o software “*QGIS Desktop 3.16.8 with Grass 7.8.5*”. Em todos os mapas foram utilizados dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Após a obtenção de base cartográfica dos limites municipais (IBGE) procedeu-se ao recorte de mapas temáticos secundários tais como rede de drenagem (Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo - CPLA/SMA), Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017) e Mapa de Uso e Cobertura da Terra (MapBiomass, 2020) para o município de interesse.

De acordo com Ross (1994) para a determinação da Fragilidade Potencial

deve-se considerar atributos geomorfológicos e pedológicos, enquanto para a determinação da Fragilidade Emergente deve-se incluir atributos referentes ao uso e cobertura da terra.

Em relação aos atributos geomorfológicos, para estudos de maior detalhe (em escalas de 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 por exemplo), Ross (1994) sugere como base de informações para essa temática, as formas de vertentes (morfologia) e as classes de declividades (morfometria).

Para o mapa de **DECLIVIDADES**, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido a partir dos dados SRTM. No QGIS foi utilizada a função “Raster” > “Analisar” > “Declive”. Após configuradas todas as opções, a função foi executada e o mapa foi reclassificado de acordo com as classes propostas por Ross (1994), conforme o quadro 1.

Quadro 1 – Classes de declividades e níveis de Fragilidade

Classes de Declividade	Níveis de Fragilidade
< 6%	1- Muito Baixo
6% - 12%	2- Baixo
12% - 20%	3- Médio
20% - 30%	4- Alto
> 30%	5- Muito Alto

Fonte: Ross (1994)

Após a reclassificação, a simbologia do mapa foi alterada a fim de tornar visível através de cores os níveis de fragilidade no mapa.

Para o mapa das **GEOFORMAS**, também foi utilizado o MDE e utilizamos a ferramenta complementar “*R.Geomorphon*” do QGIS.

De acordo com Moroz-Caccia Gouveia e Ross (2019)

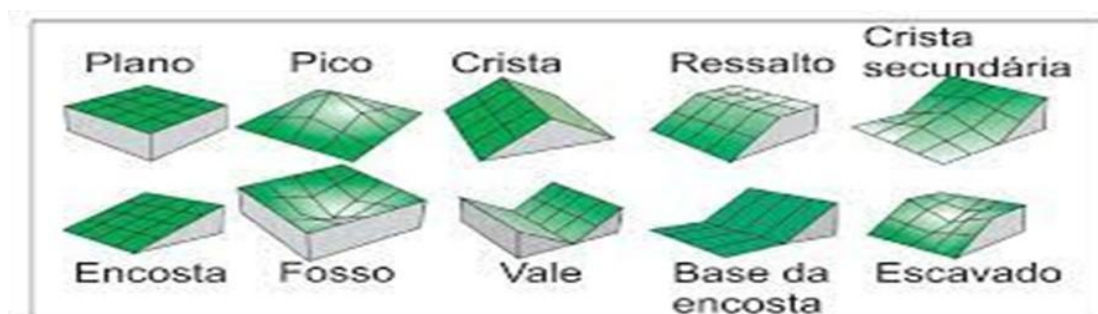
A proposta dos geomorphons(JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013), analisa a similaridade textural do MDE, que apresentará variação de níveis de cinza entre células vizinhas, considerando que se a célula central for maior, assume o valor positivo “+”, se é menor, valor negativo “ - ” e se for igual seu valor é zero “0”. Isso é transferido para valores de elevação do terreno de maior, menor ou igual. (MOROZ-CACCIA GOUVEIA e ROSS 2019, p. 128)

Ainda segundo os autores,

Silveira et al.(2018), destacam que diversos autores apontam as vantagens do uso da classificação digital para a identificação do relevo, pois diminui a subjetividade da classificação manual, favorece a análise dos resultados derivados de diferentes conjuntos de dados e reduz o tempo de delimitação das unidades. Ainda segundo os autores, “na abordagem da geomorfologia os geomorphons são compreendidos como microestruturas fundamentais do relevo” (MOROZ-CACCIA GOUVEIA e ROSS, 2019, p. 129)

Para explicar melhor a identificação e classificação das Geoformas, segue a Figura 3.

Figura 3: Principais Geoformas



Fonte: Robaina, Trentin e Laurent (2016).

Posteriormente, a ferramenta “Reclassificar por tabela” foi utilizada a fim de atribuímos níveis de fragilidade para cada tipo de geoforma de acordo Moroz-Caccia Gouveia e Ross (2019), conforme observa-se no Quadro 2.

Quadro 2 - Geoformas e Níveis de Fragilidades

Geoformas:	Níveis de Fragilidade:
Plano	1- Muito Baixo
Picos e Cristas	2 - Baixo
Ressalto e Cristas Secundárias	3 - Médio
Encostas	4 - Alto
Fossos, Base das Encostas e Escavados	5 - Muito Alto
Vales	10 - Muito Alto (Inundações)

Fonte: Moroz-Caccia Gouveia e Ross (2019)

Depois de executada essa função, uma nova camada raster foi gerada com esses

valores classificados, restando como último passo a alteração em sua simbologia, com a finalidade de visualizarmos as “cores” das geoformas no mapa.

Para o mapa de **FRAGILIDADE DO RELEVO** foi necessária a sobreposição dos dois mapas anteriores e a instalação de uma outra ferramenta complementar do QGIS, a “*Weighted Multi-Criteria Analysis*” WMCA. Após instalada, fomos em “Raster” > “Análise Multicritério Ponderada - AMP” e a partir daí atribuímos “peso” de 0,5 a cada um dos dois mapas gerados anteriormente.

Para o mapa de **FRAGILIDADE DOS SOLOS**, utilizamos o arquivo vetorial do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017) disponibilizado pelo Instituto Florestal do estado de São Paulo. Após isso recortarmos a área de interesse, criamos uma coluna referente aos níveis de Fragilidade de cada tipo de solo na “Tabela de Atributos”. A atribuição dos níveis de Fragilidade baseou-se em Ross (1994), conforme o quadro 3. Após essa classificação, convertemos o shape em camada raster.

Quadro 3: Solos de Estrela do Norte - SP de acordo com seus níveis de Fragilidade:

Nível de Fragilidade	Solos
MUITO BAIXO	LV20 - LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO
BAIXO	NÃO ENCONTRADO
MÉDIO	LV21 - LATOSSOLO VERMELHO ou VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO
ALTO	PVA4 - ASSOCIAÇÃO DE ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO + ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO E EUTRÓFICO PVA6 - ASSOCIAÇÃO DE ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO + ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO E EUTRÓFICO
MUITO ALTO	GX5 - COMPLEXO DE GLEISSOLO HÁPLICO E NEOSSOLO FLÚVICO, AMBOS DISTRÓFICOS GX11 - GLEISSOLO HÁPLICO OU MELÂNICO EUTRÓFICO OU DISTRÓFICO

Fonte: Ross (1994), Elaboração: Os autores, 2024

Para o mapa de **FRAGILIDADE POTENCIAL**, foram utilizados os mapas de Fragilidade do Relevo e dos Solos. Utilizamos novamente o complemento de “Análise Multicritéria Ponderada”, onde novamente foram atribuídos “pesos” de 0,5 a cada um dos mapas.

Para o mapa de **FRAGILIDADE DOS USOS E COBERTURA DA TERRA**, foram feitos os procedimentos padrão para o recorte do município em questão no arquivo raster disponibilizado pelo MapBiomass e, posteriormente uma nova ferramenta complementar foi instalada, a “*Raster Attribute Table*”, com essa função, foi criada uma tabela de atributos onde classificamos os tipos de uso e cobertura de acordo com a tabela de legendas e paletas de cores utilizadas na coleção 6 do MapBiomass, disponível neste link:

mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/Coleccion%206/Cod_Class_legenda_Col6_MapBiomass_BR.pdf.

Também foi criada uma coluna referente aos níveis de Fragilidade de cada tipo de uso e cobertura da terra, com base nas proposições de Ross (1994) e Moroz-Caccia Gouveia (2022). Após extensas classificações e reclassificações, alteramos a sua simbologia e obteve-se o mapa em questão.

Por fim, para o mapa de **FRAGILIDADE EMERGENTE**, foram utilizados os mapas de Fragilidade Potencial e o mapa Fragilidade dos Usos e Cobertura da Terra, que foram submetidos ao complemento “Análise Multicritéria Ponderada”, onde foram atribuídos novamente “pesos” de 0,5 a cada um deles. Depois de definidos e aplicados os critérios, o raster foi reclassificado por tabela e por fim, sua simbologia foi alterada.

5.2 Metodologia Estimativa de Perdas de Solo:

Como citado anteriormente também, para a elaboração do Mapa de Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Laminar em Estrela do Norte - SP, que é um mapa síntese das variáveis R, K, L, S, C e P, foi necessário produzir outros mapas intermediários no software “QGIS 3.18.3 with GRASS 7.8.5” e posteriormente inseri-los no programa “inVEST 3.14.2” através da sua função SDR (*Sediment Delivery Ratio*¹), que faz a junção de todas essas variáveis e seus respectivos valores atribuídos.¹

Para elaboração do Mapa das Isoerodentes (fator R), após a seleção das

¹ TALLIS, H. T. et al. inVEST® - The Natural Capital Project, Stanford-CA, 2011. Disponível em: <<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest/invest-downloads-> 29/10/2024

estações pluviométricas e suas respectivas localizações, os valores de erosividade foram obtidos no software “NetErosividade SP” (GPRH - IAC, 2005). No caso de Estrela do Norte - SP, foi escolhido um posto pluviométrico situado no bairro “Guarujá” dentro do município, cujo valor de erosividade da chuva foi de 6131 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, além de outros postos no entorno. Após transformar as informações em uma camada vetorial de pontos no QGis, foi utilizada a ferramenta “Interpolar” e a função “interpolação IDW”, resultando no mapa do fator R. Como último passo, foi necessário recortar a camada para a área de interesse.

Para o Mapa de Erodibilidade dos Solos (fator K) foi utilizado o Mapa Pedológico do Estado de SP (Rossi, 2017). Após adicionar a camada vetorial dos solos e recortar para o município de interesse, foi adicionada uma coluna na tabela de atributos que contém os valores já consagrados na literatura para cada tipo de solo conforme o quadro 4:

Quadro 4: Valores de erodibilidade para cada tipo de solo

Classes	Valores de K (t.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)		
	média	D.P. *	n **
Argissolos	0,0425	0,01990	41
Cambissolos	0,0508	0,0182	7
Chernossolos	0,0309	0,0104	4
Espodossolos	0,0592	0,0248	4
Gleissolos	0,0361	0,0279	6
Latossolos	0,0162	0,0043	32
Neossolos	0,0351	0,0127	26
Nitossolos	0,0237	0,0091	7
Organossolos	0,0610	0,0124	3
Planossolos	0,0097	0,0134	4
Rios			
Urbanização			
Total			134

* D.P.= Desvio Padrão ** n = n° de valores

Fonte: Carvalho et al. (1989)

Após isso, a camada foi rasterizada e sua simbologia alterada, resultando no mapa do fator K.

Para os fatores L e S, que dizem respeito ao comprimento e grau de declividade das vertentes, os valores foram obtidos automaticamente a partir do MDE (Modelo Digital de Elevação) do terreno, obtido através do tratamento das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) feito pelo projeto TOPODATA. Em posse dessas imagens, foi feito o recorte para o município e posteriormente sua simbologia foi reclassificada

Para as variáveis C e P que são referentes ao fator de uso e cobertura do solo e presença ou não de práticas conservacionistas no solo, a camada raster de uso e ocupação do terra foi obtida do Projeto MapBiomas (2020) e, através de ferramentas do SIG, foi criada uma tabela de atributos para essa camada e nela foram adicionados os campos “LUCODE”, “USLE_C” e “USLE_P”, referentes ao código da classe de uso, valores de de proteção aos solos para a variável C e adoção de práticas conservacionistas (P), respectivamente. Os valores atribuídos estão de acordo com o quadro 5:

Quadro 5: Dados numéricos para as variáveis C e P

Classe	fator C	referência
florestal	0,001	Bertoni e Lombardi Neto 1983
silvicultura	0,005	Wischmeier e Smith 1978
pastagem	0,01	Bertoni e Lombardi Neto 1983
cultura permanente citrus	0,02	Bertoni e Lombardi Neto 1983
cultura permanente café	0,02	Bertoni e Lombardi Neto 1983
área urbana	0,03	Sivertun 2003
cultura temporária cana	0,3	Ribeiro e Alves (2007)
cultura temporária	0,1	Sivertun 2003
cultura temporária milho e soja	0,1	Bertoni e Lombardi Neto 1983
campo	0,01	Bertoni e Lombardi Neto 1983
cultura temporária pivos	0,46	Bertoni e Lombardi Neto 1983

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 1983

Foi necessária também a elaboração de uma tabela em formato CSV com esses mesmos valores, conforme requerido pelo software.

Posteriormente, sucedeu-se ao recorte para Estrela do Norte - SP e sua simbologia modificada.

Por fim, todos esses produtos foram inseridos no “inVEST 3.14” e, através do seu módulo SDR, o programa gerou outros produtos cartográficos, tais como o Mapa de Sedimentos Exportados, Mapa de Sedimentos Retidos, Mapa de Perda de Sedimentos

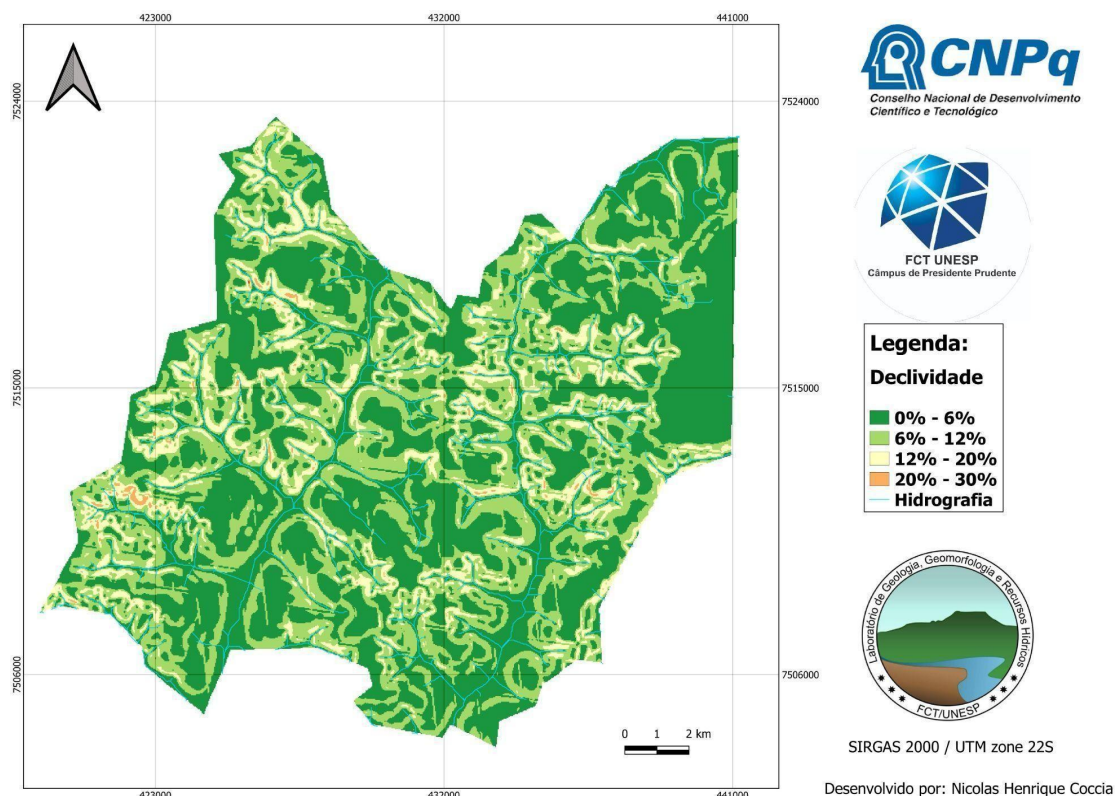
por Sub Bacia Hidrográfica e o produto síntese do estudo, o Mapa de Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Laminar.

6. RESULTADOS:

6.1 Fragilidade Ambiental:

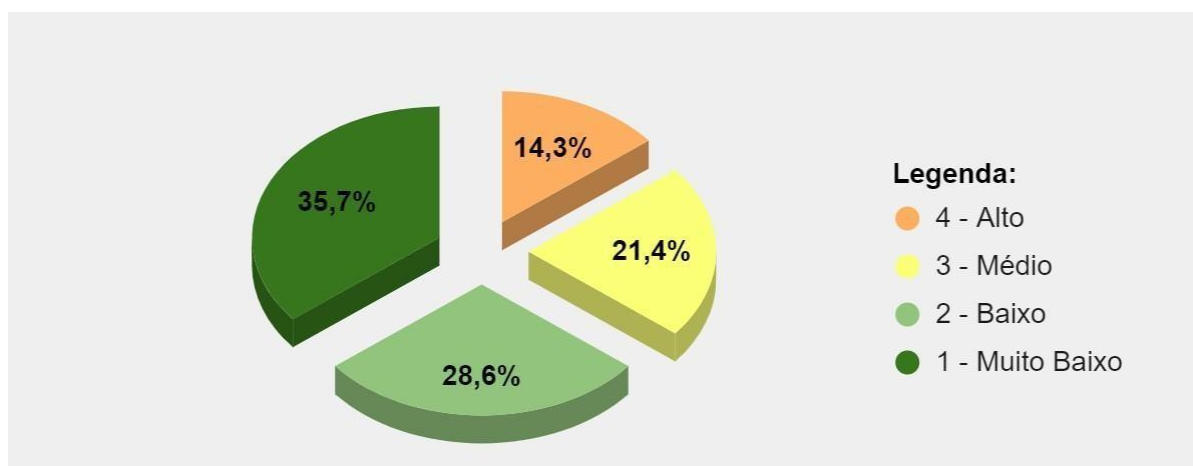
A Figura 4 apresenta o mapa de Declividade de Estrela do Norte e o Gráfico 2 apresenta o gráfico que mostra os níveis de Fragilidade das Declividades do município. Observa-se que prevalecem as Declividades entre 0 – 6% (Nível de Fragilidade Muito Baixo) e 6 – 12% (Nível de Fragilidade Baixo). O nível “Muito Forte” (>30%) não aparece.

Figura 4 - Mapa de Níveis de Declividade



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

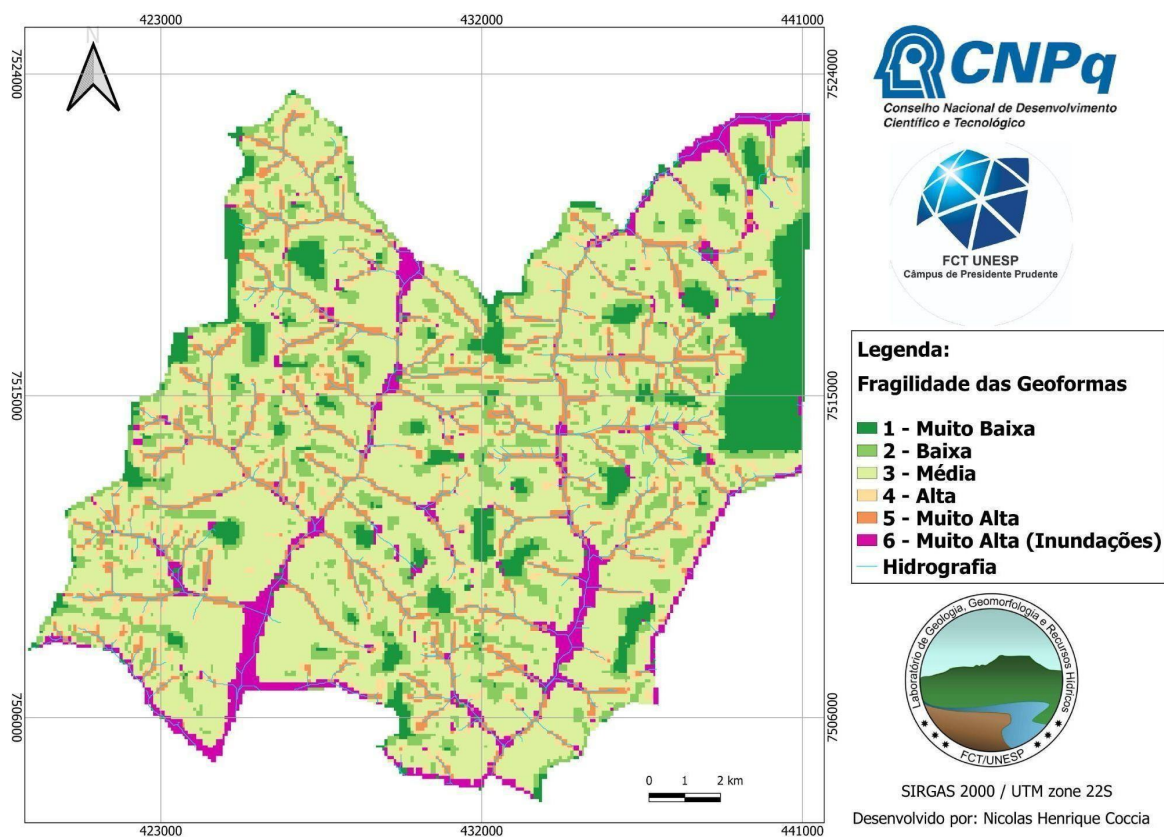
Gráfico 2: Níveis de Fragilidade das Declividades



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

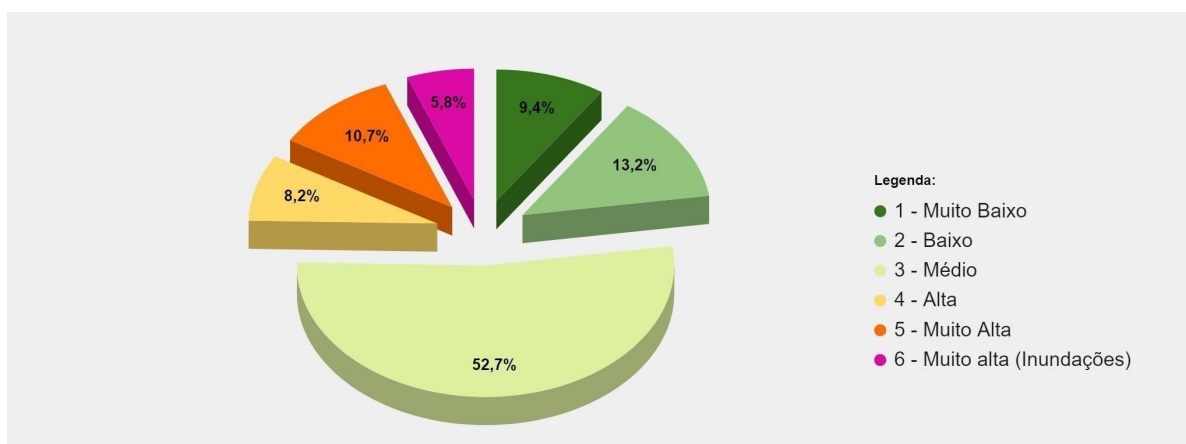
A Figura 5 apresenta o Mapa de Fragilidade das Geoformas e o Gráfico 3 apresenta os níveis de Fragilidade das Geoformas.

Figura 5 – Mapa de Fragilidade das Geoformas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Gráfico 3 - Níveis de Fragilidade das Geoformas

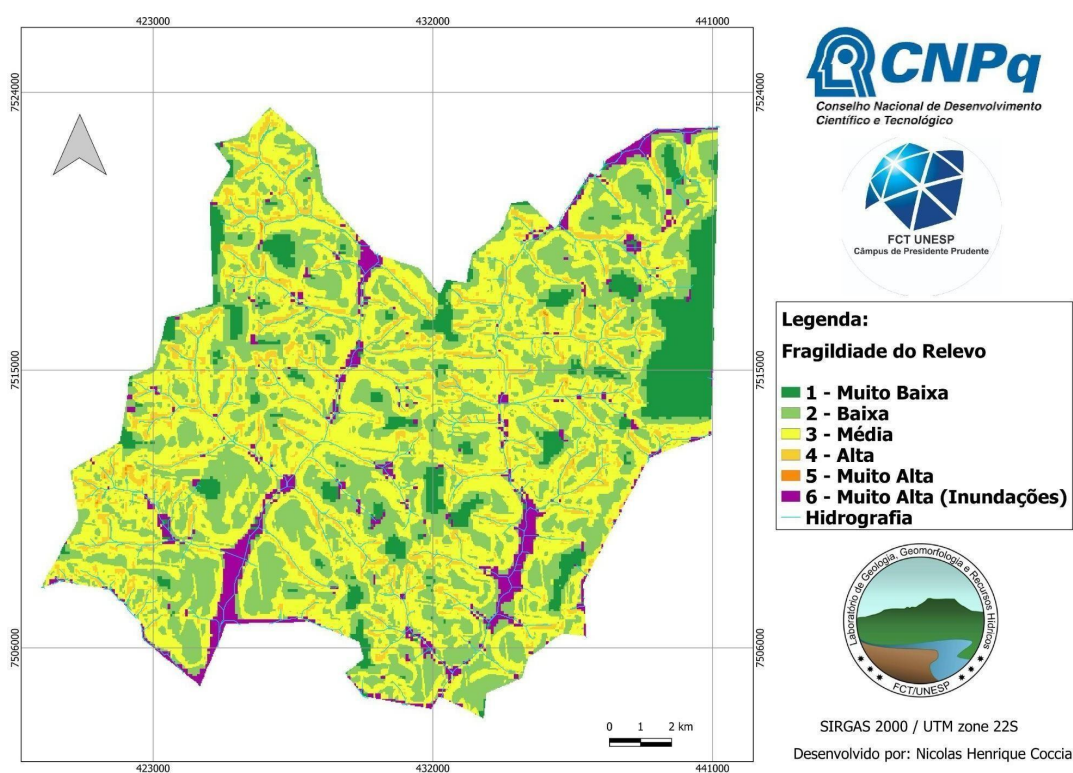


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Observa-se na Figura 5 que os níveis de Fragilidade “Muito Baixo” e “Baixo” correspondem aos topos que são aplanados ou levemente convexizados. O nível de Fragilidade médio, que predomina na área, corresponde às vertentes convexas, enquanto os níveis de Fragilidade alto correspondem às vertentes côncavas associadas à hidrografia. As áreas de planícies fluviais, foram classificadas com Fragilidade Muito Alta por estarem sujeitas a inundações.

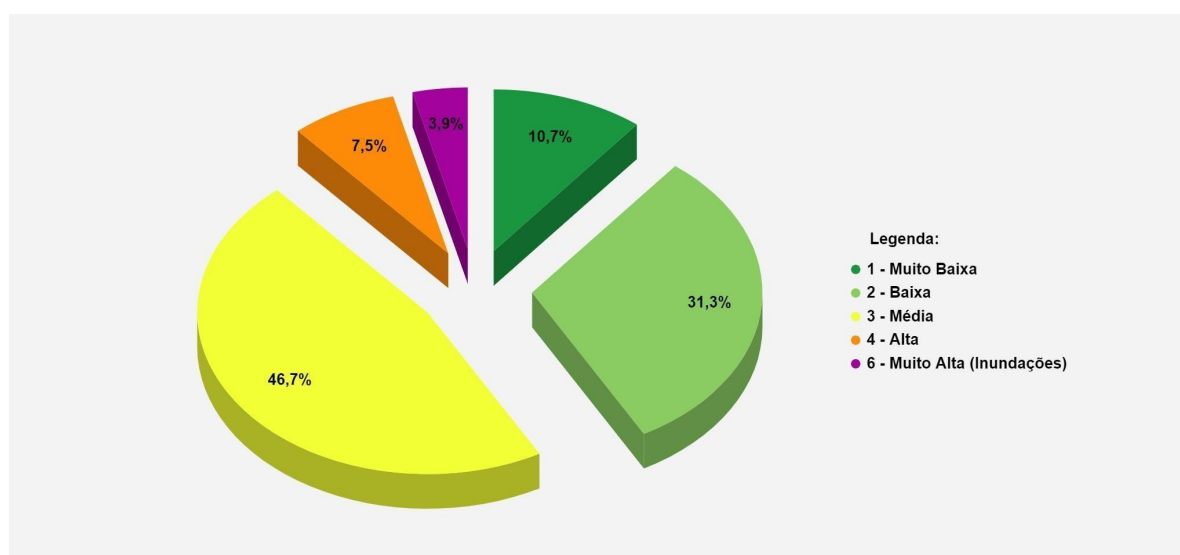
A Figura 6 apresenta o Mapa de Fragilidade do Relevo que foi obtido a partir da sobreposição ponderada dos mapas de Declividade e das Geoformas. O gráfico 4 apresenta a distribuição dos níveis de Fragilidade do Relevo.

Figura 6 - Mapa dos Níveis de Fragilidade do Relevo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Gráfico 4 - Níveis de Fragilidade do Relevo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Observa-se que os níveis que predominam são os “Médios” e “Baixos”, com 46,7% e 31,3%, respectivamente. A distribuição dos níveis de Fragilidade do Relevo relaciona-se mais às geoformas do que às declividades pois essas são predominantemente muito baixas e baixas.

Vê-se que os níveis de Fragilidade das variáveis do Relevo (Declividade e Geoformas) foram “Muito Baixas”, “Baixas” e “Médias”, portanto conclui-se que o relevo não é um componente tão impactante a ponto de contribuir expressivamente com a ocorrência de processos erosivos lineares.

No município em análise, foram identificados 4 tipos de solos: Argissolos Vermelho-Amarelos (90,4%), Latossolo Vermelho-Amarelo (7,6%), Latossolos Vermelho (1,5%) e Gleissolos (0,4%), ,

O mais abundante deles é o Argissolo Vermelho-Amarelo, mas o que possui o maior nível de Fragilidade é o Gleissolo, pelo fato de corresponder às áreas de planície de inundação, sendo assim classificados com nível de Fragilidade Muito Alto à Inundações.

A respeito dos Argissolos Silva (2018), diz:

[...] os Argissolos tendem a ser mais suscetíveis aos processos erosivos devido à sua relação textural, que implica em diferenças de infiltração dos horizontes superficiais e subsuperficiais. No entanto, os de texturas mais leves ou textura média e de menor relação textural são mais porosos, possuindo boa permeabilidade, sendo, portanto, menos suscetíveis à erosão. (Silva, 2018, p.27).

Sobre os Latossolos, Silva, (2018),, afirma que:

Os Latossolos, de um modo geral, apresentam reduzida suscetibilidade à erosão (VIEIRA, 1988; OLIVEIRA et al., 1992; RESENDE et al., 1995 apud GUERRA, 2001). A boa permeabilidade e drenagem e a baixa relação textural B/A (pouca diferenciação no teor de argila do horizonte A para o B) garantem, na maioria dos casos, uma boa resistência desses solos à erosão. (Silva, 2018, p.38).

A Figura 7 apresenta o Mapa de Fragilidade dos Solos, enquanto o Gráfico 5 apresenta a distribuição dos níveis de Fragilidade dos Solos.

Figura 7 - Mapa de Fragilidade dos Solos

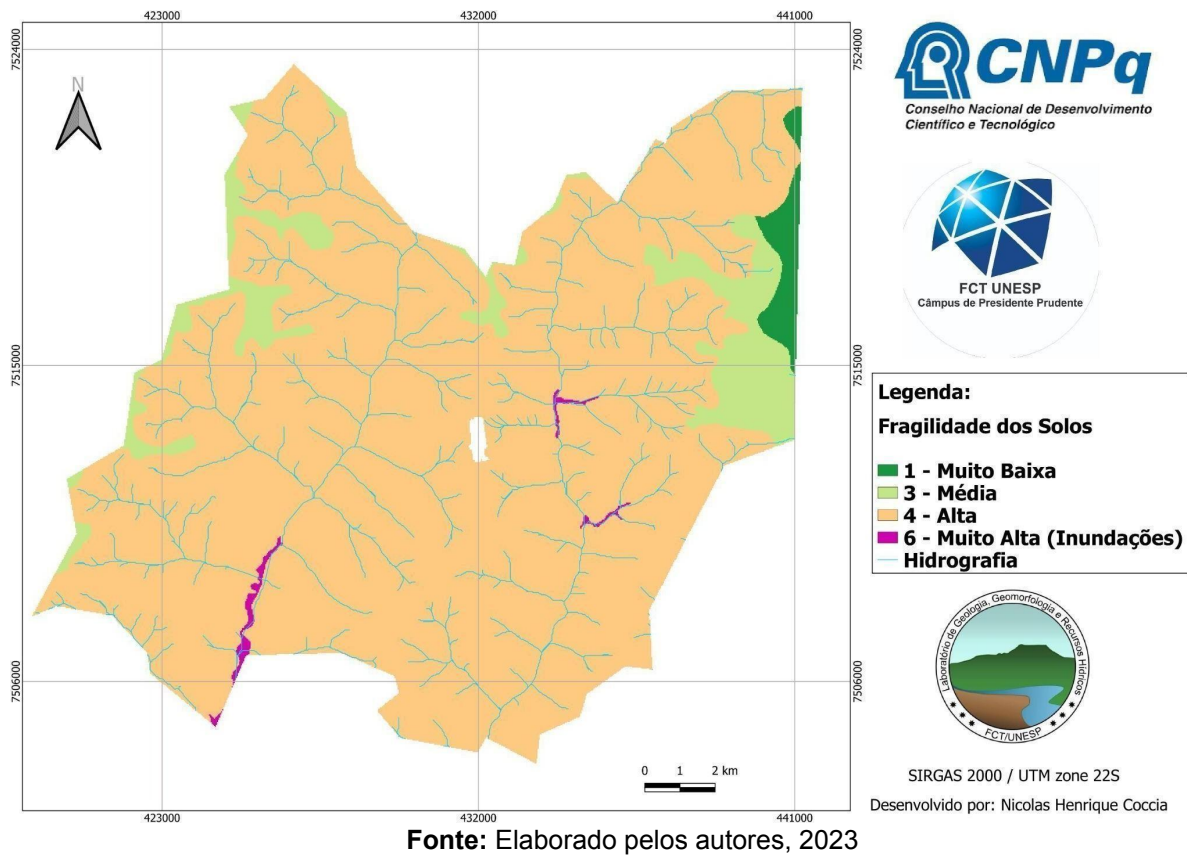
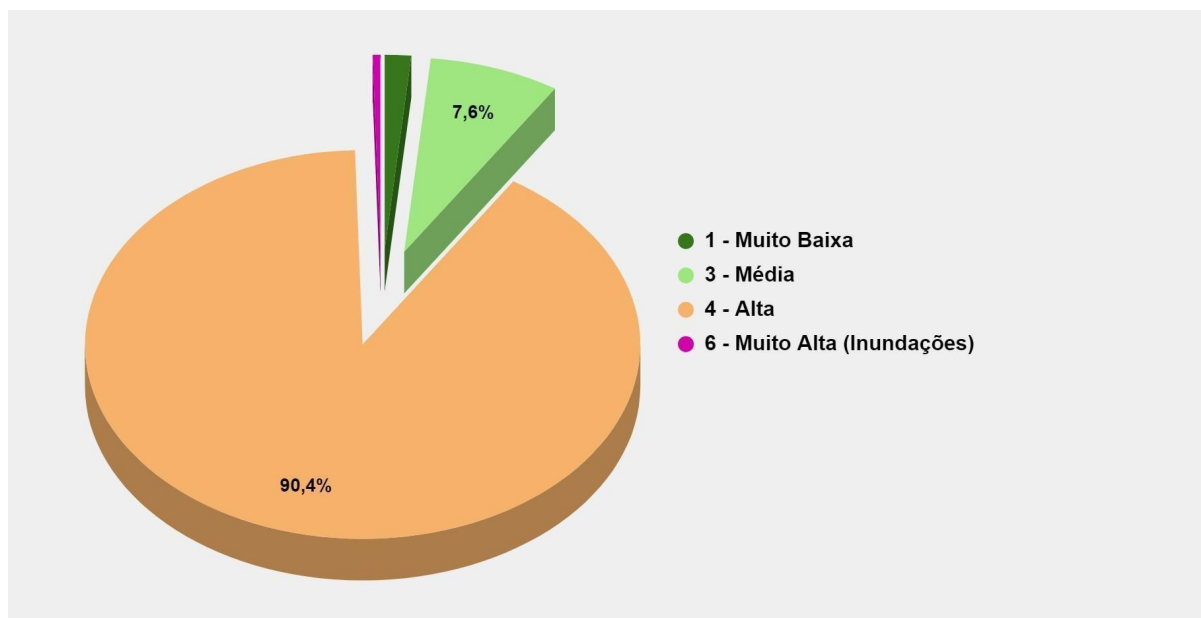


Gráfico 5 - Distribuição dos níveis de Fragilidade dos Solos



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Observa-se que o nível de Fragilidade “Alto” predomina na área em função da presença dos Argissolos Vermelho-Amarelo. Os níveis “1 - Muito Baixa” e “6 - Muito Alta (Inundações)” representam, respectivamente, 1,5% e 0,4%.

Após a sobreposição ponderada do mapa de Fragilidade do Relevo e o de Fragilidade do Solo, tem-se o mapa de Fragilidade Potencial, conforme a Figura 8. O Gráfico 6 apresenta a distribuição dos níveis de Fragilidade Potencial.

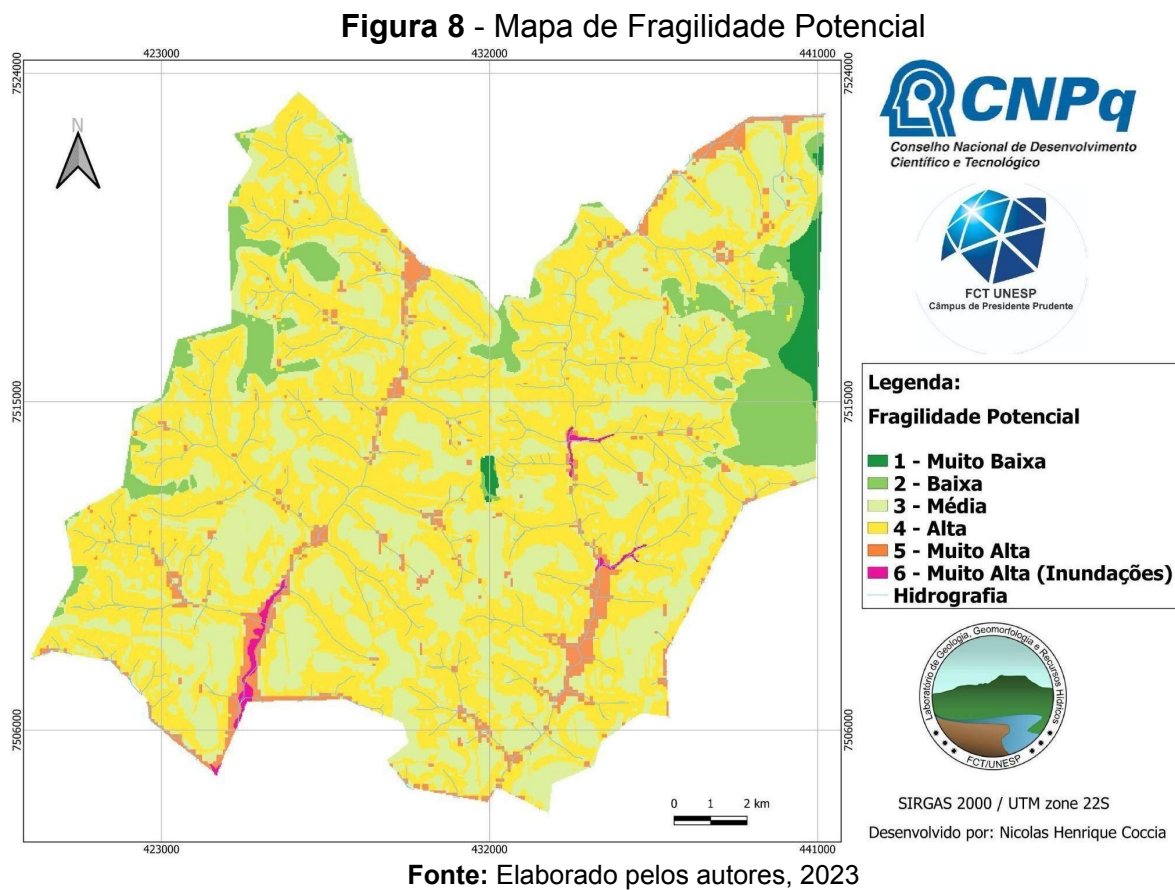
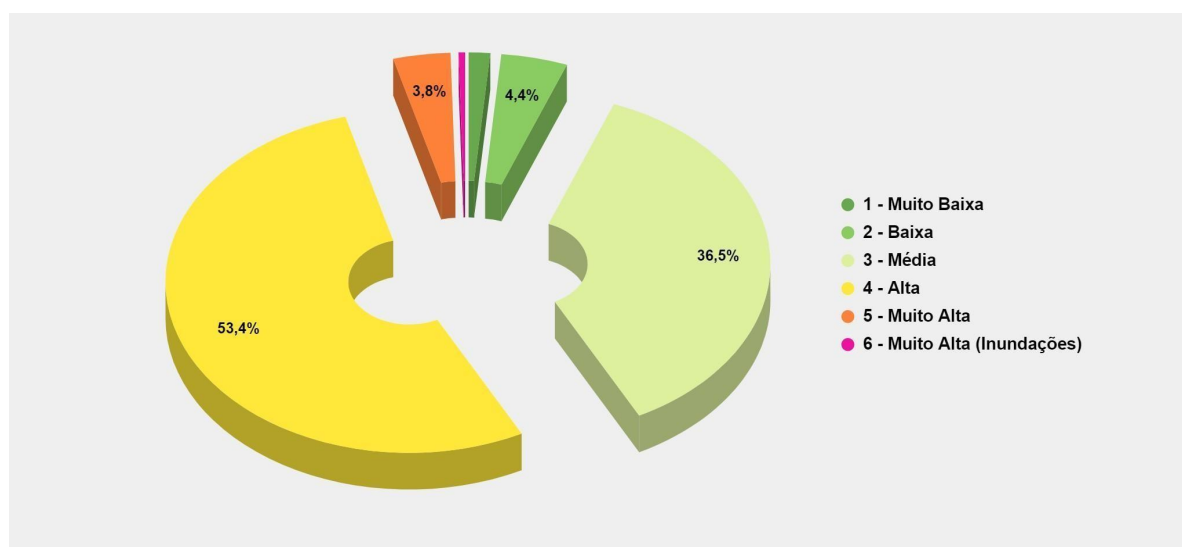
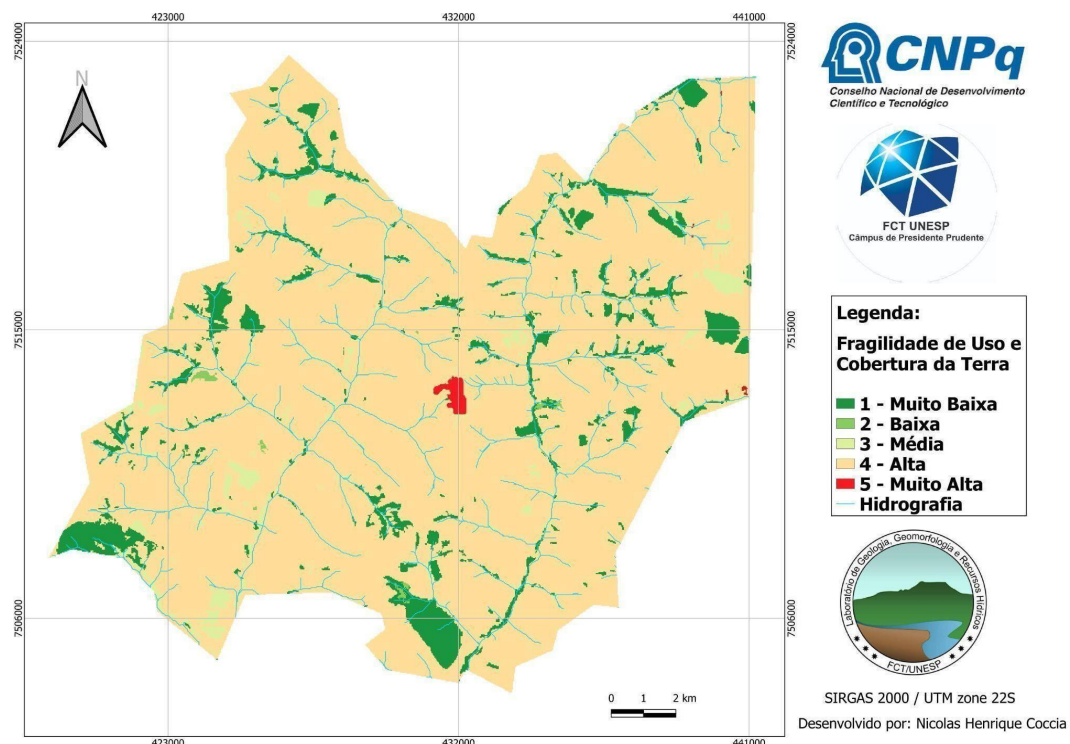


Gráfico 6 - Distribuição dos níveis de Fragilidade Potencial



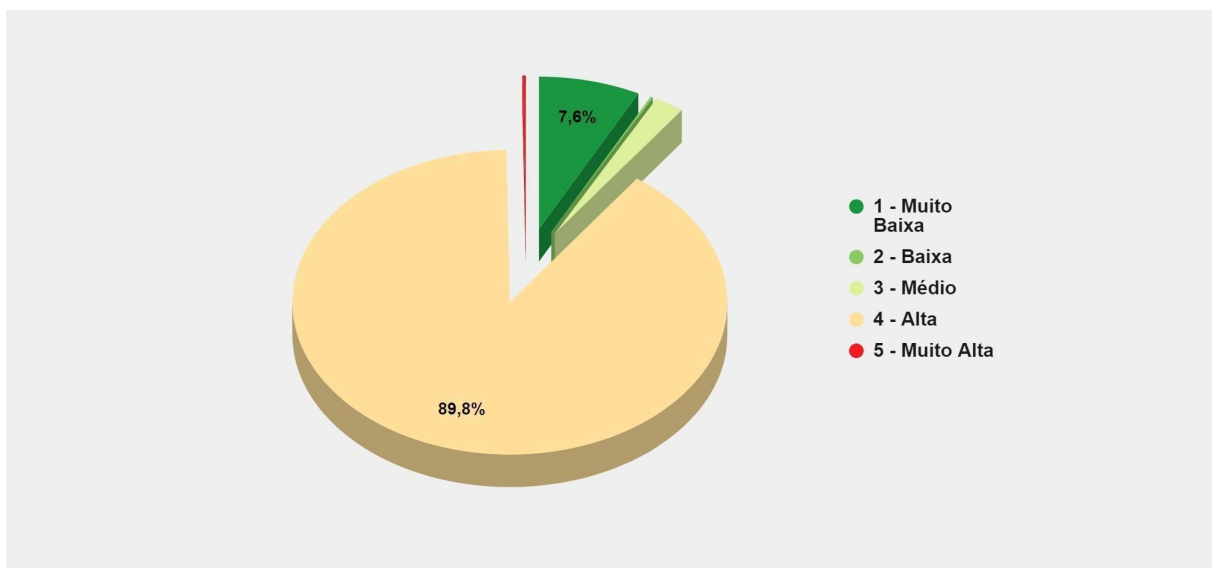
A partir da figura 8 e do gráfico 6, observa-se que os níveis de Fragilidade “Média” e “Alta” correspondem a quase 90% da área do município. O mapa de Fragilidade Potencial (FP) revela que naturalmente a área apresenta susceptibilidade aos processos erosivos lineares. Ao analisarmos os resultados obtidos nos mapas de Fragilidade do Relevo e dos Solos, podemos observar que a variável solo está diretamente relacionada aos níveis obtidos no Mapa de Fragilidade Potencial, tendo uma participação maior do que a variável relevo no desencadeamento de processo erosivos.

Figura 9 - Mapa de Fragilidade dos Usos e Cobertura da Terra



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Gráfico 7 - Gráfico de distribuição dos Níveis de Fragilidade dos Usos e Cobertura da Terra



Fonte: Os Autores, 2023

A figura 9 apresenta os níveis de Fragilidade dos Usos e Cobertura da Terra e apresentamos o gráfico 7 de distribuição dos níveis de Fragilidade dos Usos e Cobertura da Terra.

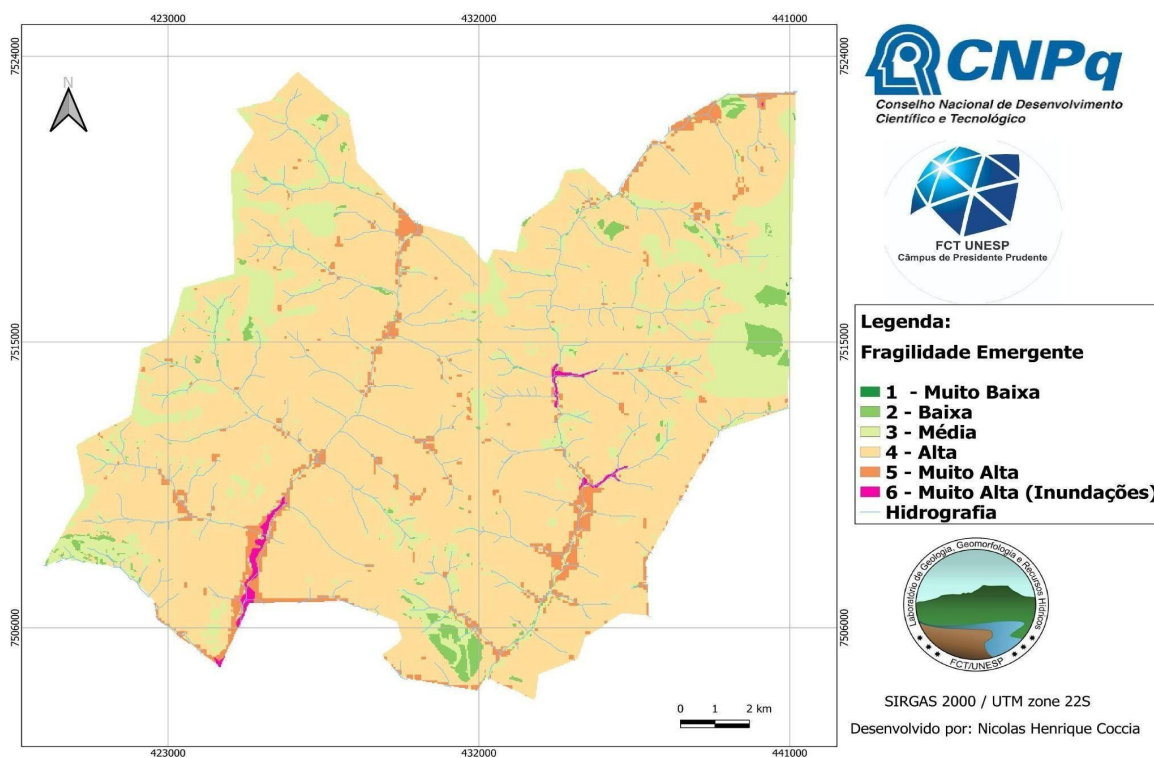
A figura 9 diz respeito à sobreposição do mapa de FP aos dados de Uso e Cobertura da Terra. Vê-se que a maior parte do mapa é recoberto pela classificação “4 - Alta”, que como diz o gráfico 7, corresponde a 89,8% do território do município. O nível “2 - Baixo” é inexpressivo, e portanto, não aparece na construção do gráfico.

É notável que a variável Uso e Cobertura da Terra tem grande influência na definição dos níveis de Fragilidade.

Vê-se que a maior parte da área apresenta nível de Fragilidade “4 - Alta”, correspondendo a 89,8% do território do município. Os níveis 2 - Baixo, 3 - Médio e 5 - Muito Alta são inexpressivos, e portanto, não aparecem no gráfico. Tal resultado relaciona-se sobretudo à presença de áreas de pastagens e agricultura sem a adoção de práticas conservacionistas.

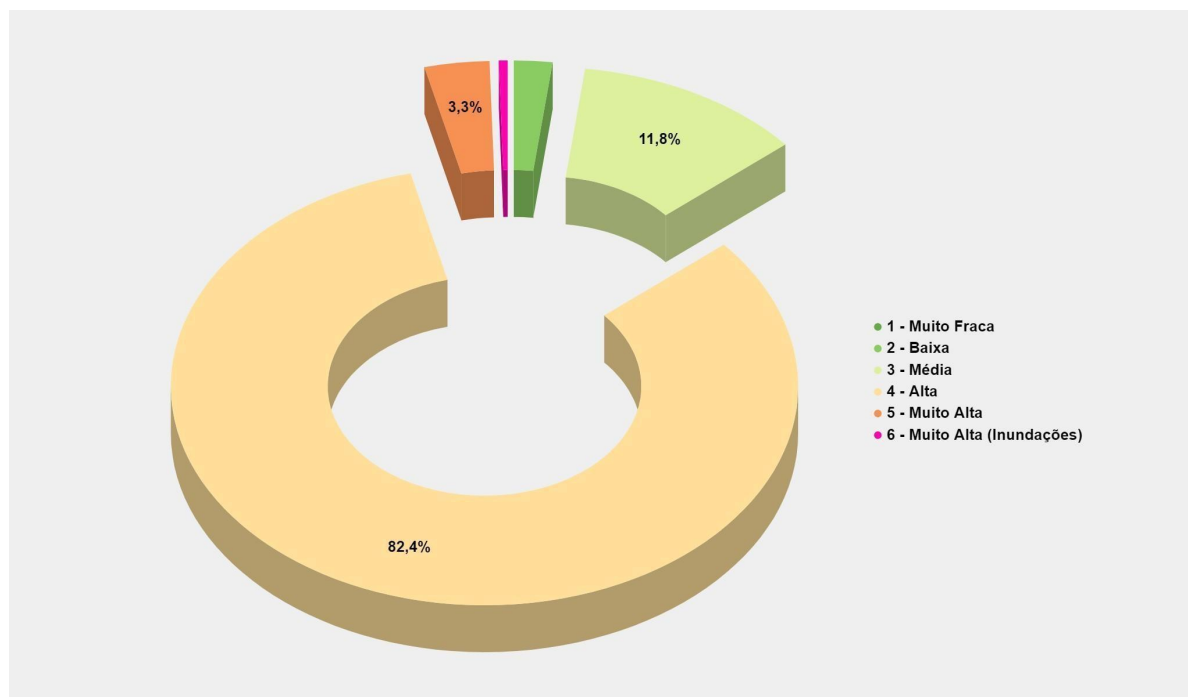
Por fim, foi elaborado o produto-síntese, o mapa de Fragilidade Emergente (ou Ambiental) de Estrela do Norte – SP (Figura 10), que resultou da sobreposição ponderada dos mapas de Fragilidade Potencial e de Fragilidade dos Usos e Cobertura da Terra. O gráfico 8 apresenta o gráfico de distribuição dos níveis de Fragilidade Ambiental.

Figura 10 - Mapa de Fragilidade Emergente no Município de Estrela do Norte - SP



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Gráfico 8 - Distribuição dos níveis de Fragilidade Ambiental.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

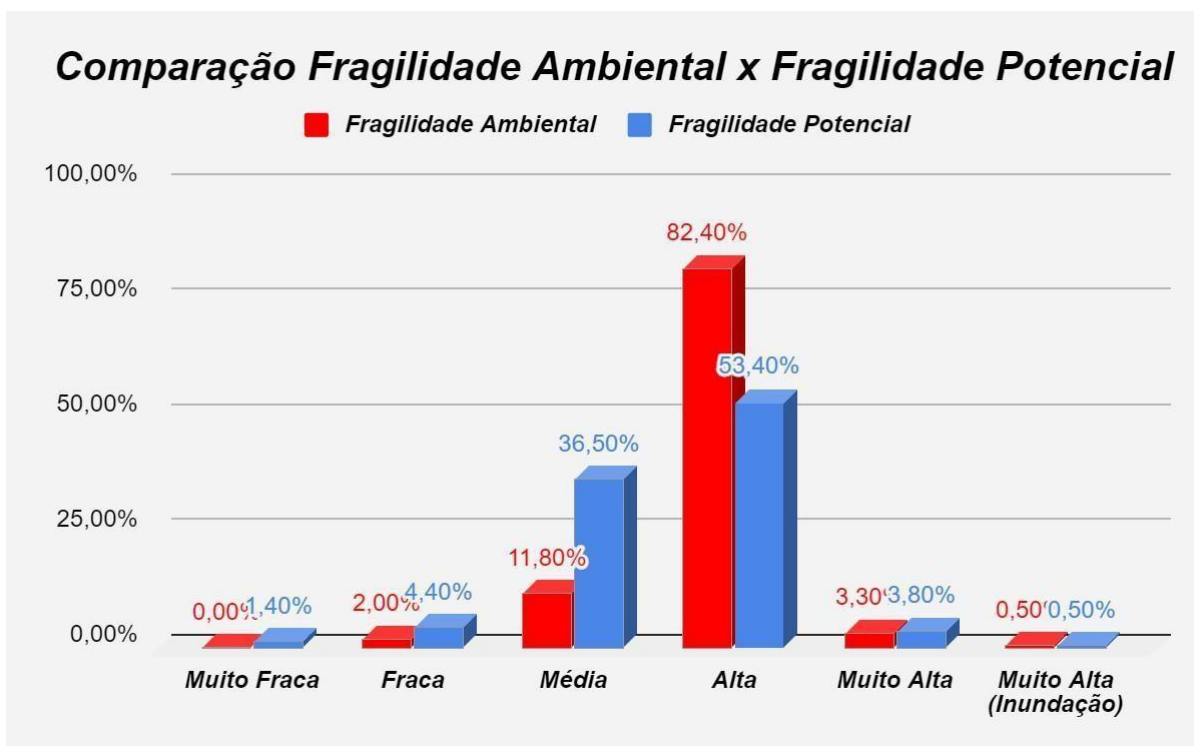
Através da figura 10 e do gráfico 8, percebe-se que os níveis de Fragilidade Emergente (FE) no município são alarmantes, pois o nível “Alto” ocupa cerca de 82,5% da área. Os níveis “Muito Alto” e “Médio” ocupam 3,3% e 11,8%, respectivamente. O

Nível “Muito Alto (Inundações)” não aparece no gráfico, mas ocupa 0,4% do território.

É notável que a variável Uso e Cobertura da Terra tem grande influência na definição dos níveis de Fragilidade.

O gráfico 9 apresenta um comparativo dos níveis de Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente.

Gráfico 9 - Gráfico comparativo dos níveis de Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

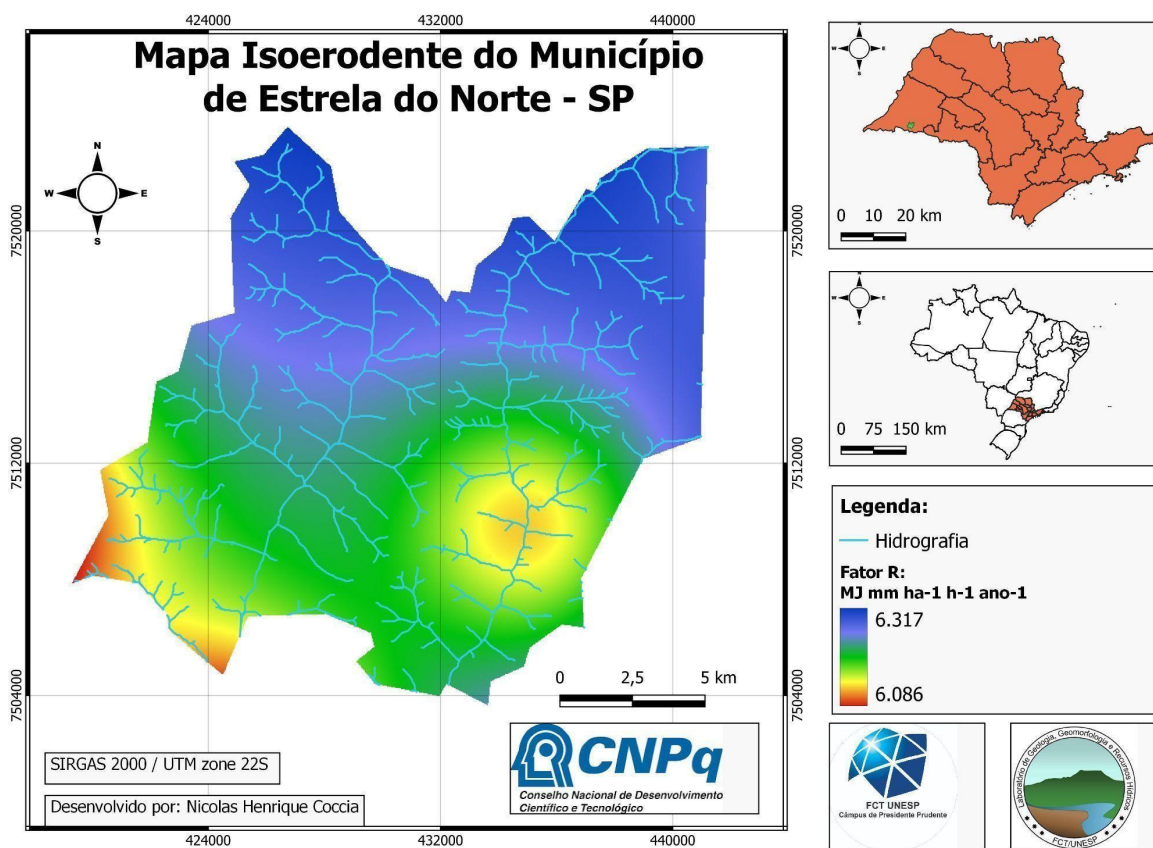
As principais diferenças observadas entre a FP e FE referem-se ao nível de Fragilidade “Alto” que eleva-se cerca de 29% na FE, e ao nível “Médio”, que diminui 24% na FE. Também se observa uma redução de 2,4% no nível “Baixo” da FE. Os demais níveis se mantêm próximos e pouco se distanciam. Esses dados revelam que os usos e coberturas atribuídos aos solos elevam o nível “Alto” de Fragilidade, demonstrando a influência antrópica no município.

6.2 Estimativa de Perdas de Solo (EUPS)

Esse tópico abordará os resultados da Equação Universal de Perdas de Solo, mostrando desde os mapas intermediários até os mapas sínteses. Para melhor compreensão, serão utilizados também alguns gráficos com as porcentagens correspondentes.

O primeiro mapa produzido foi o mapa das Isoerodentes, ou Fator R, conforme a Figura 11:

Figura 11: Mapa das Isoerodentes (Fator R)



Fonte: Os autores, 2024

Tabela 1: Classificação da Erosividade

Tabela 2. Classificação da erosividade (R), em MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, de acordo com Carvalho (2008)

Classes de erosidade da chuva média anual e mensal	
Classes de erosividade	Valores de erosividade
Muito baixa	$R \leq 2452$
Baixa	$2453 < R \leq 4905$
Média	$4906 < R \leq 7357$
Alta	$7358 < R \leq 9810$
Muito alta	$R > 9811$

Fonte: Carvalho, 2008

Observa-se que os valores situam-se entre 6.086 e 6.317 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. De acordo com Carvalho (2008), pode-se considerar que a área apresenta erosividade moderada a forte.

Em seguida, foi produzido o mapa do fator K, que representa os índices de erosividade naturais dos tipos de solo existentes no município. A cor marrom corresponde ao Latossolos, a cor amarela representa os Argissolos e a cor azul representa os Gleissolos, conforme a figura 12.

Figura 12 - Mapa Fator K

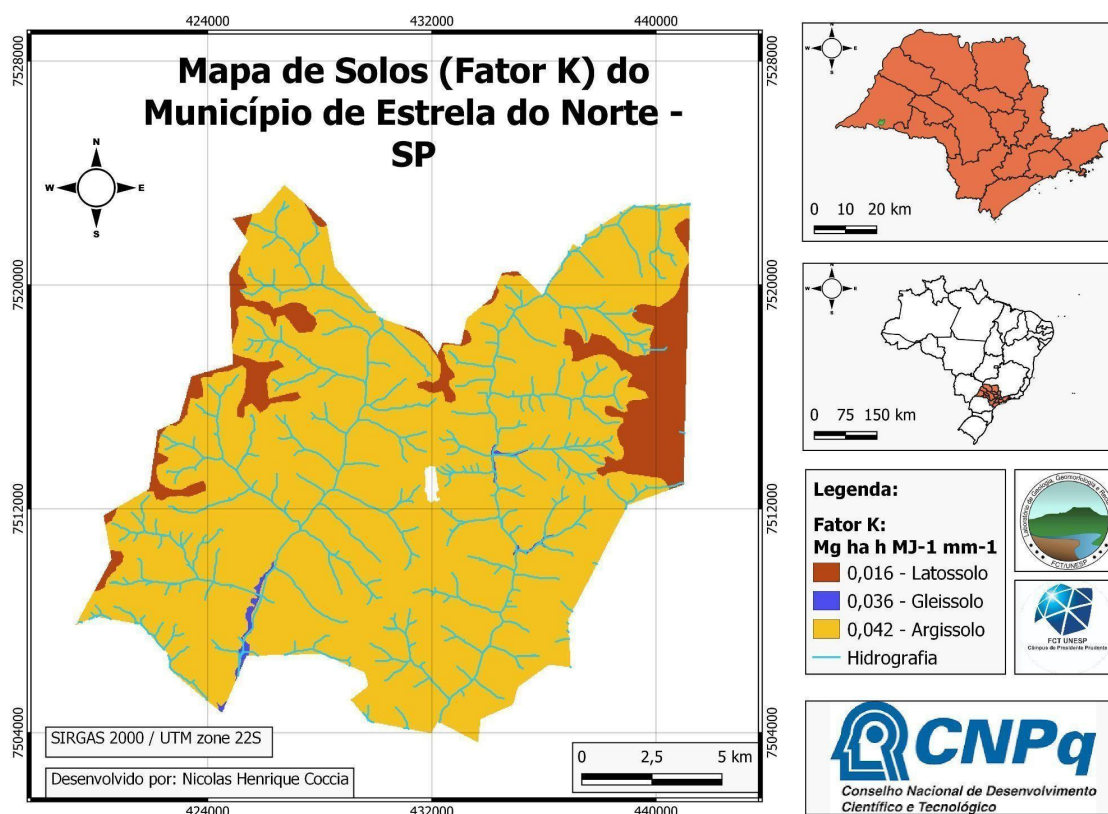


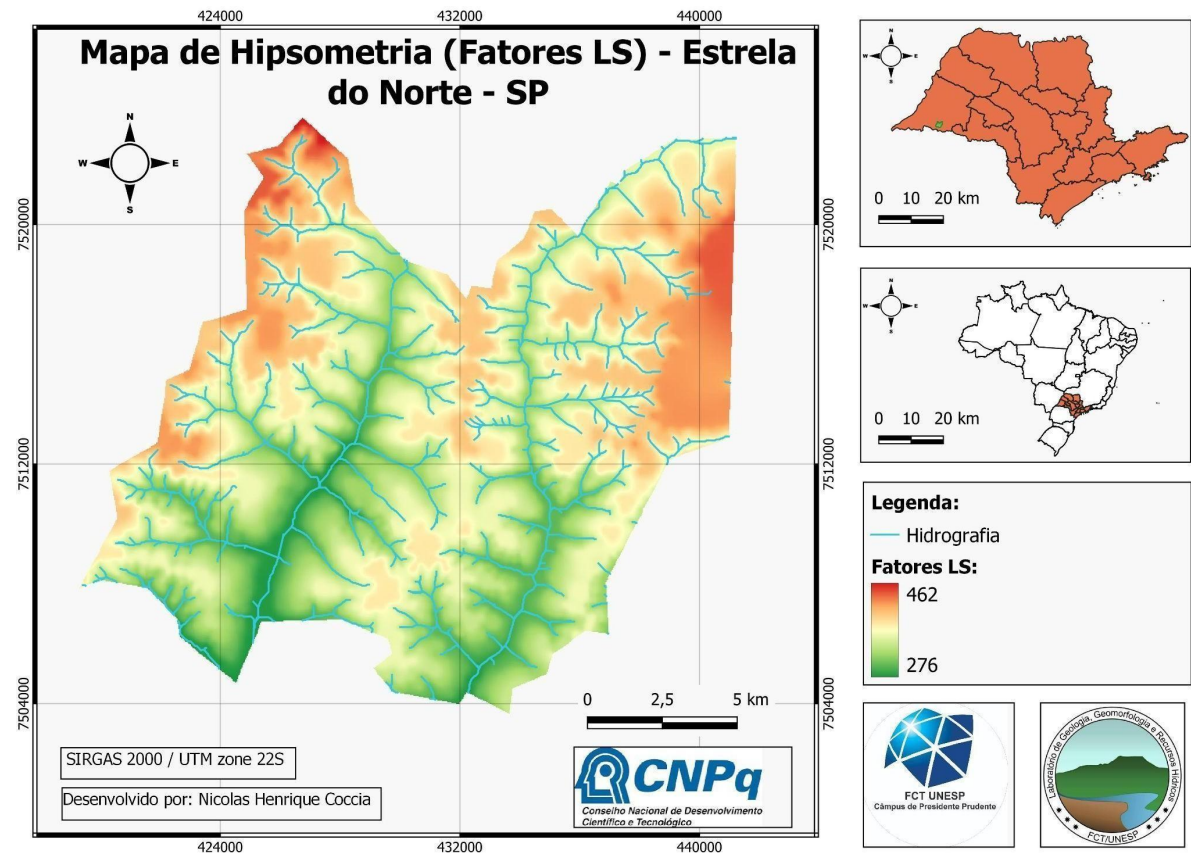
Tabela 2 - Classes de Valores de Erodibilidade para dos solos

TABELA 2. Classes de valores e suas respectivas interpretações para a erodibilidade dos solos.	
Limites de valores (t.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	Classe de interpretação
<0,01529	Erodibilidade baixa
0,01529-0,03058	Erodibilidade média
>0,03058	Erodibilidade alta
Fonte: Carvalho (1994), convertido para o SI conforme Foster et al. (1981).	

De acordo com Carvalho (1994), os Latossolos apresentam erodibilidade média, enquanto que os Argissolos e Gleissolos apresentam erodibilidade alta.

A figura de número 13 traz os fatores L e S, correspondentes ao comprimento e grau de inclinação das vertentes no município.

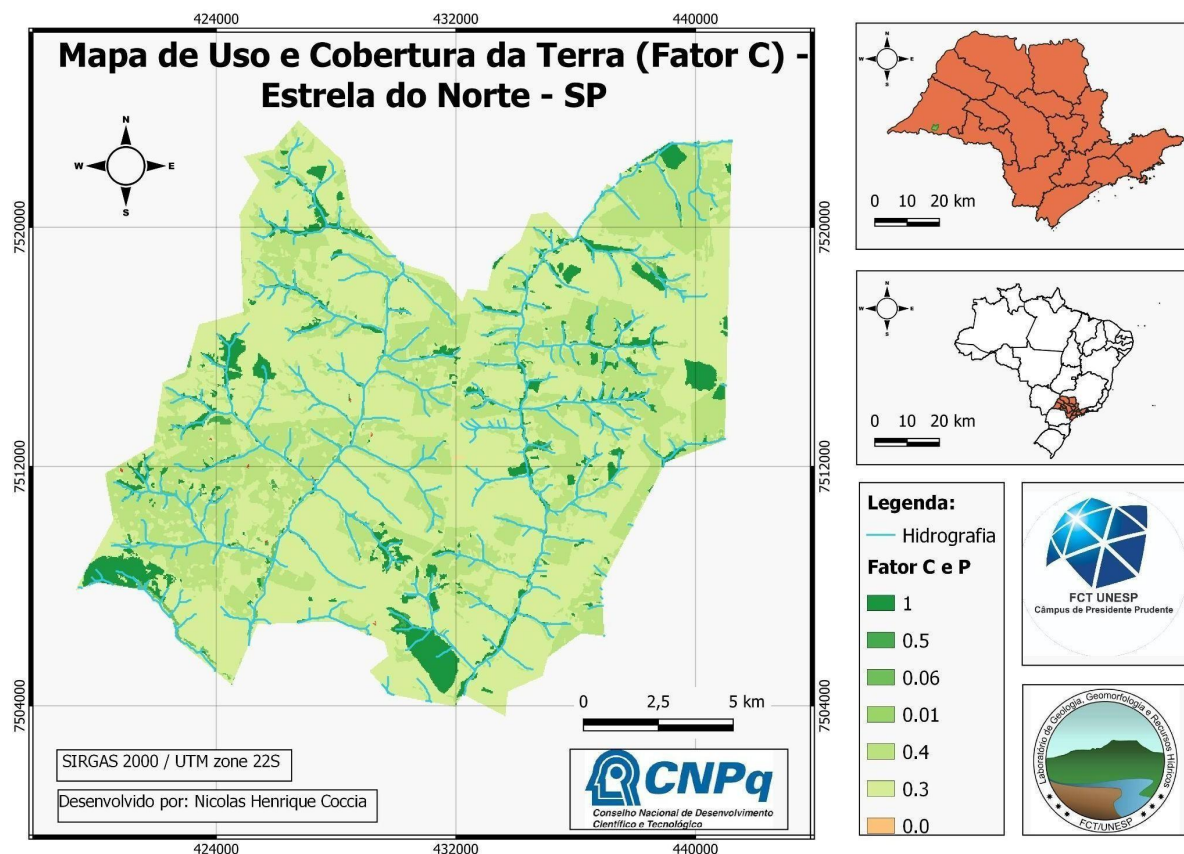
Figura 13 - Mapa Fatores L e S



Fonte: Os autores, 2024

Em seguida, foi elaborado o mapa do Fator C, correspondente aos valores atribuídos para os diferentes usos e coberturas da terra em Estrela do Norte - SP (Figura 14). Os valores atribuídos variam de 0 a 1, sendo 1 aqueles que menos oferecem proteção aos solos.

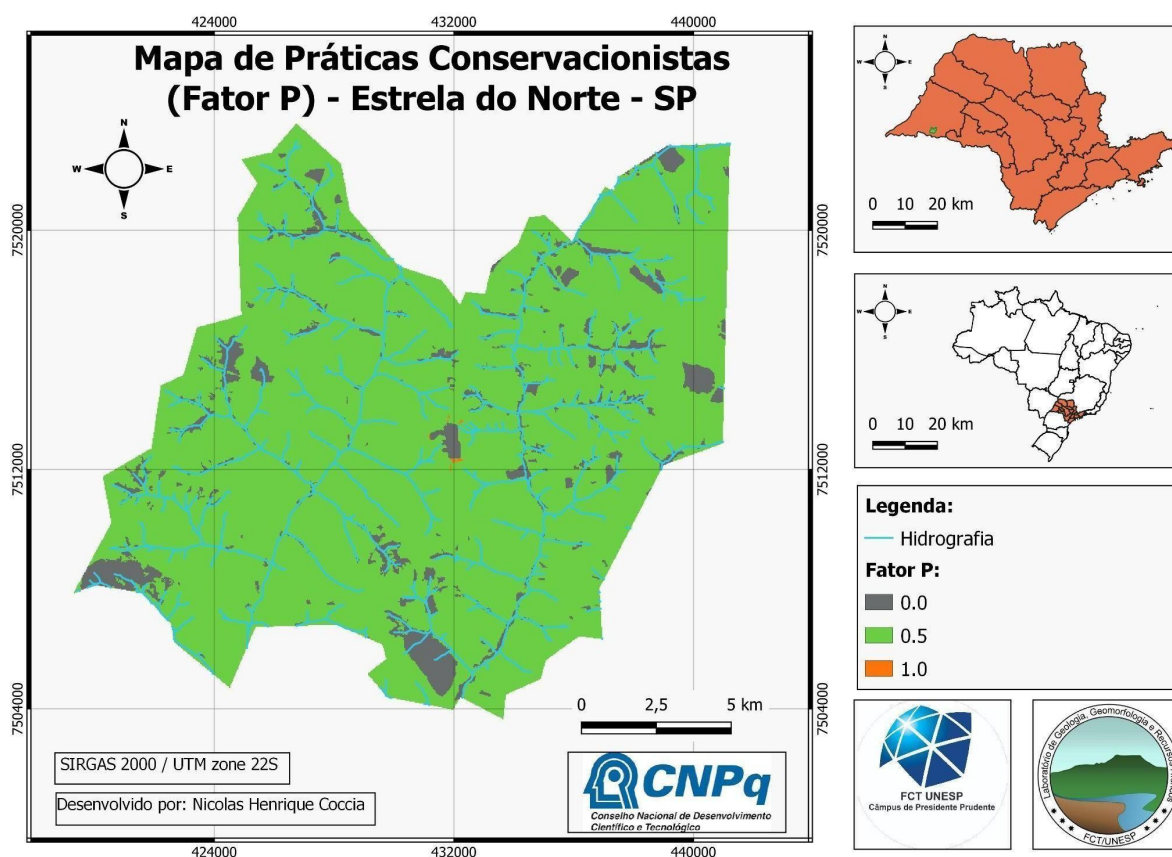
Figura 14 - Mapa Fator C



Fonte: Os autores, 2024

O Fator P leva em consideração a aplicação de práticas conservacionistas, atribuindo valores à elas. Também variam de 0 a 1, sendo 1 a total ausência de práticas conservacionistas. (Figura 15).

Figura 15 - Mapa Fator P

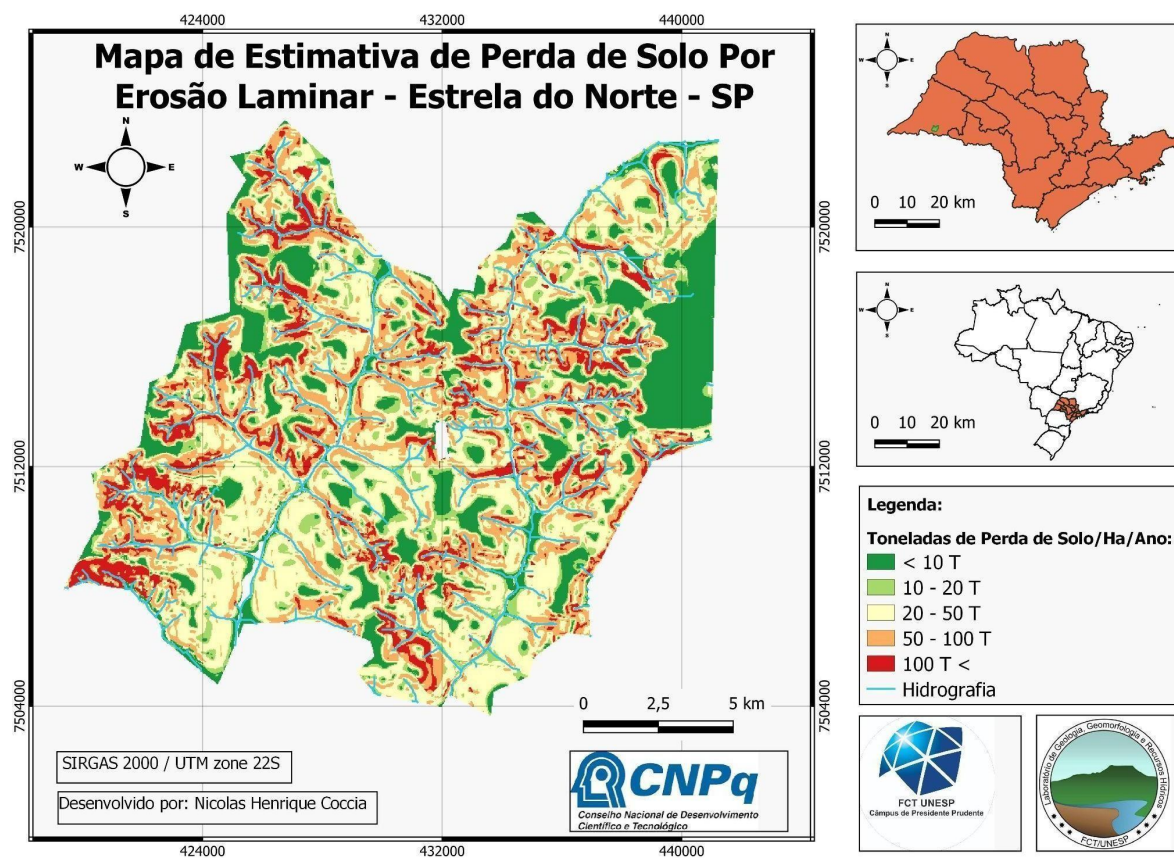


Fonte: Os autores, 2024

A produção desses mapas intermediários nos possibilitou elaborar os mapas sínteses dessa pesquisa, que dizem respeito a Estimativa de Perdas de Solo por erosão Laminar em Estrela do Norte - SP, Mapa de Sedimentos Exportados e o Mapa de Sedimentos Retidos. Para estes mapas finais também foram elaborados gráficos para melhor compreensão e análise

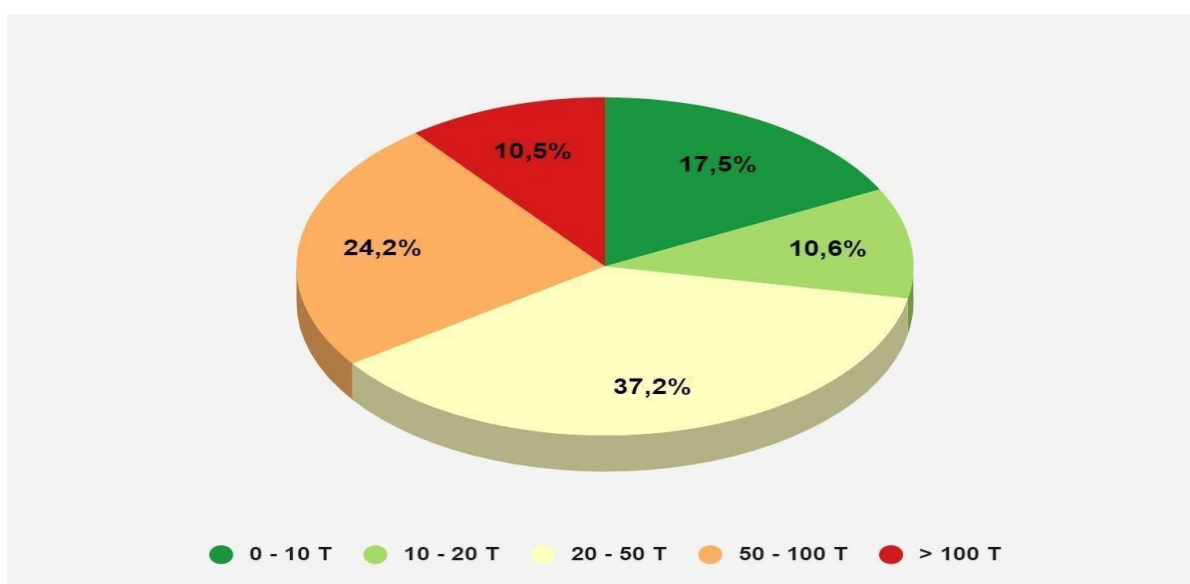
A Figura 16 apresenta o Mapa de Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Laminar em Estrela do Norte - SP e o Gráfico 10 apresenta distribuição dos níveis de perdas de solo por erosão laminar em Estrela do Norte - SP.

Figura 16 - Mapa de Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Laminar em Estrela do Norte - SP



Fonte: Os autores, 2024

Gráfico 10 - Distribuição dos níveis de Perdas de Solo por Erosão Laminar em Estrela do Norte - SP



Fonte: Os autores, 2024

Quadro 6 - Grau de erosão por quantidade de perda de solo

Quadro 12 – Grau de erosão por quantidade de perda de solo.

Perda de solo (ton. ha/ano)	Grau de erosão
0 – 10	1 – Muito baixo
10 – 20	2 – Baixo
20 – 50	3 – Médio
50 – 100	4 – Alto
> 100	5 – Muito alto

Fonte: Pereira, 2014.

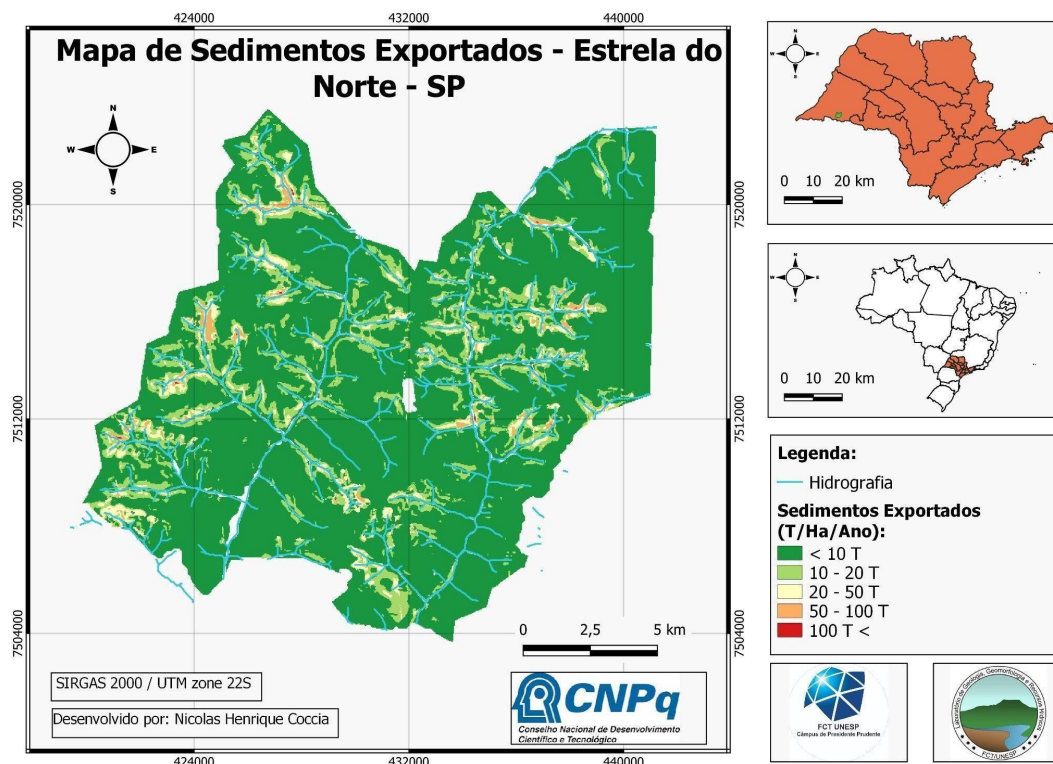
Fonte: Pereira, 2014

De acordo com o Quadro 6 (Pereira, 2014), cerca de 72% do município apresenta níveis de erosão médio, alto e muito alto.

O módulo SDR do InVEST gera ainda Mapa de Sedimentos Exportados e Mapa de Sedimentos Retidos. Os sedimentos exportados referem-se à quantidade total de sedimentos exportados que chega aos concursos fluviais e os sedimentos retidos referem-se à quantidade total de sedimentos depositados nas encostas.

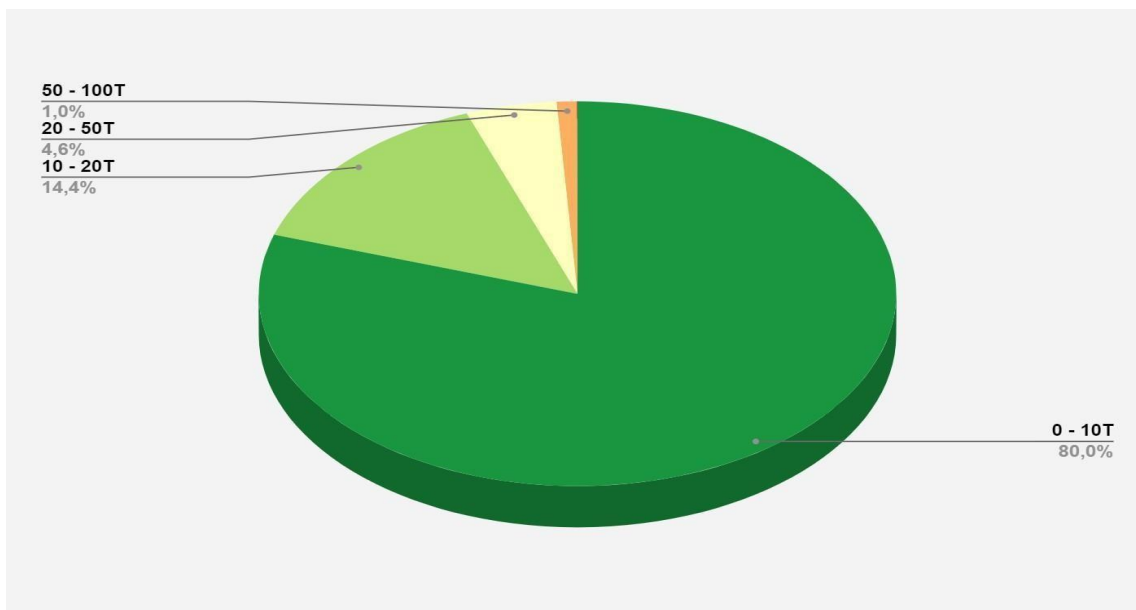
A Figura 17 apresenta o Mapa de Sedimentos Exportados Estrela do Norte - SP e o Gráfico 11, Distribuição dos níveis de Sedimentos Exportados.

Figura 17 - Mapa de Sedimentos Exportados Estrela do Norte - SP



Fonte: Os autores, 2024

Gráfico 11 - Distribuição dos níveis de Sedimentos Exportados em Estrela do Norte
- SP

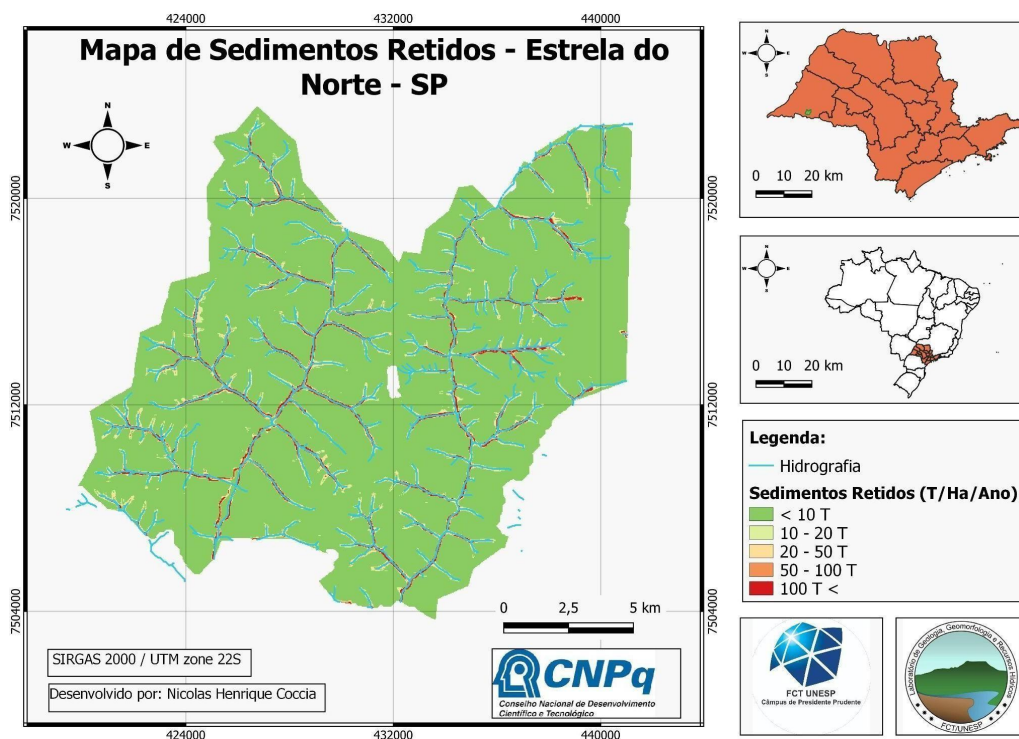


Fonte: Os autores, 2024

Observa-se que apesar das perdas de solo serem significativas, os sedimentos exportados estão entre 0 a 20 t. ha/ano.

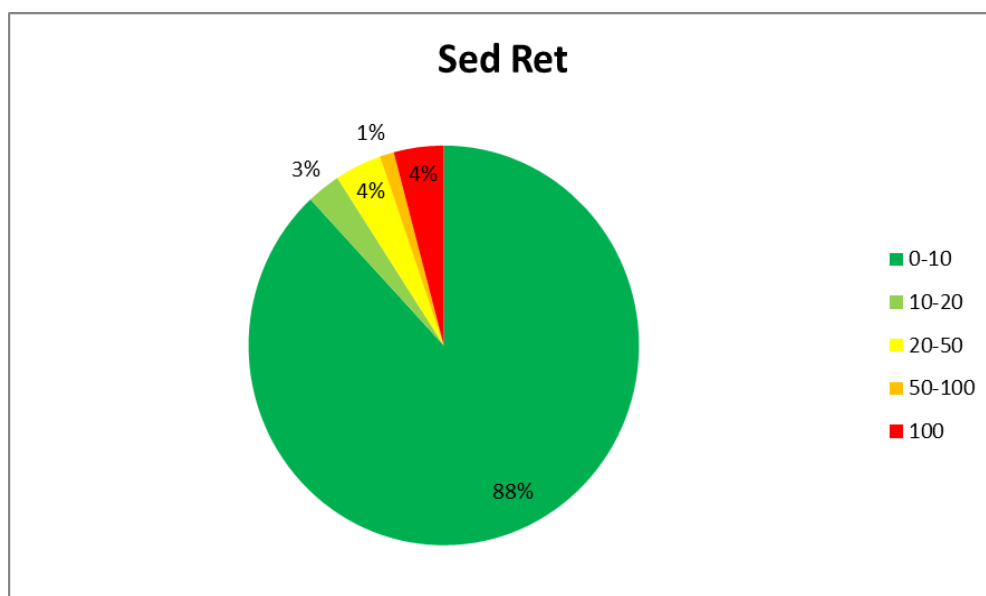
A Figura 18 apresenta o Mapa de Sedimentos Retidos e o Gráfico 12, Distribuição dos níveis de Sedimentos Retidos.

Figura 18 - Mapa de Sedimentos Retidos em Estrela do Norte - SP



Fonte: Os autores, 2024

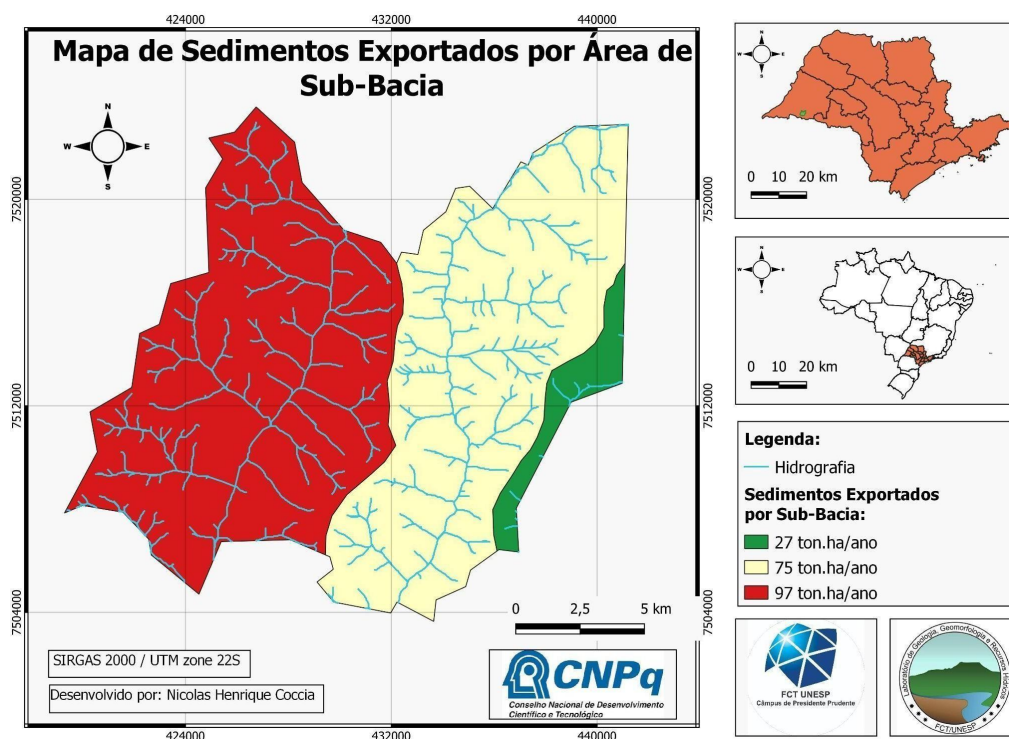
Gráfico 12 - Distribuição dos Níveis de Sedimentos Retidos em Estrela do Norte - SP



Fonte: Os autores, 2024

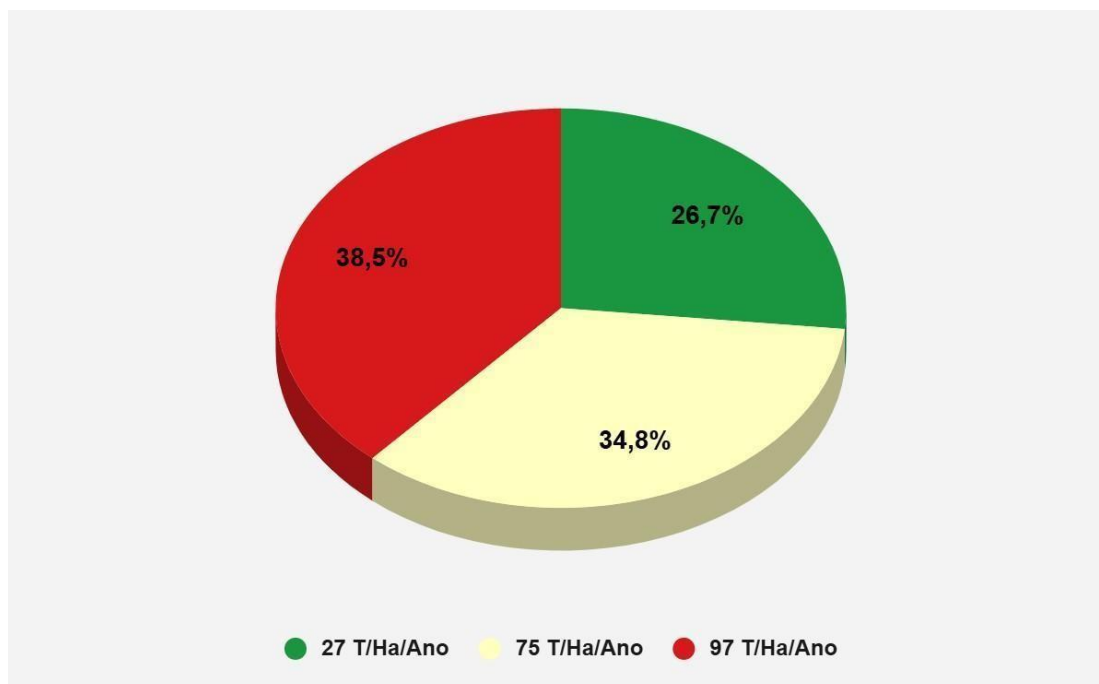
Observa-se que a retenção de sedimentos prevalecente é da ordem de 0-10 t. ha/ano, cobrindo cerca de 88% do município.

Figura 19 - Níveis de Sedimentos Exportados por Sub-Bacia em Estrela do Norte - SP



Fonte: Os autores, 2024

Gráfico 13 - Distribuição dos Níveis de Sedimentos Exportados por Sub-Bacia em Estrela do Norte - SP



Fonte: Os autores, 2024

A figura 19 e o gráfico 13 mostram os níveis de sedimentos exportados por sub-bacia no município. Essa informação é valiosa pois nos mostra qual sub-bacia perde mais solo por ano e, consequentemente, a área que necessita mais urgentemente de ações que visem a recuperação do solo.

Através da elaboração de mapas para cada variável da EUPS entende-se como e onde cada uma delas apresenta seus níveis mais críticos, a junção de todas elas nos traz como resultado final o mapa de Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Laminar.

Analisando separadamente cada variável, é possível entender que:

- Para a variável R, vê-se que a chuva possui um fator de erodibilidade maior em áreas situadas mais ao norte do município, embora não necessariamente essas áreas sejam mais afetadas pela erosão laminar, justamente pelo fato de que essa combinação leva em consideração outros parâmetros.
- Já para a variável K que está relacionada ao índice de erodibilidade natural dos tipos de solo, percebe-se que a maior parte do município é composta por Argissolos, sendo que esse tipo de solo, entre os existentes na área de

estudo, é o que apresenta o maior valor para erodibilidade natural: 0,042 Mg - ha - h - MJ-1 - mm - 1. Essa informação é muito pertinente quando analisada pelo espectro da erosão.

- Os fatores L e S também trazem uma questão importantíssima para a análise da problemática, pois tratam do comprimento e do grau de inclinação das vertentes. Percebe-se que o noroeste e nordeste do município possuem as maiores altitudes (462m ou próximas) e que, bem próximo a essas áreas correm os dois principais cursos d'água do município e seus afluentes, situados em áreas com menores altitudes (276m ou próximas), nos levando a crer que o grau de inclinação dessas vertentes seja elevado
- Para o fator C, pode-se interpretar o figura 7 a partir do seguinte raciocínio: as áreas mais próximas a 1 são as que estão mais suscetíveis a erosão laminar (solo exposto), enquanto que as mais próximas a 0 possuem um valor de cobertura ao solo mais elevado, sendo assim, vê-se que predomina no município usos do solo com graus de proteção variando entre 0,3 e 0,5.
- Para a variável P, que está bastante relacionada à variável C, a partir do figura 8 conclui-se que a maior parte dos usos do solo da área de estudo configuram um índice de 0,5 para práticas conservacionistas, ou seja, a maior parte dos usos do solo apresentam um valor médio quando pensados sob ponto de vista da conservação.

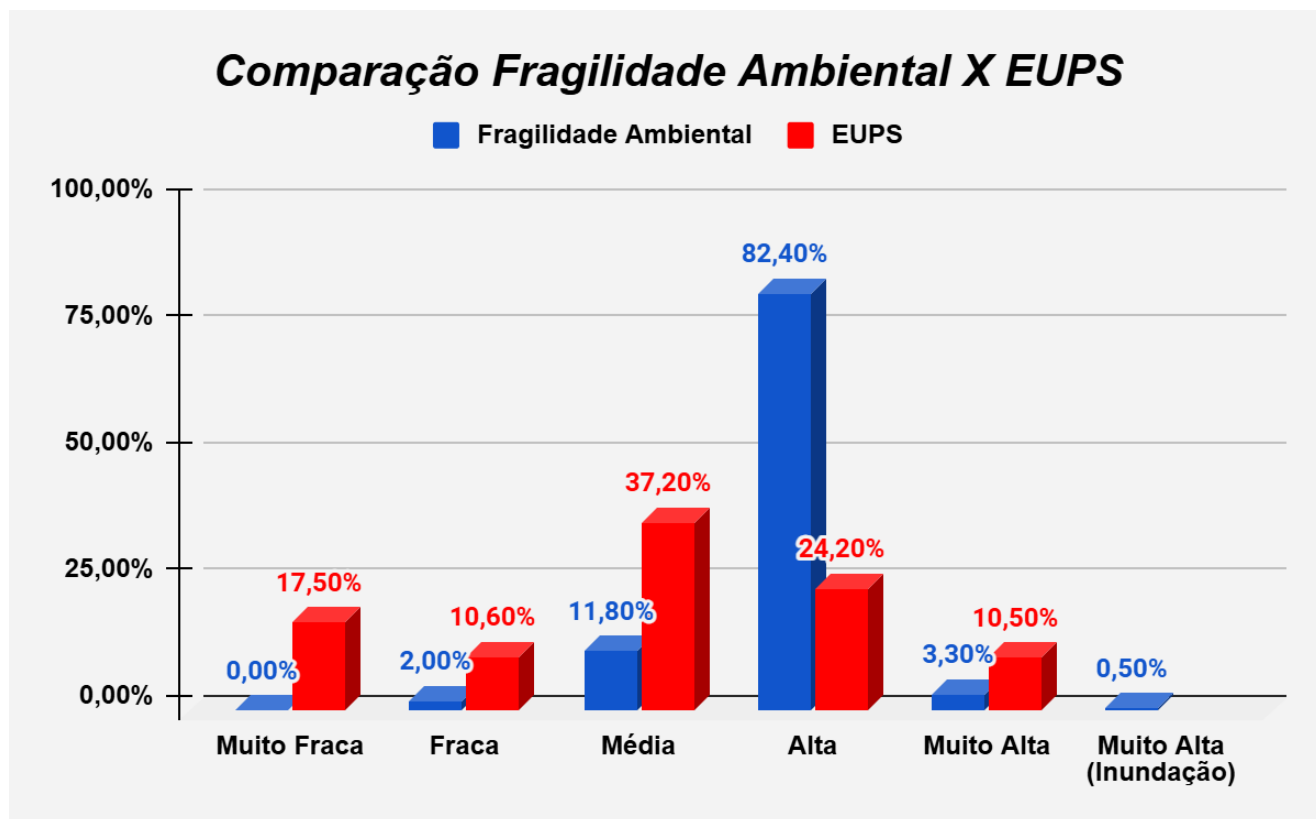
Partindo para os produtos síntese da pesquisa, a figura 20 e o gráfico 14 mostram o produto principal deste estudo, revelando que aproximadamente 72% do município perde, no mínimo, 20t de solo/ ha/ ano. Esse número representa uma quantidade muito significativa, principalmente se pensarmos a partir da lógica da produção agrícola do município, da fertilidade e saúde do solo e da sedimentação desse material nos leitos dos corpos d'água.

As figuras 17 e 18 e os gráficos 11 e 12 mostram os níveis de sedimentos exportados e retidos no município, ao observá-los pode-se concluir que a sedimentação ocorre ao longo de toda rede hidrográfica, que recebe altas quantidades de solo erodido.

A figura 19 e o gráfico 13 mostram a quantidade de solo erodido por área de sub-bacia hidrográfica, explicitando as áreas com situações mais críticas e, conseqüentemente, os corpos d'água que mais os sedimentos erodidos.

Para efeitos de comparação entre os resultados das duas metodologias utilizadas neste trabalho, segue o gráfico 14.

Gráfico 14: Comparação dos Resultados de Fragilidade Ambiental x Estimativa de Perdas de Solo



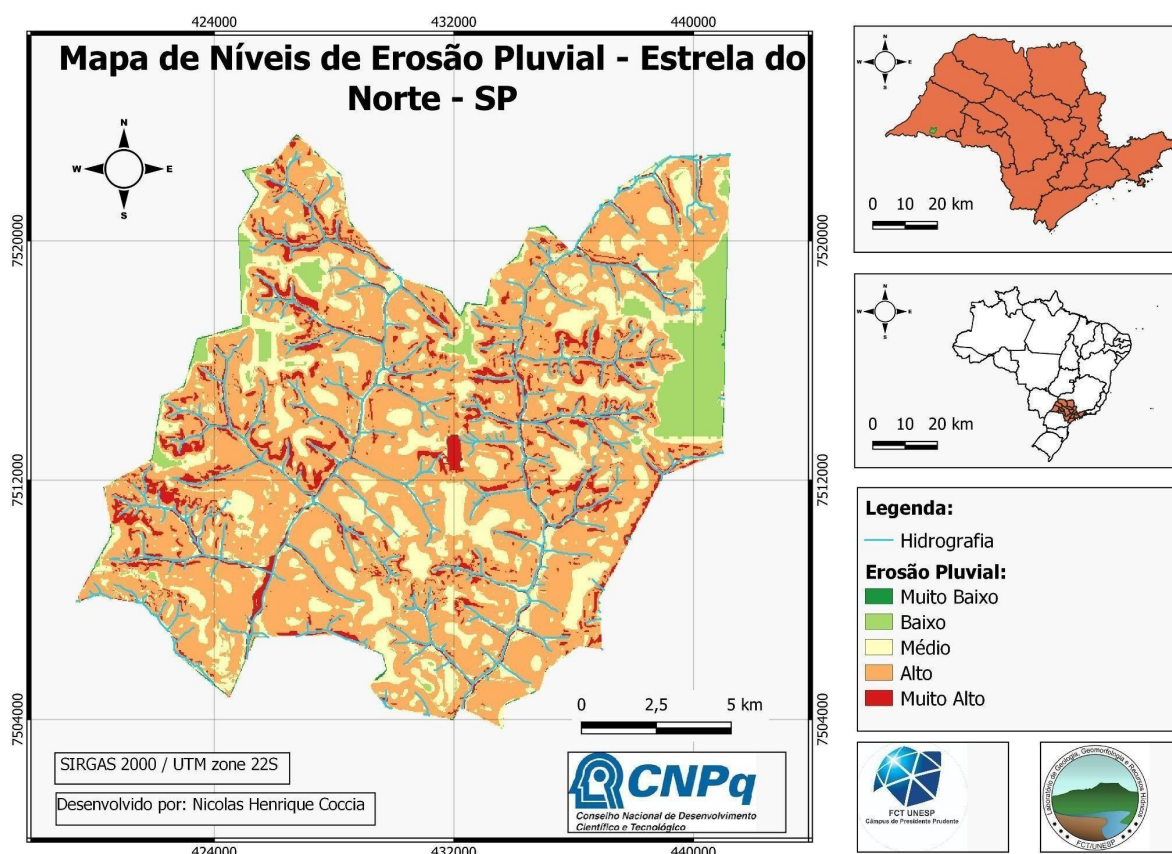
Fonte: Os autores, 2024

Percebe-se que o nível “alto” para a Fragilidade Ambiental se destaca com 82,4% do município altamente comprometido. Isso significa dizer que, mais de 80% do município está altamente suscetível ao surgimento de erosões lineares, que formam sulcos, ravinas e voçorocas e impossibilitam o uso da área afetada, provocando impactos ambientais e sociais severos.

Para a Estimativa de Perdas de Solo (EUPS), vê-se que a maior porcentagem está atrelada ao nível “Médio”, porém, fazendo a análise dos 3 níveis mais elevados, podemos dizer que 37,2% do município perde de 20 - 50 toneladas/ hectare/ ano, 24,2% perde 50 - 100 toneladas/ hectare/ ano e que 10,5% perde mais de 100 toneladas/ hectare/ ano. Esse fato corrobora, mais uma vez, para a situação ambiental crítica em que se encontra Estrela do Norte - SP no que diz respeito à erosões pluviais.

Como complemento ao estudo, para a elaboração do mapa de Erosão Pluvial, junção do mapa de Fragilidade Ambiental + EUPS, ambos foram submetidos a ferramenta “Análise Multicriteria Ponderada” do software “QGIS 3.16.8 with Grass 7.8.5”, onde foi atribuído a eles um peso de 0,5. Após isso, o produto síntese foi gerado e, posteriormente, um gráfico analisando seus resultados.

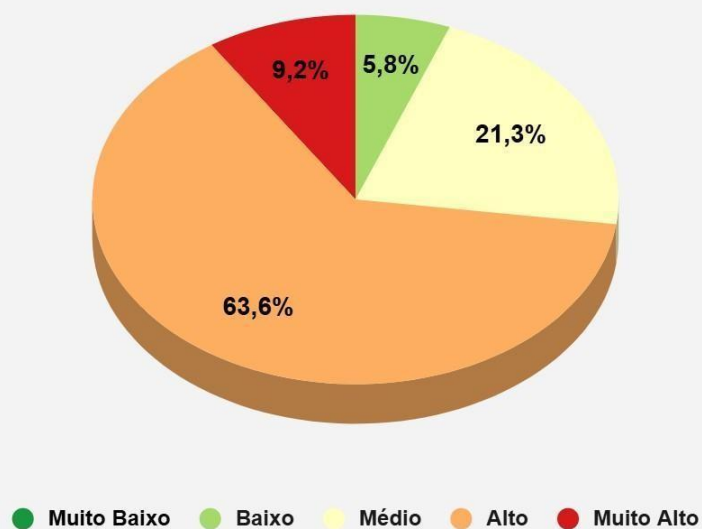
Figura 20 - Mapa de erosão pluvial



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024

Gráfico 15 - Distribuição dos Níveis de Erosão Pluvial - Estrela do Norte - SP

Gráfico de Distribuição dos Níveis de Erosão Pluvial - Estrela do Norte - SP



Fonte: Os autores, 2024

Como foi possível observar de acordo com a figura 20 e o gráfico 15, cerca de 73% do município apresenta níveis “Altos” e “Muito Altos”, esses dados demonstram que Estrela do Norte - SP possui grandes níveis de perdas e fragilidades quando analisado sob o espectro das erosões pluviais. Dessa maneira, fica evidente a necessidade de ações que visem a recuperação/ restauração ambiental no município, do contrário, o cenário tende a se tornar cada vez mais crítico, elevando números que já são altos e impactando áreas cada vez mais degradadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Analizando todos os gráficos e mapas, é possível identificar as áreas mais suscetíveis a erosões. O estudo contém informações a respeito de diversas variáveis, entre elas: Relevo (Declividade e Geoformas), Solos e Uso e Cobertura da Terra, que juntas mostram os níveis de Fragilidade Emergente no município.

O mapa de Fragilidade Potencial mostrou a fragilidade natural, ou seja, condicionada pelo meio físico, e quando sobreposto ao mapa de Uso e Cobertura da Terra (ação antrópica) resultou na FE.

A pesquisa teve como base a metodologia de Ross (1990), que assim como as demais referências, foi imprescindível para a sua realização.

Acreditamos que o estudo tem sua importância quando colocada no contexto de metodologia de planejamento ambiental, a fim de não se discutir medidas paliativas, mas medidas que sejam assertivas, com bases científicas firmes. Ao praticarmos o planejamento ambiental com seriedade e conhecimento, podemos trazer inúmeros benefícios a Natureza e a Sociedade, conciliando ambos a uma convivência mais equilibrada. O estudo tem uma outra face que se faz importante: a de divulgação do conhecimento, tanto passando as informações de maneira mais acessível e clara, como podendo contribuir também para o ensino de Cartografia nas instituições de ensino.

Ao final deste estudo observa-se a gravidade das erosões lineares e laminares para o município de Estrela do Norte - SP. As lineares (Fragilidade Ambiental) demonstraram que cerca de 85% do município está classificado como “Alto” a “Muito Alto”, enquanto que, para a erosão laminar (EUPS), 72% do município perde, no mínimo, 20t de solo/ ha/ ano, sendo que dessa porcentagem, 24,2% perde 50 - 100t e outros 10,5% perde mais de 100t.

Essa perda anual de sedimentos traz e trará impactos ainda maiores para o município, que é predominantemente rural e a cada ano que passa perde quantidades

significativas de solo para cultivo, podendo afetar social e economicamente a vida da população.

A problemática prejudica o município em outras frentes também, como por exemplo na sedimentação dos corpos d'água, que ao receberem essa grande carga de sedimentos, tem suas propriedades físico-químicas-biológicas alteradas. A longo prazo, esse acúmulo excessivo pode alterar a velocidade e a direção das águas, podendo alterar as suas margens e, conseqüentemente, a sua dinâmica e ampliar a frequência e magnitude de inundações.

Gostaríamos de citar também o ganho profissional que obtivemos aprendendo a trabalhar com SIGs e a cartografia como um todo, pois a Geografia, ao se valer do domínio da produção cartográfica, forma professores e profissionais cada vez mais completos.

Como já citado ao longo do trabalho, é de desejo dos autores que as informações aqui produzidas sirvam para futuros programas e planejamentos ambientais, onde os planejadores/ responsáveis levem em consideração a problemática das erosões que, conforme comprovado, afeta negativa e anualmente o município de Estrela do Norte - SP com quantidades significativas de perdas de solo.

8. REFERÊNCIAS:

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 1. ed. Piracicaba: Livroceres, 1985.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 8. ed. São Paulo: Ícone. Editora, 2012. 355 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. São Paulo: Ícone, 1995. 355 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR., R. Equação de perdas de solo. Instituto Agronômico, Campinas, SP. Boletim Técnico, 21. 1975.
- CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.
- CBH AP. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema. Plano de Bacia das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio Paranapanema (UGRHI-22).
- EMBRAPA. Erosividade da Chuva do Brasil. BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO, 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1159615/1/CNPS-BPD-286-2023.pdf>. Acesso em: 29/10/2024.
- FAUSTO, Boris. *História do Brasil*. 15. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2018.
- GUERRA, A. T. Dicionário geológico e geomorfológico. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023.
- InVEST® (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs). The Nature Conservancy – TNC e World Wildlife Fund – WWF (TALLIS et al., 2011). Disponível em: <https://www.naturalcapitalproject.org/invest/>. Acesso em: 23/08/2024.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. IPT, 2 v. (Monografias, 6; Publicação) São Paulo, 1981.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo - Síntese. São Paulo: IPT/DAEE. (IPT, Relatório 36071). 1997.
- Lepsch, Igo F. - 19 Lições de Pedologia - São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MapBiomias. Códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas na Coleção 6 do MapBiomias. Disponível em:

[https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/Colecction%206/Co
d_Class_legenda_Col6_MapBiomias_BR.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/Colecction%206/Co
d_Class_legenda_Col6_MapBiomias_BR.pdf). Acessado em 14/10/2024.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. TUTORIAL. Cálculo da USLE no programa InVEST, FCT-UNESP, PRESIDENTE PRUDENTE, 2017 (Inédito).

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. Tutorial para elaboração de mapas de Fragilidade Ambiental no QGIS, material do curso de Mestrado Profissional em Geografia da FCT-UNESP, Presidente Prudente, 2022. (inédito).

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevo. Revista do Departamento de Geografia (RDG-USP), v. 37, p. 123-136, 2019. Disponível em:

<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/151030>. Acesso em: 03 jun. 2023.

NetErosividade - SP (GPRH – IAC). Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>. Acesso em: 23/08/2024.

PEREIRA, Gleice Santana. Análise da fragilidade ambiental do município de Álvares Machado - SP - 2018.

RIBEIRO, R. S. Resultados Preliminares do Atlas de riscos geológicos e hidrológicos do estado do Espírito Santo. CPRM. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22448>. Acesso em: 12/10/2024.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. Revista do Departamento de Geografia nº 8, São Paulo, 1994.p. 63-74.

ROSS, J. L. S. Análise e Síntese na Abordagem Geográfica da Pesquisa para Planejamento Ambiental. Revista do Departamento de Geografia, nº 9, São Paulo, 1995, p. 165-175.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo escala 1:500.000. São Paulo: USP/IPT/FAPESP, 1997. v. I e II.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Geomorfologia Aplicada aos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs). Geomorfologia: Novas Bases e Conceitos – Livro de Exercícios. Ed. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1995. p. 311-334.

ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. V.1. 118p.

SILVA, A. A. S. Análise de processos erosivos no município de Anhumas – SP. 2018. 70 f. Monografia (Bacharel em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de

Presidente Prudente, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2018.

SUGUIO, K. A Importância da Geomorfologia em Geociências e Áreas Afins. In Revista Brasileira de Geomorfologia, vol. 1, n. 1. 2000, p. 80-87.

TALLIS, H. T. et al. InVEST® - The Natural Capital Project, Stanford-CA, 2011. Disponível em: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest/invest-downloads-data>. Acesso em 15/08/2024.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (Orgs). Desastres naturais: conhecer para prevenir. Instituto Geológico, São Paulo, 2009, 196p.

TRICART, J. Ecodinâmica. FIBGE/SUPREN, Rio de Janeiro, 1977, 97p.

TULLIO, Leonardo. Formação, classificação e cartografia dos solos [recurso eletrônico]. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA