

**Análise da fragilidade ambiental no município de Monte Alto-  
SP e propostas para zoneamento ambiental**

**Olavo Tozete Tercini**

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UNESP, Brasil.  
olavo.tercini@unesp.br

**César Gustavo da Rocha Lima**

Professor Titular no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UNESP, Brasil.  
cesar.lima@unesp.br

**José Augusto de Lollo**

Professor Titular no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UNESP, Brasil.  
jose.lollo@unesp.br

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é identificar as fragilidades ambientais do município de Monte Alto-SP e propor um zoneamento de uso da terra para uma melhor gestão ambiental desta região. Para isso, utilizou-se das propostas metodológicas de Ross (1994), que aborda as fragilidades potenciais e emergentes, de Ross e Fierz (2017), que atualiza alguns conceitos e classificações, e de Gouveia e Ross (2019), que realiza uma integração de áreas sujeitas à inundações à proposta de fragilidade ambiental. Como resultado, observou-se que a classe com maior predominância foi a forte, ocupando cerca de 92,29% e 73,58% da área total da fragilidade potencial e emergente, respectivamente. Para validar a precisão da metodologia, foi utilizado o coeficiente de determinação linear ( $R^2$ ) entre os graus de fragilidade emergente obtidos e a ocorrência de processos erosivos presentes nos respectivos graus. As erosões foram disponibilizadas pelo Instituto de pesquisas Tecnológicas – IPT (2012) e algumas adicionais foram cadastradas pelos autores a partir do Google Earth. O coeficiente de determinação linear determinado vale 0,6359, o que traduz que o método empregado desenvolveu resultados satisfatórios para o local estudado. Por fim, foram propostos zoneamentos ambientais a partir de propostas de usos da terra para melhorar a gestão e qualidade ambiental da região, visto que os resultados da pesquisa evidenciam uma alta fragilidade ambiental no município de Monte Alto- SP.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geotecnologias. Erosão. Uso e ocupação da terra.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso inadequado do solo associado com a falta de gestão e administração ambiental pode aumentar a fragilidade ambiental de uma região. Para auxiliar na supressão destes problemas, diversos estudos têm como objetivo definir um zoneamento ambiental, porém, para esta determinação, é necessária uma análise das fragilidades do ambiente (ABRÃO e BACANI, 2018).

Isto posto, se faz extremamente importante a realização de análises ambientais nas áreas de interesse, sendo que estes estudos podem contribuir em um melhor conhecimento da região, o que pode ser traduzido em futuros planos e ações para gestão e preservação dos recursos naturais (CUNHA et al, 2013).

Uma avaliação ambiental frequentemente utilizada é a análise da fragilidade ambiental. Esta análise classifica a susceptibilidade do ambiente em sofrer intervenções ou de ser alterado, sendo que esta instabilidade pode ocorrer devido a processos naturais ou antrópicos (SPÖRL e ROSS, 2004; SCHIAVO et al, 2016).

A fragilidade ambiental é classificada em potencial e emergente. A fragilidade potencial é determinada a partir de características naturais do local, como solo, geomorfologia e clima, sem considerar a intervenção antrópica. Enquanto isto, a fragilidade emergente é a associação entre o uso e ocupação do solo e a fragilidade potencial (KAWAKUBO et al, 2005).

A metodologia proposta por Ross (1994) é um modelo empírico que integra características geográficas, como o clima, solo, relevo e uso e ocupação do solo. Este método é amplamente reconhecido e é utilizado até hoje em estudos ambientais voltados à estudos físico-territoriais (GOUVEIA e ROSS, 2019).

Ao longo dos anos, o método foi adaptado diversas vezes, como pode ser observado nos trabalhos de Crepani et al (2001), Spörl e Ross (2004) Spörl (2007), Ross e Fierz (2017) e Gouveia e Ross (2019). Porém, de modo geral, o modelo utiliza estudos do relevo, geomorfologia, solo, clima e uso da terra.

Outro fator constantemente presente nas análises de fragilidade ambiental é a consideração de planícies inundáveis. É de extrema importância delimitar estas áreas como sendo áreas de alta fragilidade, em razão da ocorrência de inundações frequentes (ROSS e FIERZ, 2017).

Isto posto, a presente pesquisa selecionou como área de estudo o município de Monte Alto-SP, cidade que tem histórico de deslizamentos e erosões ao longo dos anos, evidenciando sérios problemas ambientais na região. Tais dinâmicas superficiais geram impactos socioeconômicos e ambientais (IG, 2008).

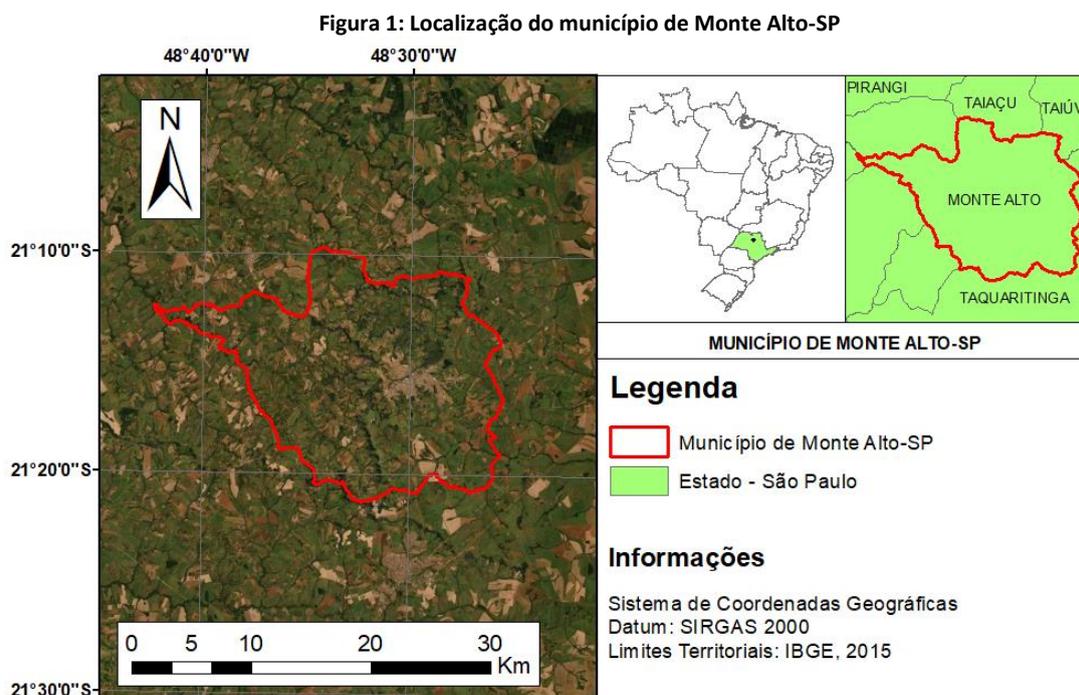
## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho visa a aplicação de geotecnologias para estudar a fragilidade potencial e ambiental no município de Monte Alto-SP a partir do método de Ross e as suas adaptações, além de propor um zoneamento ambiental com sugestões de uso da terra em relação às características naturais e antrópicas avaliadas.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Monte Alto, localizado ao norte do estado de São Paulo, está a uma distância de 350 km da capital paulista. Os limites do município possuem uma área de 347,25 km<sup>2</sup> e situam entre as coordenadas geográficas de 21°9'50.94" a 21°21'9.03" de latitude sul (S) e 48°25'27.23" a 48°42'23.94" de longitude oeste (O), conforme pode ser observado na Figura 1.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Monte alto conta com uma população de 46.642 habitantes (IBGE, 2010). Conforme a classificação de Koppen (1948), o seu clima da cidade é Subtropical úmido, com período chuvoso entre os meses de outubro e março e período seco entre abril e setembro. A sua precipitação média anual é de cerca de 1419,44 mm (DAEE, 2021).

Além disso, o terreno onde se situa o município, por conta de características da geologia e dos tipos de solos, tem alta suscetibilidade à dinâmicas superficiais, conforme a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo (IPT, 1994), o Mapa de Erosão do Estado de São Paulo (IPT, 1995) e o Mapeamento de Áreas de Riscos Associados à Erosão do Município de Monte Alto-SP (IG, 2008).

## 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

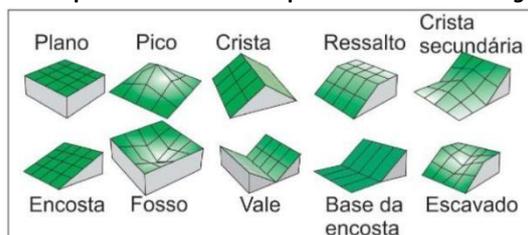
Para a determinação da fragilidade potencial e emergente, foi necessário produzir os seguintes mapas: planícies de inundação, geomorfologia, pedologia, clima e uso e cobertura da terra. Para tanto, foi realizado as seguintes operações:

### 3.2.1 MAPA DE PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO

As planícies inundáveis foram delimitadas baseadas no método empregado por Gouveia e Ross (2019), que consiste na identificação de fossos e vales, os quais devem ser recortadas em regiões onde a declividade é menor que 2%. Geralmente estas planícies se localizam próximas dos cursos hídricos e não se associam a solos não hidromórficos (JACOMINE, 2008).

Fossos e vales são formas de relevo, ou geomorphons. A identificação dos geomorphons baseou-se na aplicação realizada por Jasiewicz e Stepinski (2013). A aplicação é fundamentada na utilização da ferramenta *r.geomorphon*, que pode ser encontrada no programa QGIS (QGIS, 2021). Esta ferramenta classifica o relevo em dez tipos, os quais foram representados na Figura 2.

Figura 2: Geomorphons classificados a partir da ferramenta *r.geomorphon*



Fonte: Robaina, Trentin e Laurent (2016).

Como dado de entrada na metodologia, é necessário um Modelo Digital de Elevação (MDE), além da identificação de dois parâmetros para a sua utilização. O primeiro é o radius, que é a distância máxima dos cálculos dos ângulos e o segundo é o relief threshold, que é ângulo considerado para determinar a forma de relevo na área analisada. Seguindo a proposta de

Jasiewicz e Stepinski (2013), aplicou-se, para o radius, o valor de 60 pixels (1800 metros) e, para o relief threshold, o valor de 2°.

O MDE empregado na geração dos geomorphons foi adquirido das imagens do Shuttle Radar Topography Mission - SRTM (USGS, 2021) com resolução espacial de 30 m aproximadamente.

Após a sua delimitação, as planícies foram atribuídas à um nível de fragilidade específico, intitulado “Áreas sujeitas a inundações”, tanto para a fragilidade potencial quanto para a fragilidade emergente, conforme a proposta de Gouveia e Ross (2019).

### 3.2.2 MAPA GEOMORFOLÓGICO

O mapa geomorfológico deve ser elaborado a partir dos índices de dissecação do relevo quando a escala for menor que 1:50.000 (ROSS, 1994), que é o caso da área de interesse deste estudo.

Para a elaboração do mapa de índices de Dissecação do Relevo, utilizou-se a metodologia proposta por Guimarães et al (2017), a qual automatiza o cálculo do índice a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e do software ArcMap, utilizado na versão 10.3 (ESRI, 2013).

O MDE empregado na geração do mapa de Índices de Dissecação do Relevo foi adquirido das imagens do SRTM (USGS, 2021) com resolução espacial de 30 m aproximadamente. Após elaborado o mapa geomorfológico, ele foi classificado a partir das classes recomendadas por Ross e Fierz (2017).

### 3.2.3 MAPA PEDOLÓGICO

Para a montagem do mapa pedológico foi empregado o mapa pedológico do estado de São Paulo (ROSSI, 2017) disponibilizado em *shapefile* na escala de 1:100.000, disponível através do [sítio eletrônico: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-](https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/)

[pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/](https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/). Os dados do mapa estadual foram especializados com uso do programa ArcMap versão 10.3 (ESRI, 2013). Para a classificação dos dados de solo, foi utilizado a divisão sugerida por Ross e Fierz (2017).

### 3.2.4 MAPA DO CLIMA

O mapa de variáveis pluviométricas, foi desenvolvido a partir de postos pluviométricos situados no município de Monte Alto-SP e nos municípios vizinhos. Os postos foram obtidos a partir do banco de dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Ross e Fierz (2017) classificam o clima a partir de três parâmetros: a distribuição pluviométrica ao longo dos meses, os volumes anuais médios precipitados e o volume precipitado entre os meses de novembro e abril.

Os dados presentes nas planilhas obtidas foram analisados por meio de médias anuais e mensais. Os dados obtidos e as informações de cada posto podem ser visualizados na Tabela 1.

**Tabela 1: Postos pluviométricos empregados no presente estudo**

MUNICÍPIO (EXTENSÃO DASÉRIE HISTÓRICA)	Latitude	Longitude	PREFIXO DAEE	VOLUME ANUAL MÉDIO (mm)	MESES NO PERÍODO SECO	VOLUME PRECIPITADO ENTRE NOVEMBRO E ABRIL (%)
Cândido Rodrigues (1941-2020)	21°19'32"	48°37'53"	C5-073	1320,96	7	79
Itápolis (1970-2020)	21°35'00"	48°49'00"	C5-093	1414,03	6	76
Jaboticabal (1963-2020)	21°19'59"	48°18'59"	C5-028	1410,00	7	78
Monte Alto (1941-2020)	21°15'31"	48°29'44"	C5-070	1419,44	7	78
Taiúva (1970-2020)	21°07'08"	48°24'49"	C5-113	1376,74	7	79
Taquaritinga (1970-2020)	21°28'00"	48°37'00"	C5-105	1324,89	6	77
Vista Alegre do Alto (1969-2020)	21°09'24"	48°37'44"	C5-092	1401,72	7	79

Fonte: Elaborado pelos autores. Adaptado do DAEE (2021).

Todos os postos utilizados neste estudo tiveram o mesmo comportamento apresentado a seguir. O volume médio anual deles varia entre 1300 e 1600 mm/ano, logo a classe de fragilidade deste parâmetro é média (3). As quantidades de meses no período seco dos postos variam entre 3 a 6, logo a classe de fragilidade deste parâmetro é forte (4). O volume precipitado nos meses entre novembro e abril varia entre 70 e 80 % do total das chuvas, logo a classe de fragilidade deste parâmetro é forte (4). Por fim, pelo fato de dois parâmetros classificarem a área como forte e apenas um classificar como média, o mapa do clima do município de Monte Alto-SP foi definido como de forte fragilidade (4).

Como todos os postos (e conseqüentemente, municípios) apresentaram o mesmo comportamento, não foi preciso realizar interpolações, visto que o mapa da região tem um único valor de fragilidade.

### 3.2.5 MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA

O mapeamento do uso da terra foi gerado através do método de classificação digital, denominada classificação supervisionada por regiões, executado por meio do programa SPRING versão 5.4.3 (CAMARA et al, 1996). Foram adotadas imagens atuais do satélite Landsat 8 OLI/TIRS C2 L1, de fevereiro de 2021, obtidas no mesmo sítio eletrônico onde foi coletado o MDE (USGS, 20210). Utilizou-se a composição colorida 4B5G6R.

As bandas espectrais foram inseridas no software e devidamente registradas, e depois foi aplicado a ampliação do contraste para melhorar a qualidade visual das imagens. Antes de iniciar a classificação do uso e ocupação do solo, a partir das imagens obtidas, foi possível evidenciar que os cultivos inseridos no município não apresentavam forrageiras entre ruas, que

é um dos parâmetros utilizados para classificação dos cultivos na fragilidade ambiental (ROSS e FIERZ, 2017).

Além disto, foi analisado o mapa de uso e cobertura vegetal elaborado pelo projeto MapBiomias (2019) para o local, com a finalidade de caracterizar de melhor maneira os cultivos e pastagens, visto que eles têm extrema importância na fragilidade ambiental (ROSS e FIERZ, 2017). Desse modo, foi possível observar que os cultivos da região são mesclados entre cultivos de ciclo longo e curto com utilização de práticas conservacionistas, como cana, manga, cebola, limão, laranja, soja, milho, entre outros (BACCARIN e SOUZA, 2012; MAPBIOMIAS, 2019)

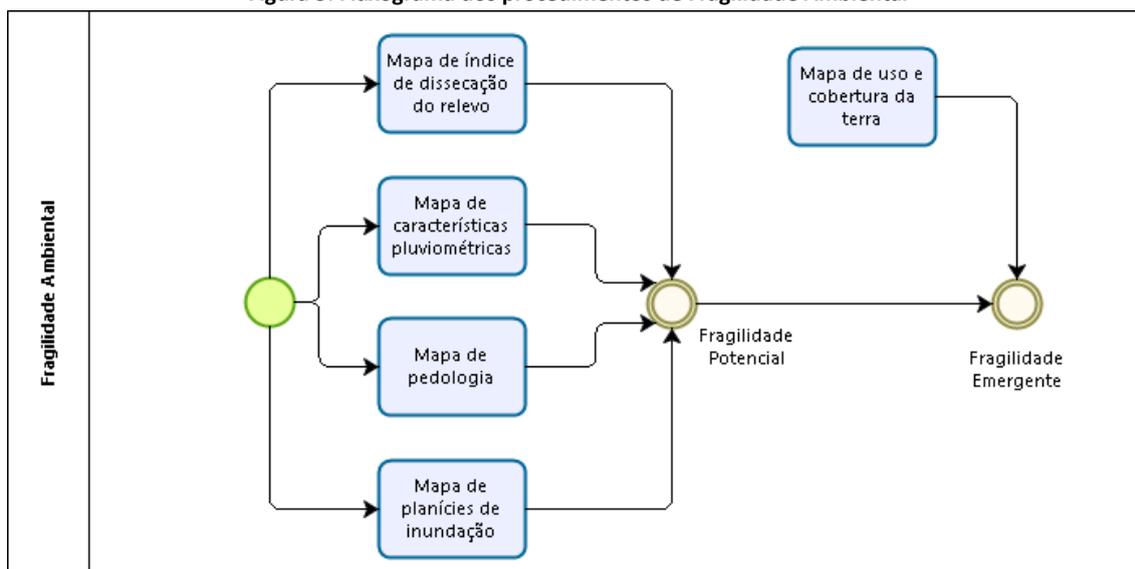
Posteriormente foi realizado a segmentação, que visa dividir as imagens em regiões espectralmente semelhantes. Foi utilizado limiar de similaridade 10 e limiar de área 30. Assim sendo, foi realizada a classificação por regiões pelo método Battacharya. Esta etapa identificou amostras e treinou o programa para identificar corretamente as classes desejadas. Foram atribuídas 6 classes amostrais de acordo com a classificação sugerida por Ross e Fierz (2017): Florestas Primárias e Secundárias, Pastagem de baixo pisoteio, Cultivo de Ciclo Longo e Curto sem forrageiras entre Ruas com práticas Conservacionistas, Solo Exposto para Cultivos, Áreas Urbanas e Corpos Hídricos. Destaca-se que estes autores não classificam áreas urbanas e corpos hídricos, logo estas classes foram classificadas de acordo com Abrão e Bacani (2018).

As inconsistências verificadas no mapa final foram corrigidas a partir do mapa elaborado pelo MapBiomias (2019), que auxiliou em identificar o local correto das pastagens, classe de difícil treinamento, uma vez que ela gera confusão na classificação com a classe dos cultivos.

### **3.2.6 MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL**

Com todos os mapas devidamente gerados, realizou-se a álgebra de mapas a partir da ferramenta raster calculator do programa ArcMap versão 10.3 (ESRI, 2013) para a geração dos mapas de fragilidade potencial e emergente. A Figura 3 apresenta o fluxograma que foi processado na álgebra de mapas desta pesquisa, conforme recomenda Ross (1994) e Gouveia e Ross (2019). Destaca-se que não houve ponderação entre os mapas nos cálculos para este método.

Figura 3: Fluxograma dos procedimentos de Fragilidade Ambiental



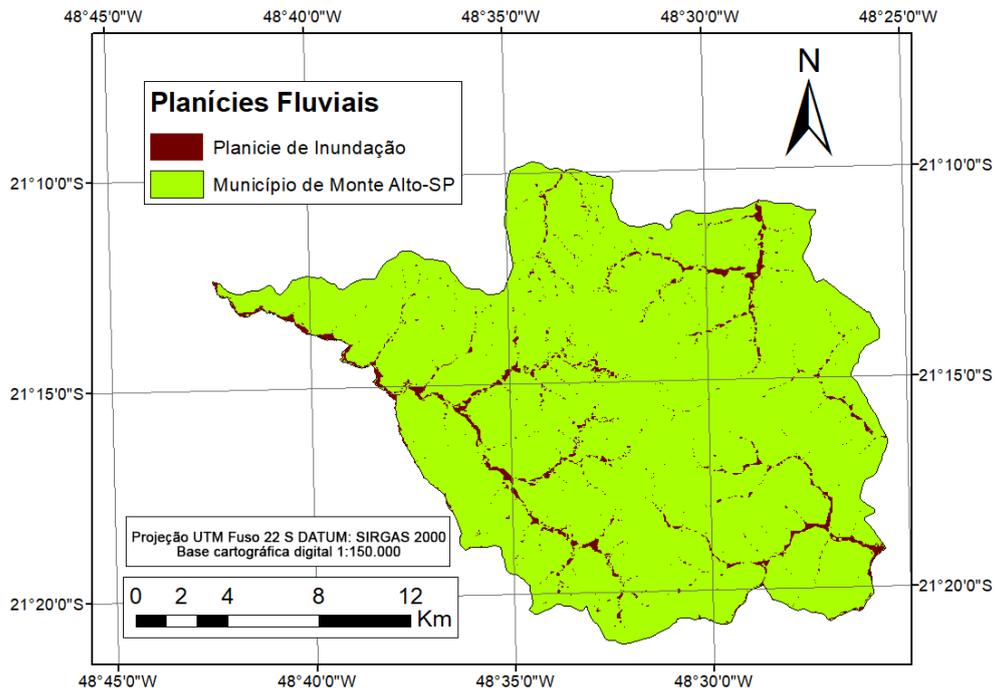
Fonte: Elaborado pelos autores.

Por fim, foi realizado um cadastramento de processos erosivos de grande magnitude com auxílio do Google Earth PRO 7.3 (GOOGLE, 2021), visando calcular a densidade de erosão por grau de fragilidade e concluir se o método utilizado representa corretamente a realidade a partir de um coeficiente de determinação linear ( $R^2$ ), conforme o método empregado por Gouveia e Ross (2019). De acordo com Carneiro et al (2017) e Rodrigues et al (2019), utilizar o Google Earth para cadastramento é extremamente útil e eficaz na identificação de erosões. As erosões obtidas pelo cadastramento foram adicionadas às erosões identificadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2012), de modo a obter mais dados para o cálculo da densidade.

## 4 RESULTADOS

A Figura 4 apresenta a planície fluvial mapeada no município de Monte Alto-SP. Observa-se que a planície representa uma área de 13,20 km<sup>2</sup>, cerca de 3,80% da área total.

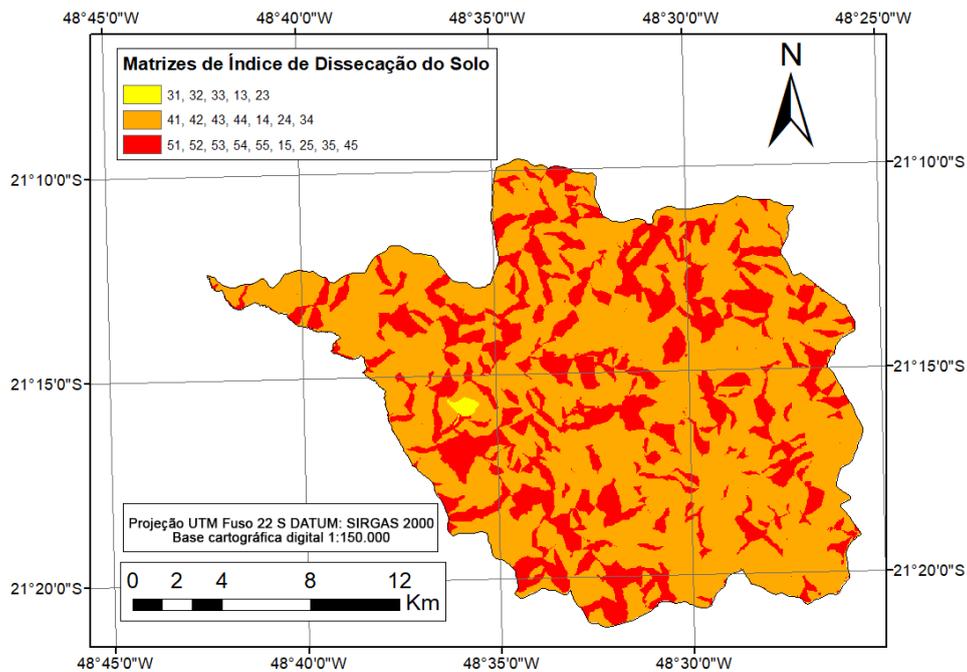
Figura 4: Planície fluvial do município de Monte Alto-SP



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 5 apresenta as matrizes de índices de dissecação do relevo para o município estudado. A Tabela 2 expõe as matrizes, suas quantificações e níveis de fragilidade.

Figura 5: Matrizes de índices de dissecação do relevo do município de Monte Alto-SP



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 2: Matrizes do Índice de Dissecação do Relevo, quantificação e classes de fragilidade**

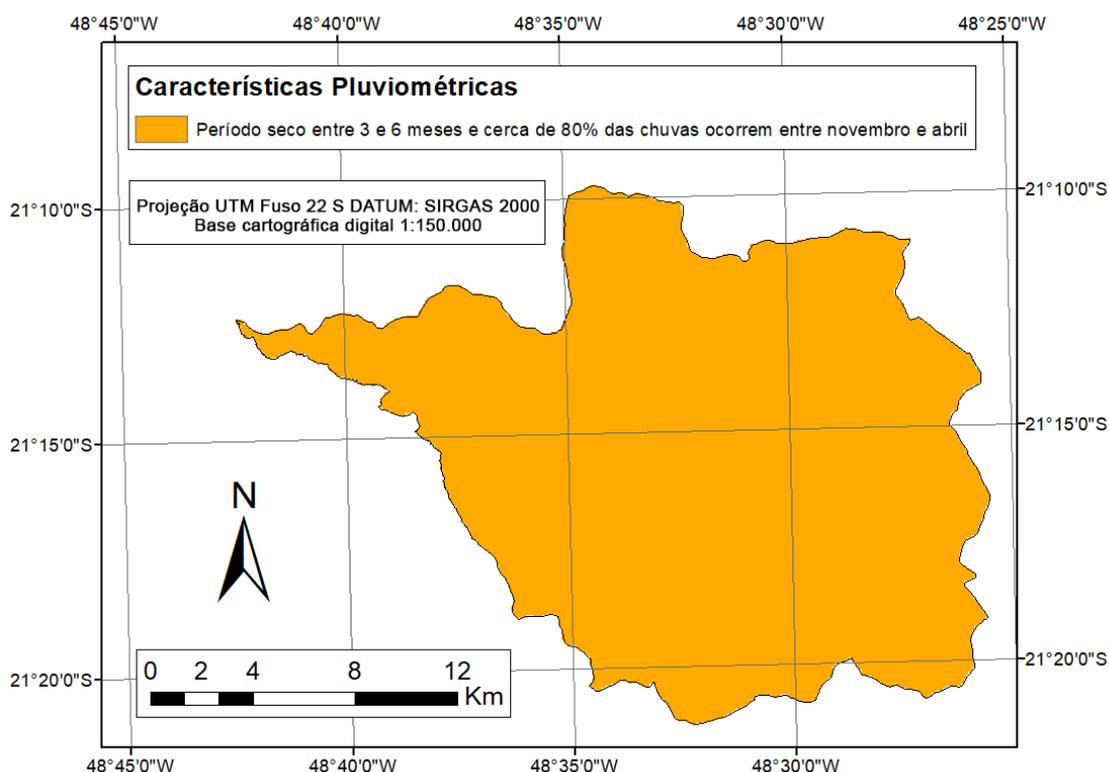
Matrizes de Índice de Dissecação do Relevo	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)	Nível de Fragilidade
31, 32, 33, 13, 23	0,82	0,24	Média – 3
41, 42, 43, 44, 14, 24, 34	250,17	72,04	Forte – 4
51, 52, 53, 54, 55, 15, 25, 35, 45	96,26	27,72	Muito Forte - 5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foi possível identificar que cerca de 99,76% do município de Monte Alto-SP é composto por um relevo com forte ou muito forte dissecação, o que traduz em entalhamento dos vales maiores que 80 m e dimensão interfluvial média menor que 750 m (BERTOLINI e DEODORO, 2018).

A Figura 6 apresenta a característica pluviométrica observada na região, que caracteriza o clima do local com uma classe de forte fragilidade (ROSS e FIERZ, 2017).

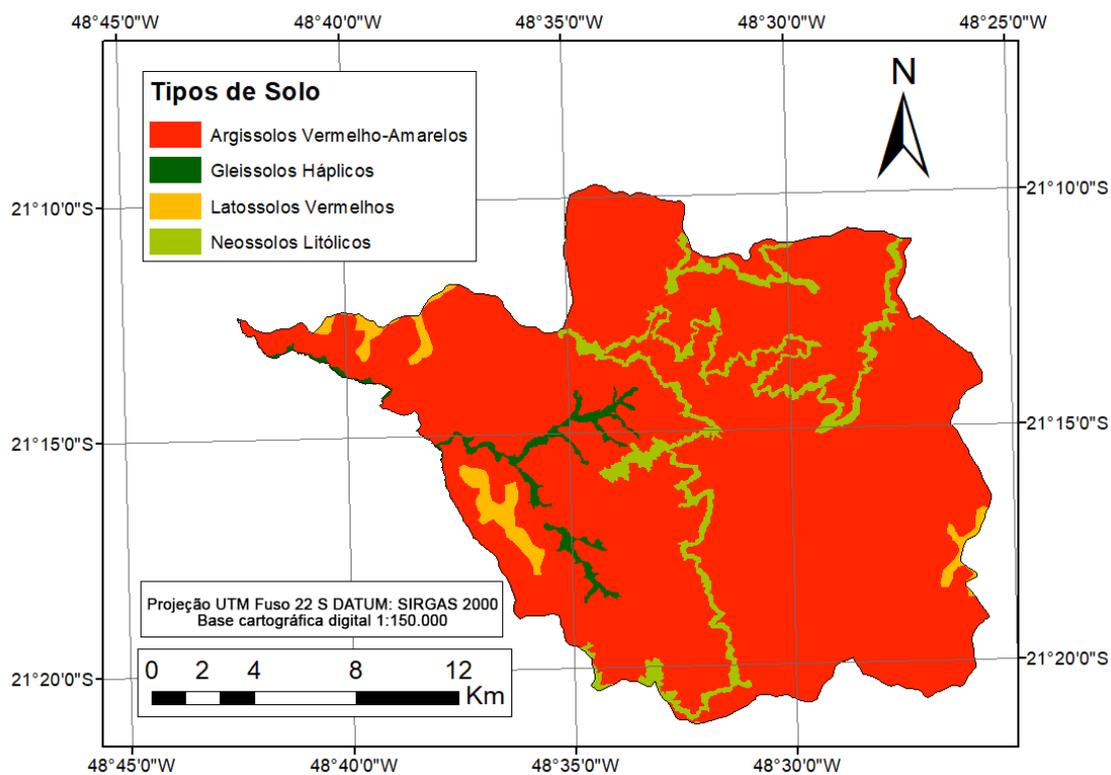
**Figura 6: Características pluviométricas do município de Monte Alto-SP**



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 7 apresenta os tipos de solos para o município estudado. A Tabela 3 expõe os solos, suas quantificações e níveis de fragilidade.

Figura 7: Tipos de solos do município de Monte Alto-SP



Fonte: Elaborado pelos autores.

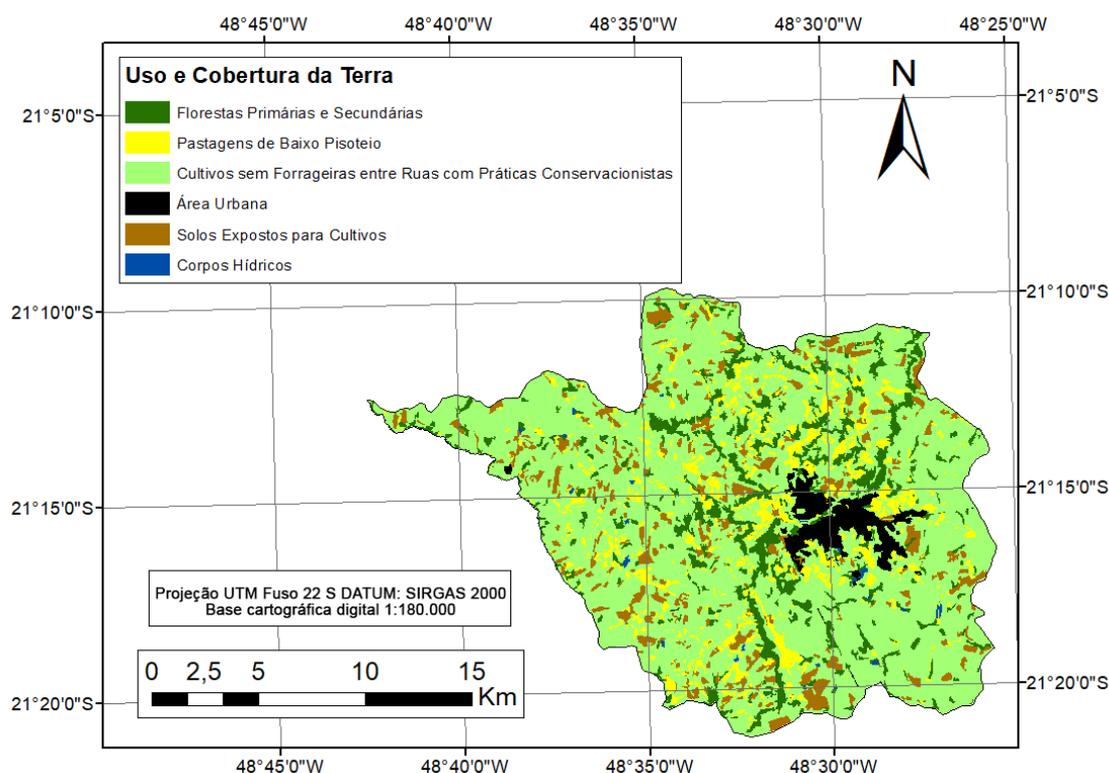
Tabela 3: Tipos de solo, quantificação e classes de fragilidade

Tipos de Solo	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)	Nível de Fragilidade
Latossolos Vermelhos, Textura Média-Argilosa	7,43	2,14	Fraca – 2
Argissolos Vermelho-Amarelos, Textura Média-Arenosa	312,52	90,00	Média – 3
Neossolos Litólicos, Textura Média-Arenosa	21,15	6,09	Muito Forte – 5
Gleissolos Hápicos	6,15	1,77	Muito Forte – 5

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 8 apresenta o uso e cobertura da terra para Monte Alto-SP. A Tabela 4 expõe as classes do uso e cobertura da terra, suas quantificações e níveis de fragilidade.

**Figura 8: Classes de uso e cobertura da terra do município de Monte Alto-SP**



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 4: Classes de uso da terra, quantificação e classes de fragilidade**

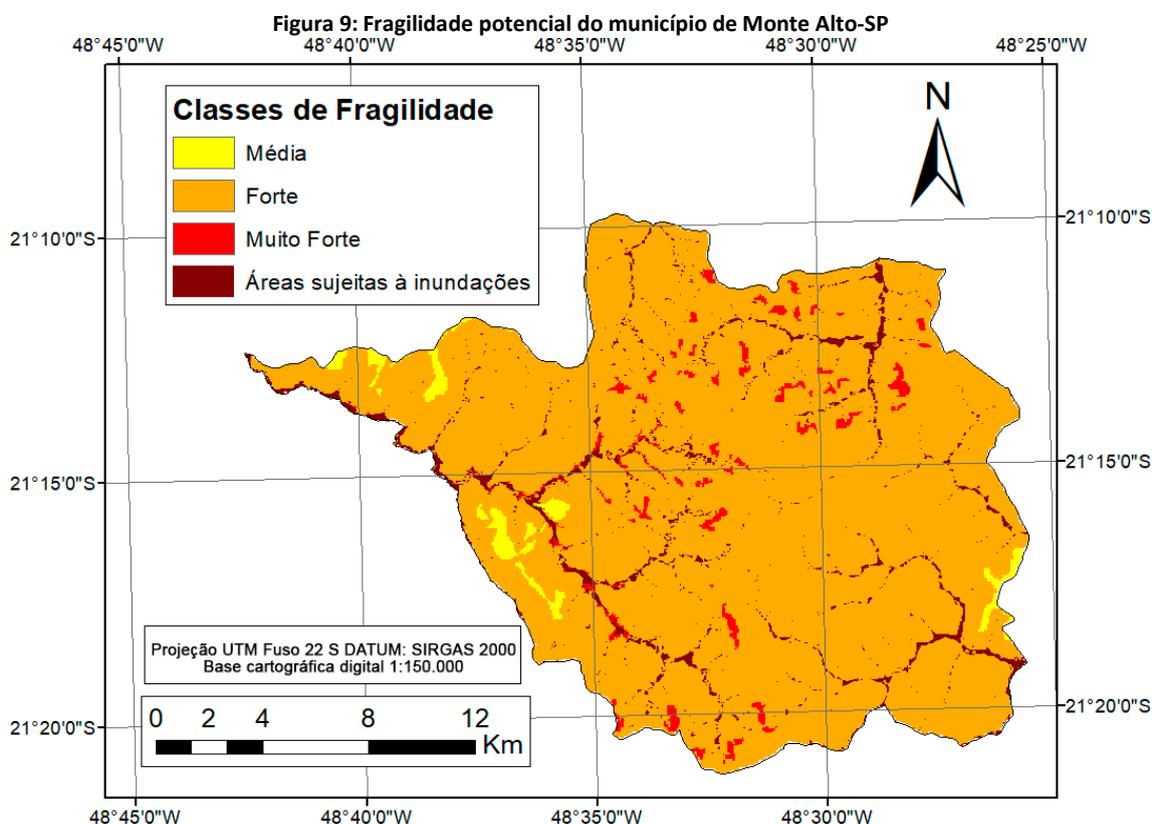
Classes de uso da terra e cobertura vegetal	Área(km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)	Nível de Fragilidade
Florestas Primárias e Secundárias	38,46	11,08	Muito Fraca – 1
Pastagens com Baixo Pisoteio	32,78	9,44	Média – 3
Cultivos sem Forrageiras entre Ruas com práticas Conservacionistas	235,98	67,96	Forte – 4
Área Urbana	11,92	3,43	Muito Forte – 5
Solos Expostos para Cultivos	27,09	7,80	Muito Forte – 5
Corpos Hídricos	1,02	0,29	Muito Forte – 5

Fonte: Elaborado pelos autores.

O município de Monte Alto-SP apresenta uma estrutura fundiária constituída por um expressivo número de pequenos estabelecimentos rurais, com cerca de 306 km<sup>2</sup> de área destinada a cultivos diversos (BACCARIN e SOUZA, 2012). Por isto, nota-se que a classificação foi bem-sucedida, visto que a somatória das classes Pastagens, Cultivos e Solos Expostos (que compõem as áreas rurais), nesta classificação, vale 295,85 km<sup>2</sup>.

Analisando o uso e ocupação da terra nas áreas sujeitas à inundações, foi observado que cerca de 85% do uso da terra nessas planícies são relacionadas à agropecuária (cultivos, pastagens e solos expostos), o que denota alto risco econômico e ambiental nestes locais.

A Figura 9 apresenta o mapa gerado da fragilidade potencial. A Tabela 5 apresenta os graus de fragilidade potencial, as áreas sujeitas à inundações e suas respectivas quantificações.



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 5: Quantificação dos graus de fragilidade potencial e áreas sujeitas à inundações para Monte Alto-SP**

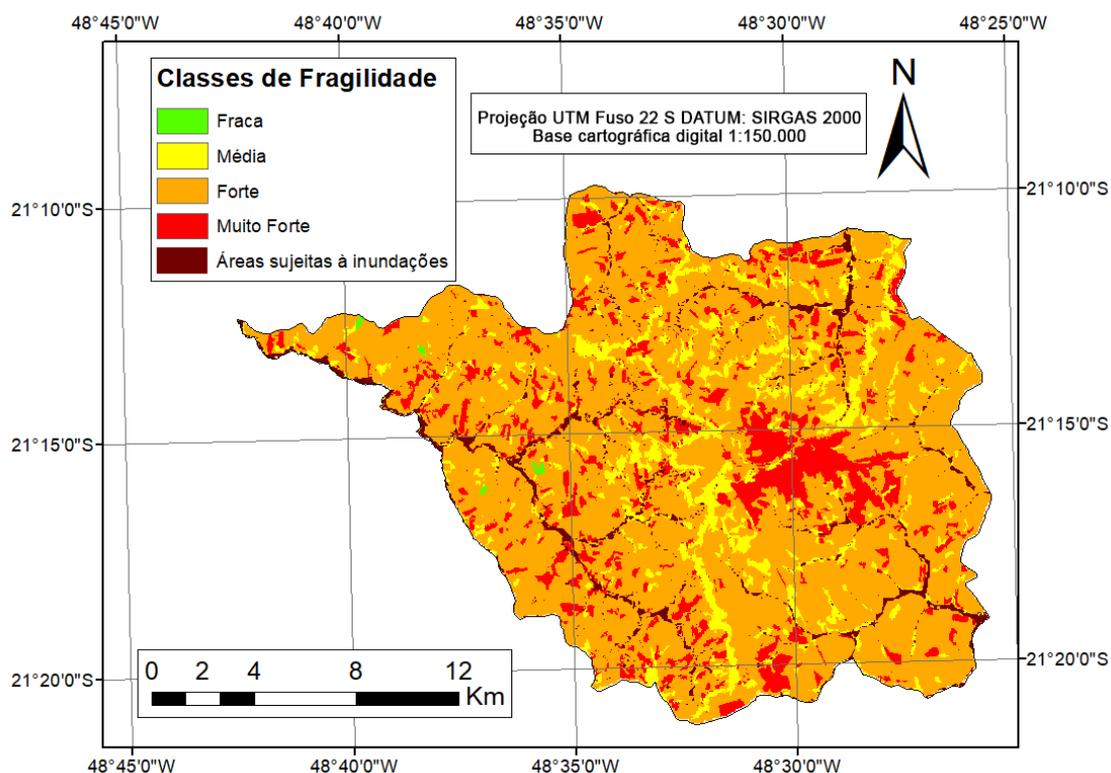
Grau de fragilidade potencial	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Média	5,90	1,70
Forte	320,47	92,29
Muito Forte	7,68	2,21
Áreas sujeitas à inundações	13,20	3,80

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observou-se que a fragilidade potencial que predomina no município é a forte, evidenciando a alta fragilidade natural do terreno. As regiões de média fragilidade estão associadas aos Latossolos Vermelhos, enquanto que as regiões de forte e muito forte fragilidade estão associadas com aos Gleissolos, Neossolos e aos altos índices de dissecação do relevo. As áreas sujeitas à inundações se localizaram próximos dos cursos hídricos além de não se associarem com os solos não hidromórficos da região (neossolos), como esperado.

Posteriormente, foi gerado o mapa de fragilidade emergente. O mapa desenvolvido pode ser observado na Figura 10, assim como as informações numéricas podem ser visualizadas na Tabela 6.

Figura 10: Fragilidade emergente do município de Monte Alto-SP



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 6: Quantificação dos graus de fragilidade emergente e áreas sujeitas à inundações para Monte Alto-SP

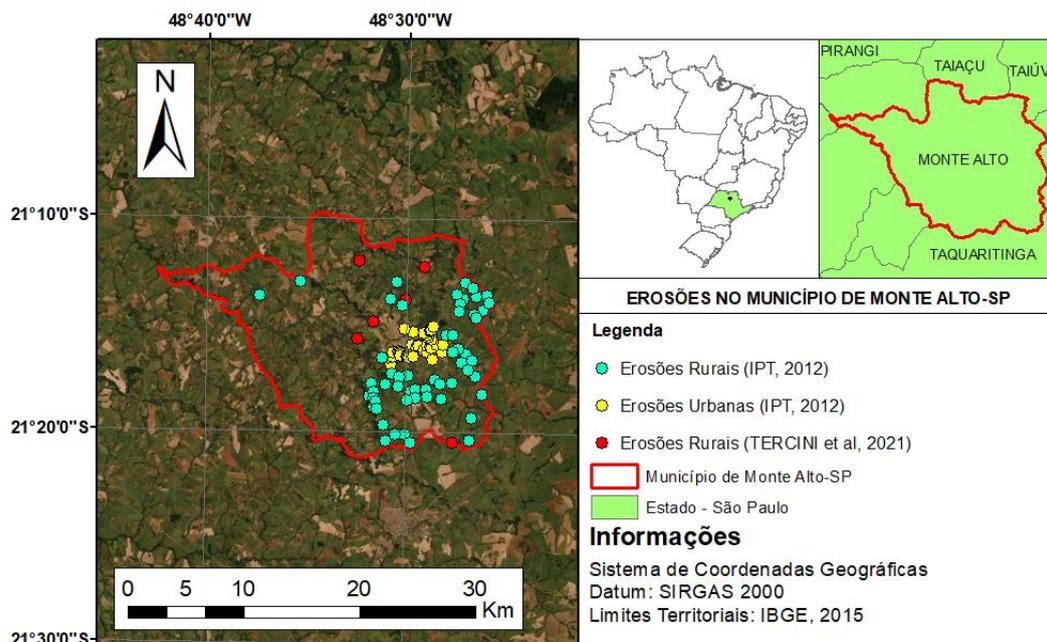
Grau de fragilidade potencial	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Fraca	0,42	0,12
Média	34,42	9,91
Forte	255,50	73,58
Muito Forte	43,71	12,59
Áreas sujeitas à inundações	13,20	3,80

Fonte: Elaborado pelos autores.

O grau de fragilidade emergente que predominou na região estudada foi a forte, assim como na fragilidade potencial. Foi possível verificar que a fragilidade fraca ocorre apenas nas áreas que compartilham as classes dissecação do relevo média, argissolos e florestas. A fragilidade média ocorre nas regiões ocupadas pelas florestas com dissecação do relevo forte e muito forte. A fragilidade forte ocorre na maioria das áreas ocupadas pelas classes cultivos e pastagens, independente das características do relevo e do solo e a fragilidade muito forte ocorre na maioria das áreas ocupadas pelas classes área urbana, solo exposto e corpos hídricos, independente das características do relevo e do solo. Por fim, as áreas sujeitas à inundações situaram-se, majoritariamente, nas áreas de forte fragilidade, denotando que a análise intrinsecamente indicou que estas áreas contém alta fragilidade.

A identificação de erosões pelo Google Earth e as erosões levantadas pelo IPT (2012) foram apresentadas na Figura 11. Houveram diversas erosões levantadas pelo IPT que coincidiram com as identificadas neste estudo e, para melhor visualização, estas foram apresentadas como erosões do IPT.

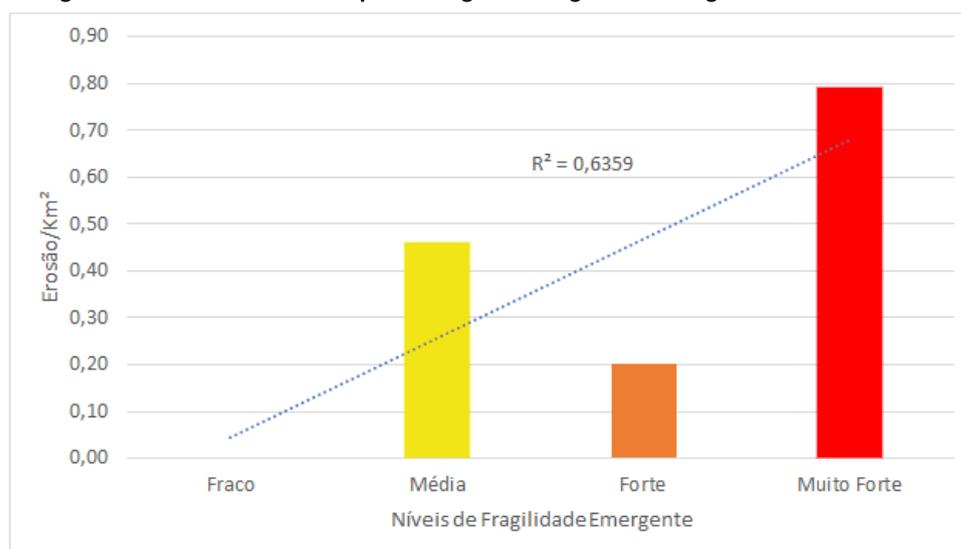
Figura 11: Erosões de grande magnitude levantadas e cadastradas para o município de Monte Alto-SP



Fonte: Elaborado pelos autores. Adaptado de IPT (2012).

O cálculo da densidade de erosão para cada classe de fragilidade emergente obtida foi exposto na Figura 12.

Figura 12: Densidade de erosão para cada grau da fragilidade emergente de Monte Alto-SP



Fonte: Elaborado pelos autores.

A metodologia utilizada neste trabalho apresentou bons ajustes para as classes fraca, média e muito forte de fragilidade emergente, porém, a classe forte apresentou desconformidade em relação à densidade de erosão. Deste modo, o  $R^2$  da metodologia empregada neste trabalho foi de 0,6359.

O trabalho de Pereira e Gouveia (2019) aceita valores de  $R^2=0,75$  como satisfatórios, enquanto que o trabalho de Gouveia e Ross (2019) discute que um  $R^2=0,8427$  é considerado aceitável, ao mesmo tempo que  $R^2$  menores que 0,3503 podem apresentar discrepâncias. Deste modo, observa-se que o método desenvolvido nesta pesquisa teve resultados satisfatórios.

Com os resultados obtidos através da fragilidade emergente e cálculo da densidade dos processos erosivos, foi possível apresentar propostas de um zoneamento ambiental a partir do uso e ocupação da terra. O Quadro 1 expõe as propostas, as quais visam garantir a conservação e qualidade ambiental dos recursos naturais de Monte Alto-SP.

**Quadro 1: Propostas de zoneamento ambiental para o município de Monte Alto-SP**

Zona (Grau de Fragilidade Ambiental)	Fatores Ambientais	Fatores Antrópicos	Diagnóstico	Proposta para gestão e manutenção
<b>Zona de baixa restrição ao uso (Fraca).</b>	Presença de Latossolos e relevo com dissecação forte.	Não consta.	Área com boa proteção ambiental, visto que nenhum processo erosivo foi constatado nesta região.	Introdução de cultivos com práticas conservacionistas e pastagens com baixo pisoteio.
<b>Zona de média restrição ao uso (Média e Forte).</b>	Presença de Neossolos, Argissolos e Gleissolos e relevo com dissecação forte.	Pastagens e Cultivos.	Área com média proteção ambiental, com densidade de erosão variando entre 0,20 à 0,46 erosões/km <sup>2</sup> .	Manejar corretamente as pastagens, mantendo o baixo pisoteio e manter práticas conservacionistas nos cultivos.
<b>Zona de alta restrição ao uso (Muito Forte).</b>	Presença de Neossolos, Argissolos e Gleissolos e relevo com dissecação muito forte.	Cultivos, Solos Expostos, Áreas Urbanas e Reservatórios/Lagos.	Área com baixa proteção ambiental, com densidade de erosão de aproximadamente 0,79 erosões/km <sup>2</sup> .	Manter as práticas conservacionistas nos cultivos, substituir os solos expostos por cultivos e vegetação arbórea. Recomenda-se que a expansão urbana ocorra no sentido norte e noroeste da zona urbana, por serem regiões com menores fragilidades ao redor da área urbana.
<b>Zona de recuperação de áreas de preservação permanente (Áreas Sujeitas à Inundações).</b>	Presença de Gleissolos e Argissolos e relevo com dissecação forte.	Pastagens, cultivos e solos expostos.	Área com baixa proteção ambiental, visto a possibilidade de inundação.	Substituir o uso da terra antrópica por vegetações arbóreas, recompondo áreas de preservação.

Fonte: Elaborado pelos autores.

### 5 CONCLUSÕES

De maneira geral, o estudo obteve resultados que tornaram possível verificar que o município de Monte Alto-SP é localizado em uma região onde predominam classes de maior fragilidade ambiental. Observou-se que o grau predominante para as fragilidades potencial e emergente foi a forte.

Por conta da dissecação do relevo, a fragilidade potencial é bastante homogênea e agressiva, distribuída praticamente apenas no grau de fragilidade forte. Por conta disto, a fragilidade emergente, para a região estudada, está associada diretamente com o uso da terra e cobertura vegetal. As áreas sujeitas à inundações se localizam principalmente em regiões de forte fragilidade. Isto evidenciou que o método empregado classificaria devidamente estas áreas mesmo que as planícies de inundação não tivessem sido determinadas.

Finalmente, os resultados obtidos a partir da utilização de geotecnologias e dos métodos adaptados de fragilidade ambiental no município de Monte Alto-SP se mostraram eficazes e satisfatórios. A partir dos mapas gerados, foi recomendado propostas de zoneamento ambiental a partir de sugestões de usos da terra e cobertura da vegetação para auxiliar na gestão e qualidade ambiental da região.

Como recomendação para um próximo trabalho, sugere-se que sejam empregados métodos modificados de fragilidade ambiental em Monte Alto-SP para verificar se algum deles obtenha um coeficiente de determinação linear semelhante ou superior ao obtido neste trabalho.

### 6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, C. M. R.; BACANI, V. M. Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 619-645, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/56362>. Acesso em: 25 mai. 2021.

BACCARIN, J. G.; SOUZA, J. G. Um questionamento sobre a capacidade explicativa do conceito de “pluriatividade” em uma região de pequena agricultura diversificada. **Geografia**, v. 37, n. 1, p. 19-31, 2012.

BERTOLINI, W. Z.; DEODORO, S. C. Estudo da dissecação do relevo no alto rio Piranga (MG). **Geociências (São Paulo)**, v. 37, n. 1, p. 183-192, 2018.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO. SPRING: **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. *J Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun

CARNEIRO, A. F. S.; DE FARIA, K. M. S.; NETO, G. B. S. Identificação de processos erosivos em Figuras de alta resolução no município de Goiânia. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, 2017, p. 5697-5702.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001. 124 p.

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M.; AYACH, L. R. Geoprocessamento aplicado à análise da fragilidade ambiental. **Revista da ANPEGE**, v. 12, p. 89-105, 2013. Disponível: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6486/0>. Acesso

## Fórum Ambiental da Alta Paulista

ISSN 1980-0827 – Volume 17, número 5, 2021

em: 02 mai. 2021.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Banco de dados hidrológico**, 2021. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>. Acesso em: 20 mai. 2021.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **ArcGIS for Desktop - ArcMap**. Versão 10.3, 2013. Disponível em: <https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/index>. Acesso em: 20 mai. 2021.

GOOGLE. **Google Earth PRO**, versão 7.3. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em: 20 mai. 2021.

GOUVEIA, I. C. M. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental: uma proposta de aplicação de geomorphons para a variável relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 123-136, 2019.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p. 155-167, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Mapa geológico do estado de São Paulo**. São Paulo, 1994. (IPT. Publicação 2089).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Mapa de erosão do Estado de São Paulo, SP**. São Paulo, 1995. (IPT. Relatório, 33.402).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo**, Relatório Técnico n° 131.057-205, v.2, 2012.

INSTITUTO GEOLÓGICO – IG. **Mapeamento das áreas de riscos associados à erosão do município de Monte Alto**, Termo de Cooperação Técnica IG-CEDEC de 01/11/2007, v. 1, São Paulo, 2008.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 5, p. 161-179, 2008.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons – a patterns recognition approach to classification and mapping of lanforms. **Geomorphology**, n. 182, p. 147-156, 2013.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G; CAMPOS, K. C; LUCHIARI, A; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. *In*: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais [...]**.Goiânia: INPE, 2005. p. 2205-2210.

KOPPEN, W. **Climatologia com um estúdio de los climas de la Tierra**. México: Fundo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

PEREIRA, G. S.; GOUVEIA, I. C. M. C. Suscetibilidade á erosão linear no município de Álvares Machado-SP. **Revista GeoUECE (Online)**, v. 8, n. 15, p. 111-123, jul./dez. de 2019. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/2170>. Acesso em: 29 jul. 2021.

PROJETO MAPBIOMAS - MAPBIOMAS. **Coleção 5.0 - Mata Atlântica - MapBiomias**, 2019. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em: 25 mai. 2021.

QGIS Development Team - QGIS. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.16.9. Open Source GeospatialFoundation, 2021. Disponível em: [https://qgis.org/pt\\_BR/site/](https://qgis.org/pt_BR/site/). Acesso em: 25 mai. 2021.

ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de Geomorphons obtidos em Classificação Topográfica Automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia (Online)**, v. 17, n. 2, São Paulo, p 287-298, 2016.

RODRIGUES, L. T. et al. Mapeamento Aplicado a Estudo de Processos Erosivos às Margens da TO-010, Localizados no Trecho Entre Wanderlândia e Babaçulândia. *In: Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste*, 5., 2019, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: GEOCENTRO, 2019. p. 24-25.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH.SP, São Paulo, v. 8, 1994. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327/51063>. Acesso em: 03 mai. 2021

ROSS, J. L. D.; FIERZ, M. de S. M. Geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental territorial: potencialidades e fragilidades. *In: MAGNONI JÚNIOR, L. et al. (orgs) Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano*. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017, pp. 58-77.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal. 2017, v. 1, p. 118. Disponível em: <https://twixar.me/NcRm>. Acesso em: 17 maio 2021.

SCHIAVO, B. N. V.; HENTZ, A. M. K.; CORTE, A. O. D.; SANQUETTA, C. R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria—RS. **REGET - Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, UFSM, Santa Maria, n° 1, p. 464-474, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19981>. Acesso em: 02 mai. 2021.

SILVA, I. M. B. D. **Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Bebedouro (BHCB), Três Lagoas e Selvíria/MS, em 2019**. 148f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2020.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP- Espaço e Tempo**, v. 15, p. 39-49, 2004. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123868/120045>. Acesso em: 02 mai. 2021.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 185f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2007.

USGS Data Center SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). **Earthexplorer**. 2021. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: 20 mai. 2021.