



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## **Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes – MG**

Denise Silva Leão de Souza<sup>1</sup>; Felipe Lanzoni Dellargine<sup>2</sup>; Ítalo Rafael Costa de Mira<sup>3</sup>; Gabriel Teófilo Guedes Silva<sup>4</sup>; Márcio Luiz da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduada em Gestão Ambiental - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes. <sup>2</sup>Graduado em Gestão Ambiental - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes. <sup>3</sup>Graduando em Engenharia Ambiental - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes. <sup>4</sup>Licenciado em Ciências Biológicas - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes e Mestrando em Geociências – UNICAMP. <sup>5</sup>Doutor em Geologia – UNICAMP. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes. E-mail: marcgeo10@yahoo.com.br (Autor correspondente).

Artigo Submetido em 24/06/2020 e aceite em 09/10/2020

### **RESUMO**

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a fragilidade ambiental potencial e emergente do Município de Inconfidentes - MG, baseado no método prescrito por Ross (2012). A metodologia abrangeu, além de atividades de campo, interpolação geoestatística, processamento digital de imagens e análise geoespacial, por meio de álgebra de mapas. Após mapeamento, foram definidas as classes e graus de fragilidade para as variáveis unidades litoestratigráficas, declividades, precipitação pluviométrica, solos e classes de uso da terra e cobertura vegetal. O índice de dissecação do relevo foi determinado segundo a literatura especializada. Os mapeamentos de fragilidade ambiental potencial (FAP) e emergente (FAE) foram obtidos a partir da média ponderada das variáveis geoambientais com seus respectivos pesos. Os resultados demonstraram que cerca de 70% do município possui fragilidade ambiental com classe média, tanto potencial quanto emergente. Os altos índices de fragilidade com classe forte relacionaram-se com as áreas próximas ao leito fluvial do Rio Mogi Guaçu, regiões mais frágeis e propícias aos processos de degradação ambiental. Os estudos de fragilidade emergente, por considerarem as intervenções humanas no meio, exigem, a curto prazo, ações na busca de preservação ambiental, visando evitar a degradação e desestabilização dos sistemas naturais. Considerado políticas conservacionistas e preservacionistas, os estudos de fragilidade com índice de dissecação do relevo (FAPidr e FAEidr) se mostraram mais eficientes para fundamentar estudos de planejamento, zoneamento e gestão ambiental.

Palavras-chave: Álgebra de mapas, análise geoespacial, índice de dissecação do relevo, interpolação geoestatística, processamento digital de imagens.

### **Analysis and Mapping of Environmental Fragility in the Municipality of Inconfidentes - MG**

#### **ABSTRACT**

This research aimed to analyze the potential and emerging environmental fragility of the Municipality of Inconfidentes - MG, based on the method prescribed by Ross (2012). The methodology included, in addition to field activities, geostatistical interpolation, digital image processing and geospatial analysis, through map algebra. After mapping, the classes and degrees of fragility were defined for the variables lithostratigraphic units, slopes, rainfall, soils and classes of land use and vegetation cover. The relief dissection index was determined according to the specialized literature. The mappings of potential environmental fragility (PEF) and emerging (EEF) were obtained from the weighted average of the geoenvironmental variables with their respective weights. The results showed that about 70% of the municipality has environmental fragility with medium class, both potential and emerging. The high rates of fragility with strong class were related to the areas near the riverbed of the Mogi Guaçu River, more fragile regions and conducive to environmental degradation processes. Studies of emerging fragility, because they consider human interventions in the environment, require, in the short term, actions in the search for environmental preservation, aiming to avoid the degradation and destabilization of natural systems. Considering of conservation and preservationist policies, the studies of fragility with relief dissection index (PEFrdr and EEFrdr) proved more efficient to support studies of planning, zoning and environmental management.

Keywords: Map algebra, geospatial analysis, relief dissection index, geostatistical interpolation, digital image processing.

## Introdução

Toda e qualquer alteração nos componentes da natureza (relevo, solo, clima, vegetação e recursos hídricos) pode acarretar desequilíbrio e comprometimento da funcionalidade do sistema, desestabilizando, assim, seu estado de equilíbrio dinâmico.

Nesse contexto e considerando as concepções da ecodinâmica, Ross (2012) analisa o meio ambiente sob o prisma da teoria geral dos sistemas, que parte do pressuposto de que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes. Face a isso, o ato de planejar, bem como a gestão ambiental, numa política que busca aliar o desenvolvimento com a preservação e conservação da natureza, passa a exigir o conhecimento das fragilidades potenciais e emergentes do meio.

Dessa forma, os mapas de fragilidades e potencialidades ambientais são de extrema importância no contexto do planejamento territorial ambiental de diferentes escalas e direcionados, sobretudo, para os zoneamentos ambientais e estabelecimentos de unidades de conservação ambiental e de preservação ecológica (Ross, 2012). “O mapeamento da fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições” (Schiavo et al., 2016, p. 465).

O Município de Inconfidentes - MG possui uma grande extensão rural se comparada com o perímetro urbano. A economia, além do comércio e indústria têxtil, se fundamenta no setor primário, destacando as atividades agropecuárias, com a produção de café, alho, leite, milho, bucha vegetal, banana e feijão (Silva, Silva e Leonardi 2015).

Considerando o exposto e tendo em vista que Inconfidentes encontra-se inserido numa área de intensa utilização do solo pelas práticas agrícolas, o objetivo do presente trabalho foi o de analisar as diferentes classes e graus de fragilidade ambiental potencial e emergente do município, baseado na metodologia prescrita por Ross (2012), como pressupostos para um melhor planejamento e a gestão ambiental.

Entender a concepção, aplicação e alcance dos estudos de fragilidade ambiental se tornam fundamentais para a busca do equilíbrio entre economia e meio ambiente, sobretudo no cenário atual de avanço dos países emergentes.

Estudos sobre a fragilidade ambiental constituem importantes ferramentas no diagnóstico e estudos de conservação e planejamento ambiental e territorial, tanto em escala regional quanto local (Bacani, 2015; Trevisan e Moschini, 2016; Valle, Francelino e Pinheiro, 2016; França, Piuzeana e Ross, 2017; Martins et al., 2018; Gouveia e Ross, 2019).

A análise da fragilidade ambiental no Município de Inconfidentes propicia o diagnóstico das diferentes categorias de fragilidades dos sistemas naturais, além de constituir-se em importante instrumento no processo de planejamento e gestão ambiental, fundamentais nas tomadas de decisão.

## Fragilidade ambiental

Vários autores têm discutido, ao longo do tempo, o sentido e abrangência do conceito de fragilidade ambiental, bem como buscando aplicá-lo em diferentes estudos, verificando a eficácia e eficiência da integração dessa temática em pesquisas envolvendo planejamento, gestão e zoneamento ambiental, sobretudo no Brasil (Bacani, 2015; Garófalo e Ferreira, 2015; Neto e Fernandes, 2015; Santos, 2015; Schiavo et al., 2016; Trevisan e Moschini, 2016; Valle, Francelino e Pinheiro, 2016; França, Piuzeana e Ross, 2017; Guirra, 2017; Dias e Cirilo, 2018; Martins et al., 2018; Gouveia e Ross, 2019; dentre outros). Um dos pesquisadores pioneiros nos estudos de fragilidade ambiental, fruto de uma releitura e aplicação dos conceitos e princípios da ecodinâmica no país, foi o geógrafo Jurandyr Ross, na década de 90.

Segundo Santos (2015) as pesquisas voltadas para a temática dos princípios da ecodinâmica, como os estudos de fragilidade, tem como objetivo principal a classificação dos ambientes para que as intervenções antrópicas realizadas estejam de acordo com as potencialidades e limitações dos recursos naturais à ocorrência de riscos ambientais. Bacani (2015) lembra que as unidades naturais integradas em sua totalidade e tratadas de forma sistêmica possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas de fragilidade dos ambientes naturais.

Destarte, a elaboração de mapas de fragilidades ambientais pode se constituir como uma grande ferramenta para órgãos públicos e estudos de planejamento territorial, em escala regional ou local (Valle, Francelino e Pinheiro 2016). Deve-se ressaltar que a fragilidades perante as intervenções antrópicas pode ser maior ou menor em função das características genéticas dos

ambientes naturais (Ross, 2012). O autor ressalta, ainda, que os estudos integrados de determinados territórios exigem a compreensão da dinâmica de funcionamento do ambiente natural, seja com ou sem as interferências antrópicas.

Nos estudos de análise das fragilidades ambientais são utilizados cinco categorias ou variáveis de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, climatológica, biogeográfica e de uso e ocupação do solo: grupos de rochas, relevo (declividade e índice de disseção), classes de solos, taxa de precipitação média anual, uso da terra e cobertura vegetal (Ross, 2012). O autor ressalta que a combinação dessas variáveis e seus respectivos graus ou graduações possibilita a geração de um produto síntese, com diferentes fragilidades dos ambientes, definidas como potenciais ou emergentes.

Nesse sentido, baseado nos princípios da ecodinâmica e em estudos geomorfológicos elaborados por diversos autores, além da integração das variáveis, define-se duas categorias ou dimensões de fragilidades, classificando-as em cinco níveis hierárquicos, que variam entre muito baixa (grau 1) a muito forte (grau 5): fragilidade potencial e emergente

As unidades de fragilidade potencial estão associadas à fragilidade natural do ambiente, que embora estejam em equilíbrio, possuem instabilidade potencial face às modificações provocadas pelas atividades humanas. Nesta são considerados fatores naturais da paisagem como os grupos de rochas, os elementos morfológicos e morfométricos vinculados à geomorfologia (declividade e/ou índice de dissecação do relevo), as classes de solos, elementos e fatores climáticos.

A fragilidade emergente, além de considerar os elementos naturais inerentes à fragilidade potencial (rocha, relevo, solo e clima) considera também as intervenções antrópicas, no uso da terra e na interferência da cobertura vegetal.

Ross (2012) sistematizou uma nomenclatura e hierarquia para a fragilidade ambiental, tanto potencial quanto emergente: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Estes códigos (representados por números arábicos de 1 a 5) propõem que cada uma destas variáveis seja hierarquizada em cinco classes de acordo com suas potencialidades e fragilidades ambientais. Fragilidades muito baixas possuem elevado potencial de usos diversos e as muito altas, baixos potenciais de usos produtivos. Os mapas de fragilidades são de extremo interesse para a aplicação aos projetos de planejamento de diferentes escalas e direcionados, sobretudo, para

zoneamentos e estabelecimentos de unidades de conservação ambiental e de preservação ecológica.

## Material e métodos

### *Caracterização da área de estudo*

O Município de Inconfidentes, localizado no sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1), possui uma altitude média de 869 metros e clima tropical de altitude, abrangendo uma área de aproximadamente 149 km<sup>2</sup>, ocupada por diversas classes de usos e coberturas da terra.

Segundo Souza e Silva (2016) a geologia do município possui litologias com idades Neoproterozóicas, Paleoproterozóicas, Neoarqueanas e Cenozóicas. A maior parte do território municipal se encontra em formações geológicas resultantes de dobramentos antigos ocorridos no Brasil. As principais formações são os complexos granitóides, graníticos-gnáissicos, sequências vulcanossedimentares e depósitos fluviais ou flúvio-lacustres. A composição e estruturas das rochas dessas formações, além de influenciar na velocidade e intensidade do intemperismo, imprimem características físico-químicas peculiares nos solos oriundos dessas unidades geológicas.

Quanto ao relevo, a maior porção do Município de Inconfidentes se encontra nas unidades geomorfológicas de serras, representada pelas Serras da Mantiqueira. Destaca-se também o Planalto Poços de Caldas e a Planície do Rio Mogi no quadro geomorfológico do município (Souza e Silva, 2016). Não obstante, o município está inserido, em sua maior parte, numa geomorfologia regional representada por um recorte da Serra da Mantiqueira, a qual apresenta relevo de mares de morros, que se distribui de forma generalizada e homogêneo por toda a província da Mantiqueira, predominando amplitudes locais de 100 a 300 metros e encosta superiores a 15% de declividades (Silva, Silva e Leonardi, 2015; Souza e Silva, 2016). Ressalta-se que o município possui ampla amplitude topográfica, que varia de 844 a 1.476 metros de altitude (Figura 1).

Dotado de vegetação original pertencente ao bioma Mata Atlântica e relevo de mares de morros, Inconfidentes possui uma ampla e diversificada rede de drenagem, dendrítica em sua maior parte, com inúmeras nascentes que deságuam no Rio Mogi Guaçu, principal canal fluvial municipal (Silva, Silva e Leonardi, 2015; Cobra et al., 2019).

A economia é direcionada basicamente ao turismo de compras, indústria têxtil e atividades agropecuárias, destacando-se a produção de café, alho, leite, milho, bucha vegetal, banana e feijão,

além da extração de minérios e areia (Prefeitura Municipal de Inconfidentes, 2015). O núcleo urbano do município, que ocupa um espaço de 1.913.157 m<sup>2</sup>, é relativamente pequeno em

comparação com a extensão territorial municipal (Figura 1), que possui uma área total de 149.394.163 m<sup>2</sup> (Silva, Silva e Leonardi, 2015).

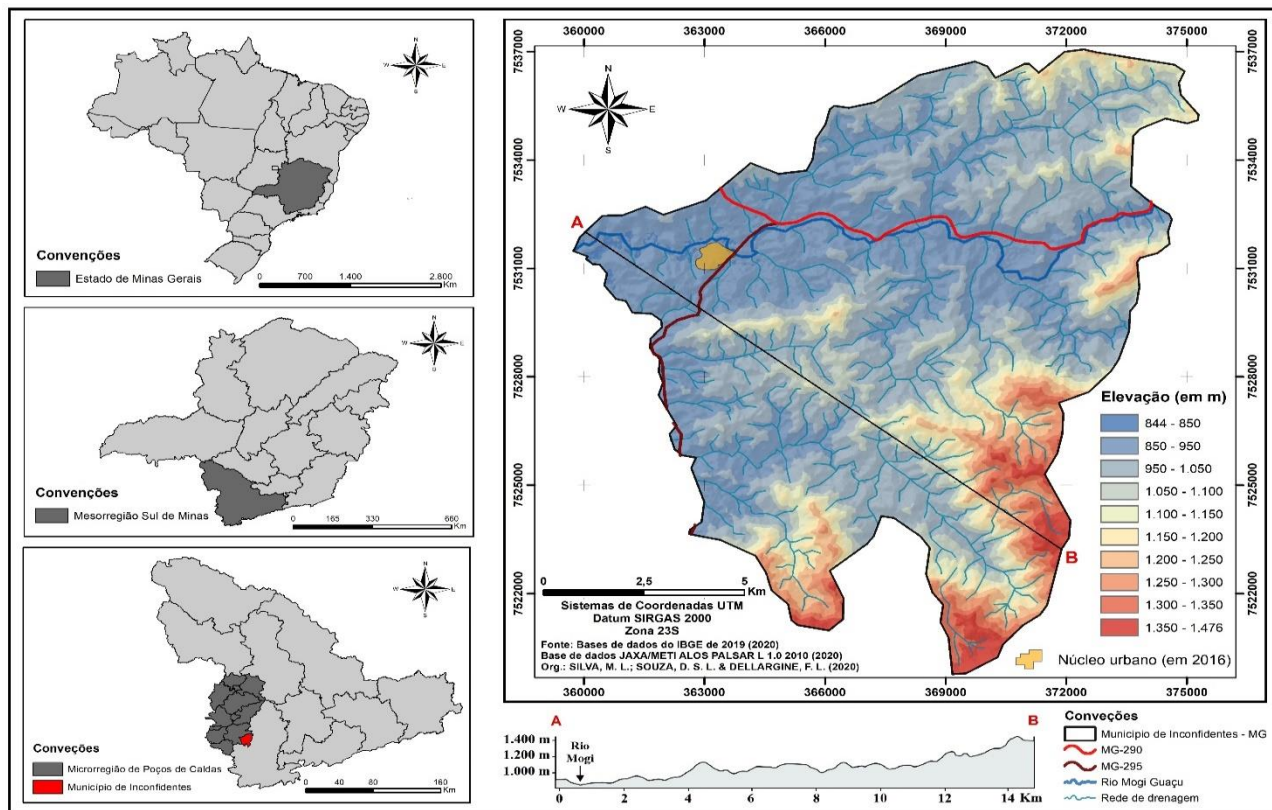


Figura 1. Mapa de localização e hipsométrico do Município de Inconfidentes – MG.

#### Aquisição e tratamento de dados

A delimitação da rede de drenagem e do limite do município foram obtidos através das cartas topográficas digitais adquiridas da base de dados do IBGE referente aos Municípios de Ouro Fino - MG (Folha SF-23-Y-B-I-3) e de Borda da Mata - MG (Folha SF-23-Y-B-I-4), ambas com escala de 1:50.000 e elaboradas no ano de 1972.

As cartas topográficas dos municípios de Ouro Fino - MG e Borda da Mata - MG foram georreferenciadas a partir do software ArcGIS em sua extensão do ArcMap. Posteriormente procedeu-se ao mosaicamento das cartas já georreferenciadas, para posterior extração do limite do município. Manualmente, através da ferramenta Georefering do software, foram extraídos o contorno do município e a rede de drenagem.

Para elaboração dos mapas-base de fragilidade ambiental foram utilizadas imagens de radar Alos Palsar, imagens do Satélite Sentinel-2, além da base de dados da ANA, IBGE, CPRM, CODEMGE, INMET, GMES e JAXA/METI.

#### Unidades litoestratigráficas

As unidades litoestratigráficas do Município de Inconfidentes foram obtidas a partir do mapeamento geológico do Estado de Minas Gerais, em escala de 1:100.000, realizado em 2014 pela CODEMGE.

A definição das classes e graus de fragilidade ambiental para as unidades litoestratigráficas se baseou na literatura especializada.

#### Definição das classes de declividade

As classes de declividade foram definidas de acordo com a literatura especializada, a partir de imagens de radar Alos Palsar, banda L, modo FBS, polarização HH, órbita 27350 e quadro 28, com resolução espacial de 12,7 metros, de 2010, adquirida da base de dados ASF Data Search. As imagens de radar também serviram de base para determinação da hipsometria.

Para a determinação das classes clinográficas foi utilizada a função slope da aba Surface do ArcGIS. Posteriormente, foi aplicado o

método de reamostragem convolução cúbica para os pixels.

#### *Determinação do índice de dissecação do relevo*

O índice de dissecação do relevo foi determinado segundo a metodologia preconizada por Ross (2012) e Guimarães et al. (2017), utilizando, conjuntamente, os softwares *ArcGIS* e *QGIS*.

#### *Estimativa das taxas de precipitação pluviométrica*

As séries históricas empregadas foram obtidas a partir da base de dados do INMET e CPRM, gerenciadas pela ANA. Para as interpolações geoestatísticas foram consideradas as taxas de precipitação média anual das normais climatológicas, com séries históricas superiores ao recomendado pela Organização Meteorológica Mundial.

A interpolação das taxas de precipitação média anual foi realizada através do *ArcGIS*, pelo método de ponderação do inverso da distância (IDW).

As classes e graus de fragilidade da variável precipitação pluviométrica se basearam na literatura especializada.

#### *Delimitação das classes de solos*

O mapa pedológico e as respectivas análises química e granulométrica dos horizontes de solos foram obtidos a partir de Souza e Silva (2016), considerando a metodologia de Santos, Lemos e Santos (2015).

A definição das classes e graus de fragilidade para o mapa pedológico se basearam na literatura especializada.

#### *Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal*

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo foi utilizado imagens ortoretificadas e com correção no topo da atmosfera do Satélite *Sentinel-2* no nível 1C, com resolução espacial de 10 metros e temporal de 5 dias, adquiridas em 11 de maio de 2020 (L1C T23KLR A016609 20200511T131241). As imagens são produtos do programa *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES) ou programa de monitoramento global da segurança ambiental, uma iniciativa conjunta da Comissão Europeia (CE) e da Agência Espacial Europeia (ESA).

Após correções, foi elaborado a composição das bandas B02 (*Blue*), B03 (*Green*) e B04 (*Red*) para obtenção da cor verdadeira ou natural (4R3G2B). A opção pela composição natural se justifica pelo fato de atender aos objetos

desse processamento digital de imagens, que reside na identificação e quantificação das áreas urbanas e com solo expostos, vegetação natural, culturas diversas e pastagens e gramíneas.

Dessa forma, foram definidas 4 classes: áreas urbanas e com solo exposto (classe 1), gramíneas e pastagens (classe 2), vegetação nativa (classe 3) e culturas diversas (classe 4).

As amostragens ocorreram por pixels e por região: 51 amostras para a classe 1, 23 para a classe 2, 27 para a classe 3 e 35 amostragens para a classe 4.

Para a classificação supervisionada foi utilizada a técnica estatística multivariada *Maxver* (máxima verossimilhança ou *Maximum Likelihood*) através do *Spatial Analyst* do *ArcGIS*.

Além da verificação em campo, a classificação passou pelo filtro majoritário do *ArcGIS*, através da *Spatial Analyst Tools*, com kernel de 8 vizinhos (criando uma matriz 3x3) e considerando metade das células com o mesmo valor de pixel.

As quatro classes de uso e ocupação do solo foram vetorizadas e individualizadas a partir da opção *Convert Tools* do *ArcGIS*.

A definição das classes e graus de fragilidade para o uso e ocupação do solo se basearam na literatura especializada.

#### *Análise e mapeamento da fragilidade ambiental*

Foi utilizado a álgebra de mapas (função *raster calculator*), após a definição dos pesos de cada categoria (função *reclassify*). Anteriormente a este procedimento, todos os arquivos no formato vetor foram convertidos em arquivos matricial ou raster (função de rasterização *feature to raster*).

A determinação da fragilidade ambiental potencial e emergente seguiu a proposta de Ross (2012). Contudo, para fins de comparação, ambas foram calculadas levando em conta tanto a variável declividade quanto a categoria índice de dissecação do relevo, de forma alternadas. Considerando as especificidades ambientais do município, atribuiu-se peso em dobro para as variáveis declividade e índice de dissecação do relevo (no cálculo da fragilidade potencial) e para a categoria uso e ocupação do solo (no cálculo da fragilidade emergente). Além das variáveis geomorfológicas (declividade e índice de dissecação do relevo), pedológicas (classes de solos), de uso e ocupação do solo, seguindo a metodologia proposta, foi considerada também a variável climatológica (média anual da precipitação pluviométrica).

Para a determinação da fragilidade ambiental potencial foram utilizadas as seguintes equações:

$$FAP_d = ([UL] + [CS] + [PP] + [2D]) / 5 \quad (1)$$

$$FAP_{idr} = ([UL] + [CS] + [PP] + [2DR]) / 5 \quad (2)$$

Em que:

FAP<sub>d</sub>: fragilidade ambiental potencial considerando a declividade

FAP<sub>idr</sub>: fragilidade ambiental potencial considerando o índice de dissecação do relevo

UL: fragilidade das unidades lito estratigráfica

CS: fragilidade das classes de solos

PP: fragilidade da precipitação pluviométrica

D: fragilidade da declividade

DR: índice de dissecação do relevo

Para a determinação da fragilidade ambiental emergente foram utilizadas as seguintes equações:

$$FAE_d = ([UL] + [CS] + [PP] + [D] + [2UO]) / 6 \quad (3)$$

$$FAE_{idr} = ([UL] + [CS] + [PP] + [DR] + [2UO]) / 6 \quad (4)$$

Em que:

FAE<sub>d</sub>: fragilidade ambiental emergente considerando a declividade

FAE<sub>idr</sub>: fragilidade ambiental emergente considerando o índice de dissecação do relevo

UL: fragilidade das unidades lito estratigráfica

CS: fragilidade das classes de solos

PP: fragilidade da precipitação pluviométrica

D: fragilidade da declividade

DR: índice de dissecação do relevo

UO: fragilidade do uso da terra e cobertura vegetal

Após a determinação das classes de fragilidade, todos os arquivos raster passaram por um filtro majoritário (função *majority filter*). Por fim, as classes forma vetorizadas (função *raster to polygon*) visando um melhor *layout*.

As classes e graus de fragilidade de todas as variáveis se basearam na metodologia para estudos de fragilidade ambiental indicada por Ross (2012).

### Resultados e discussão

#### *Fragilidade ambiental e unidades geológicas*

Foram identificadas sete unidades litoestratigráfica em Inconfidentes – MG (Figura 2, Tabela 1). A maioria das unidades geológicas apresentaram graus de fragilidade 1 (muito fraca ou muito baixa), com exceção dos depósitos flúvio-aluviais (grau 5), do Complexo Varginha-Guaxupé e Grupo Itapira que apresentaram classes fracas ou baixas de fragilidade (grau 2)

1

Tabela 1 - Fragilidade ambiental para as unidades litoestratigráficas do Município de Inconfidentes – MG. Fonte: adaptado de Ross (2012) e Guirra (2017).

Unidade Litoestratigráfica	Sigla	Área (km <sup>2</sup> )	%	Grau de Fragilidade
Depósito aluvial	Qa	12,165	8,14	5
Suíte Bragança Paulista	NPEY11bp	42,804	28,65	1
Complexo Varginha - Guaxupé	NPvg	9,661	6,47	1
Complexo Varginha - Guaxupé	NPvog	24,234	16,22	1
Complexo Varginha - Guaxupé	NPvp	8,932	5,98	2
Complexo Mantiqueira	PP2ma	47,223	31,61	1
Grupo Itapira	PPit	4,375	2,93	2

A unidade litoestratigráfica que cobre a maior parte do município corresponde ao Complexo Mantiqueira, que abrange rochas ígneas do Período Riachiano (Figura 2) e ocupa 32% do território municipal (Tabela 1). O Grupo Itapira ocupa apenas aproximadamente 3% do território municipal (Tabela 1). Os baixos graus de fragilidade ambiental referente às formações

geológicas se justificam pelo alto grau de competências das rochas, muito resistentes ao intemperismo e aos processos erosivos. Excepcionalmente, os depósitos flúvio-aluviais quaternários, devido ao baixo grau de coesão e alto dinâmica, possuem classe forte de fragilidade, correspondente ao grau 5 (Figura 2, Tabela 1).

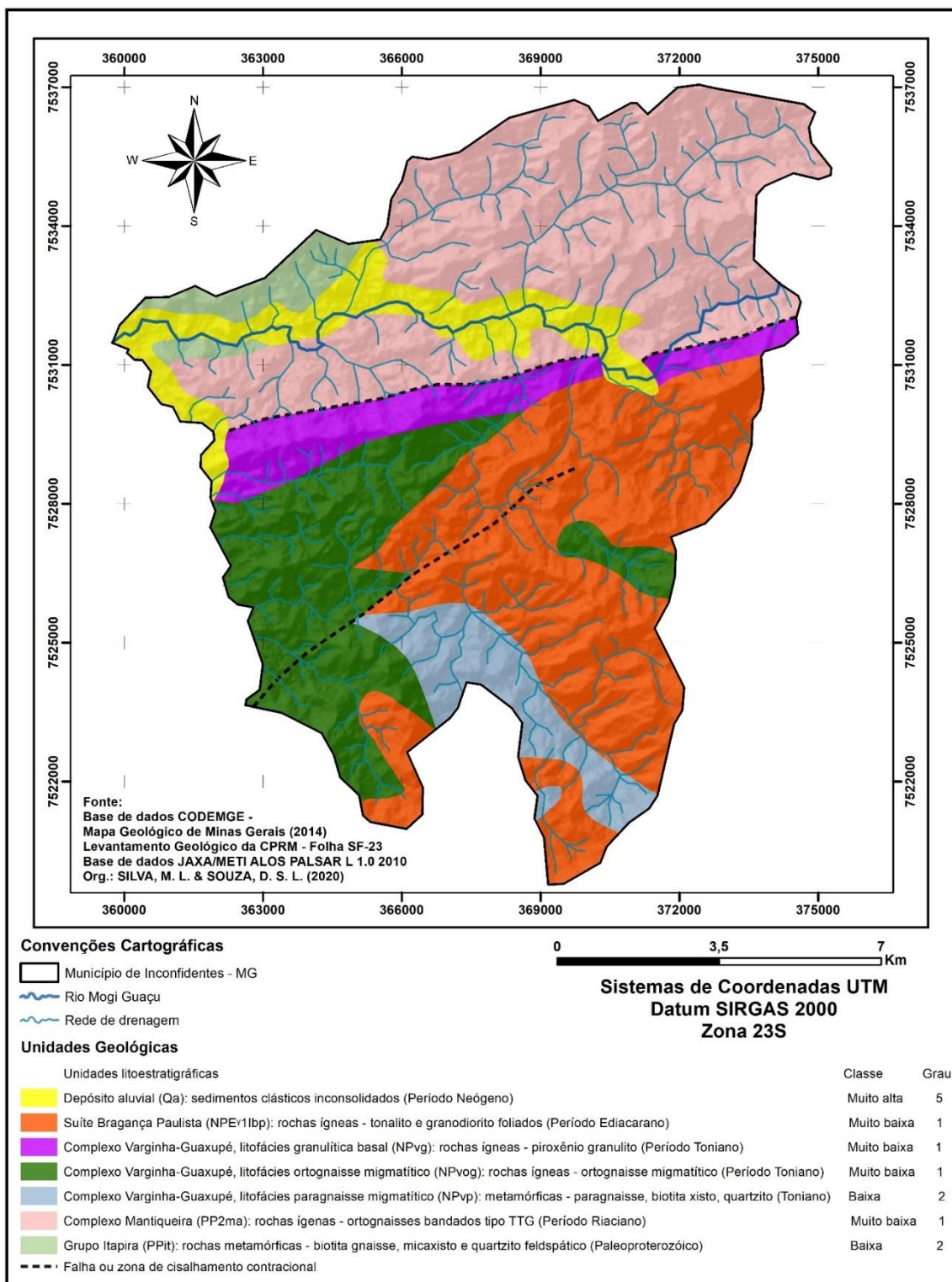


Figura 2. Mapa de fragilidade ambiental para as unidades litoestratigráfica do Município de Inconfidentes – MG.

Apenas os depósitos aluviais ou flúvio-aluviais, que respresentam 8,14% do município, constitui uma variável com alto peso para a definição da fragilidade ambiental do território. Ressalta-se que estes depósitos se encontram, em sua maior parte, próximos às margens do Rio Mogi, que vem experimentando intensos processos de

erosivos e de assoreamento, reflexos das perdas da cobertura vegetal pelo desmatamento e degradação.

Os levantamentos geológicos são básicos e fundamentais para se entender a relação entre rocha, relevo e solo, com os dados meteorológicos,

especialmente as taxas, intensidade e duração das chuvas.

Cinco classes de declividades foram definidas no Município de Inconfidentes – MG (Figura 3).

*Fragilidade ambiental da clinografia*

1

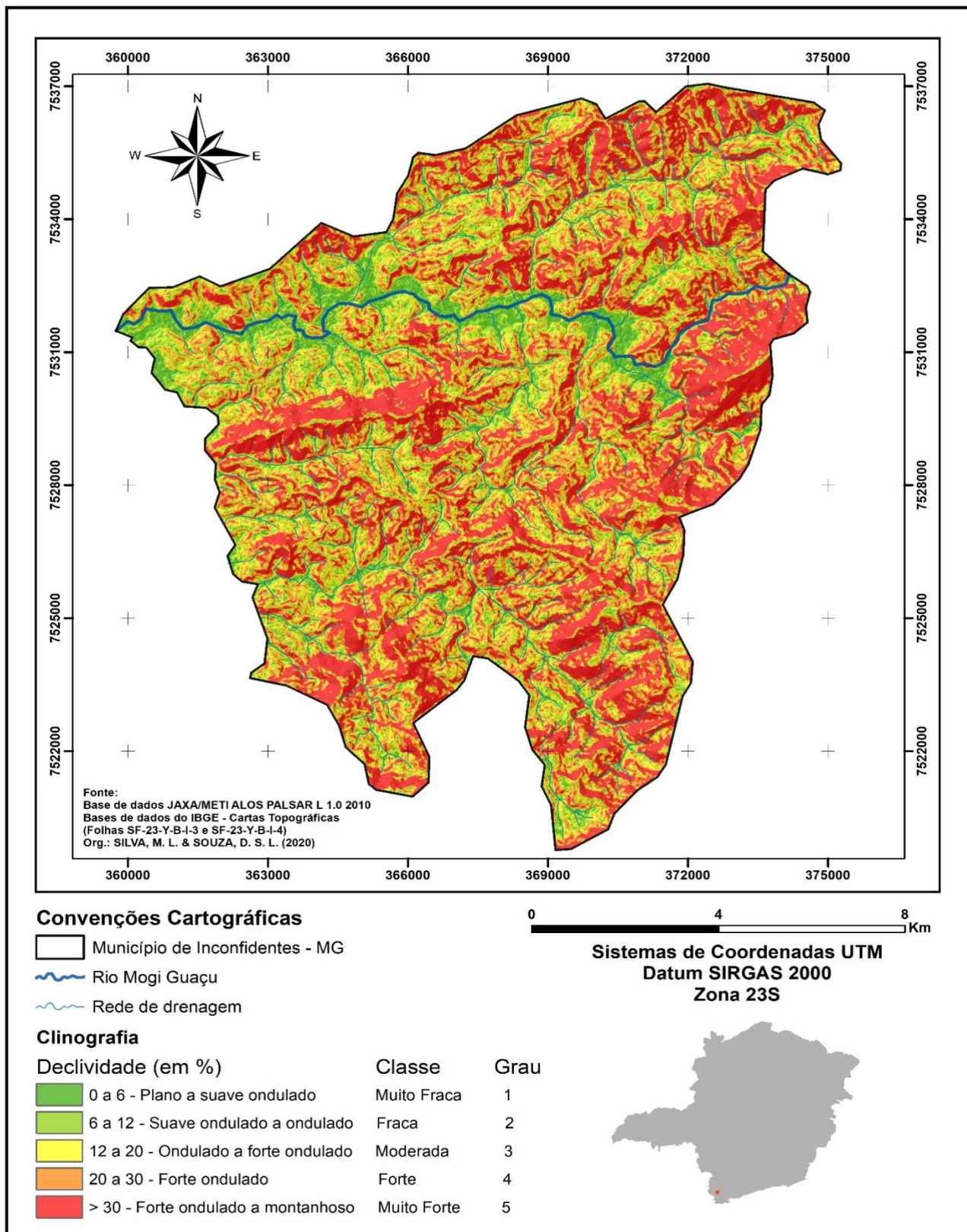


Figura 3. Mapa de fragilidade ambiental para as classes de declividade do Município de Inconfidentes – MG.

Diferentemente das formações geológicas, que apresentaram, em regra, baixos graus de fragilidade, nas classes clinográficas, uma área expressiva do município expôs declividades com percentual superior a 30 (Figura 3, Tabela 2), definida com classe muito forte para a fragilidade ambiental.

As áreas com declividades baixas (0 a 6%), correspondentes a topografias plano a suave onduladas, coincidem as áreas de maior ocupação humana, nos maiores canais fluviais que se distribuem no município (Figura 3). Embora as redes de drenagem sejam, predominantemente, dendríticas, o fato de a morfologia do canal fluvial principal (Rio Mogi) ser classificada com

meandrante vai de encontro aos baixos percentuais clinográficos. Assim, apesar de localizado em classes de declividade plano a suave ondulado, com classe de fragilidade ambiental muito fraca e grau 1 (Figura 3, Tabela 2), o leito do Rio Mogi com sua planície fluvial deve ser ocupado com muitas ressalvas, exigindo poucas interferências antrópicas.

Paradoxalmente, as áreas de declividades com grau 1 de fragilidade ambiental, referentes à planície do Rio Mogi (Figura 3, Tabela 2), possuem, no que diz respeito aos aspectos geológicos, grau elevado de fragilidade (5) por compreender depósitos flúvio-aluviais (Figura 2, Tabela 1).

Tabela 2 - Fragilidade da clinografia do Município de Inconfidentes – MG.

Declividade	Descrição do Relevo	Classe de Fragilidade	Grau de Fragilidade
0-6	Plano a suave ondulado	Muito Fraca	1
6-12	Suave ondulado a ondulado	Fraca	2
12-20	Ondulado a forte ondulado	Moderada	3
20-30	Forte ondulado	Forte	4
> 30	Forte ondulado a montanhoso	Muito Forte	5

Fonte: baseado em Ross (2012).

Dessa forma, do ponto de vista da clinografia, as áreas com elevado grau de fragilidade ambiental se encontram nas encostas mais íngremes, nas porções mais altas do município (Figura 3). Da perspectiva geológica, as áreas com maiores fragilidades (grau 5) se situam nas partes mais baixas, nos sopés das vertentes, sobretudo nas áreas de deposição dos leitos fluviais (Figura 2).

Associada com a alta amplitude topográfica do município (Figura 1), as classes de declividades, nas regiões de relevo muito acidentadas, como da área de estudos, possuem alto peso na configuração da fragilidade ambiental. Fragilidades de declividades muito fortes contribuem para a acentuação dos processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa associados, gerando instabilidades nos sistemas ambientais, sobretudo quando são alvos de intensas intervenções antrópicas (Neto e Fernandes, 2015; Trevisan e Moschini, 2016; Gouveia e Ross, 2019). A declividade pode se apresentar como o principal condicionador de atividades produtivas, especialmente aquelas relacionadas as atividades agrícolas (Trevisan e Moschini, 2016).

#### *Índice de dissecação do relevo*

De forma conjuntiva com a clinografia, o índice de dissecação do relevo (IDR) constitui uma

variável de alto peso na determinação da fragilidade ambiental (Guirra, 2017).

O mapa do índice de dissecação do relevo corresponde a uma análise morfométrica e morfológica entre o grau de entalhamento do vale (também denominado de amplitude altimétrica ou grau de aprofundamento da dissecação) e a dimensão interfluvial média (definida por muito como grau de dissecação ou densidade de drenagem), classificada hierarquicamente em muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5) para fins de fragilidade ambiental (Guimarães et al., 2017; Marent et al., 2018).

O Município de Inconfidentes apresentou grau moderado (3), forte (4) e muito forte (5) para o IDR (Figura 4, Tabela 3). O IDR de maior expressão no município foi o de classe forte e grau 4 (Figura 4), que corresponde a morfometria com topos planos a convexos e amplos canais de forte entalhamento ou formas de topos planos ou convexos de pequena dimensão interfluvial e médio entalhamento dos canais (Tabela 3). O segundo IDR de maior relevância foi o de classe de dissecação muito forte (grau 5), com morfometria e morfologia de topos aguçados ou convexos de dimensões interfluviais de média a pequena e forte entalhamento dos canais, referente a declividade acima de 30% (Tabela 3).

A dissecação do relevo possibilita a interpretação da evolução espacial dos vales fluviais nos distintos compartimentos geomorfológicos em que se inserem as bacias hidrográficas (Marent et al., 2018). Dessa forma,

além de contribuir para a interpretação da fragilidade ambiental de determinado recorte espacial, o IDR faculta o entendimento sobre a morfodinâmica e sobre a relação morfogênese-pedogênese no contexto de bacias hidrográficas.

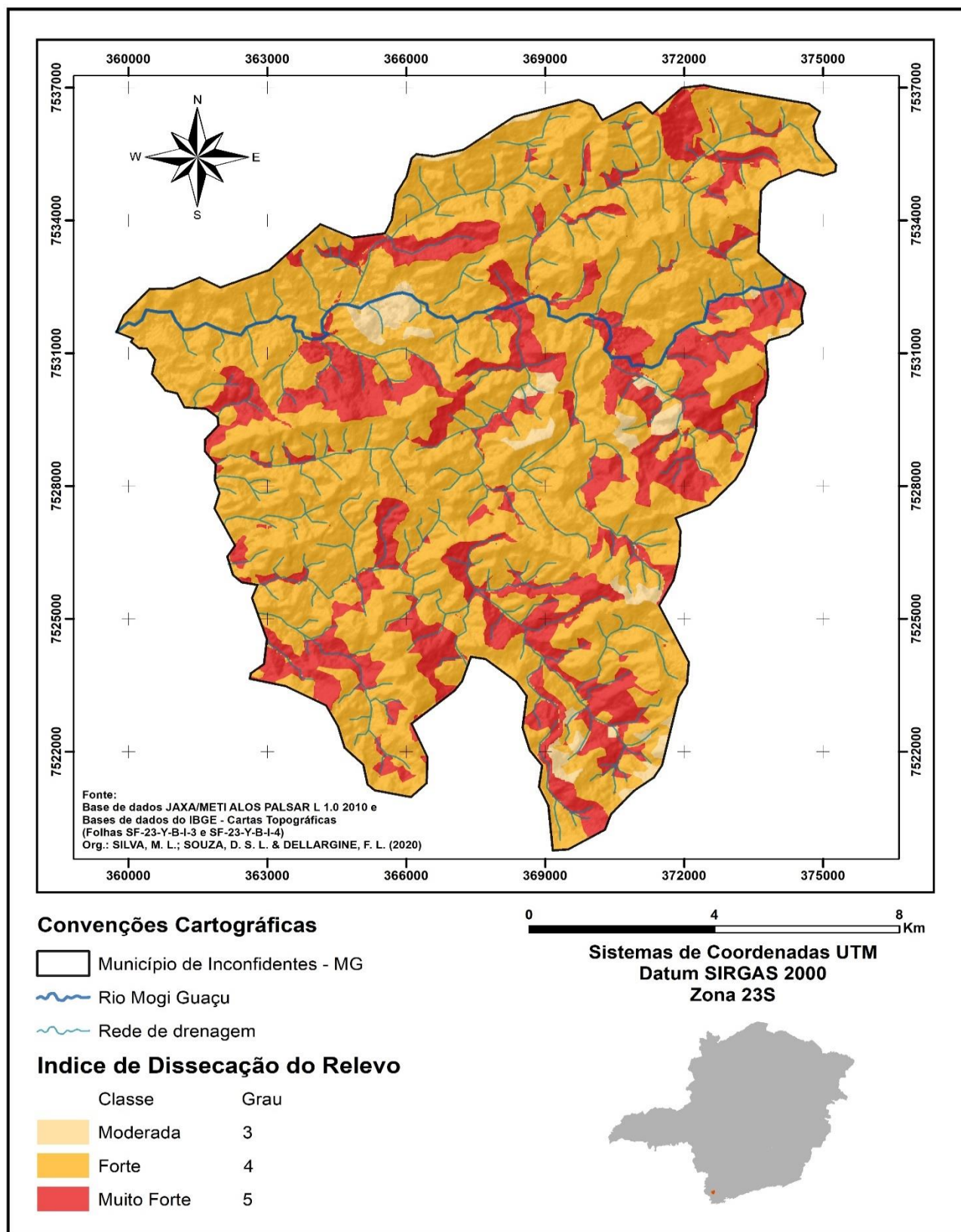


Figura 4. Mapa de índice de dissecação do relevo do Município de Inconfidentes – MG.

Guimarães et al. (2017) lembra que o IDR possui diversas aplicações, envolvendo a segmentação do relevo, o fornecimento de bases para o mapeamento geomorfológico, além de subsidiar no estudo da relação morfogênese-pedogênese e da vulnerabilidade ambiental.

Aproximadamente 73% do território do Município de Inconfidentes possui classe de dissecação forte (grau 4), o que equivale a 109,028 km<sup>2</sup>. Topografias fortemente dissecadas estão associadas a solos muito frágeis, susceptíveis à erosão (Ross, 2012).

Tabela 3 - Índice de dissecação do relevo do Município de Inconfidentes – MG.

Classe de Dissecação	Grau de Dissecação	Tipos de Morfologia e Morfometria
Moderada	3	Formas de topos convexos de pequena dimensão interfluvial, canais poucos entalhados e formas de topos convexos ou planos de dimensão interfluvial pouco maior e canais medianamente entalhados. Declividade oscilando entre 12% a 20%.
Forte	4	Formas com topos planos a convexos e amplos canais de forte entalhamento ou formas de topos planos ou convexos de pequena dimensão interfluvial e médio entalhamento dos canais. Declividades oscilando entre 20% a 30%.
Muito Forte	5	Formas de topos aguçados ou convexos de dimensões interfluviais de média a pequena e forte entalhamento dos canais. Declividade acima de 30%.

Fonte: baseado em Ross (2012).

*Fragilidade ambiental das classes de solos*

O Município de Inconfidentes - MG possui três ordens de solos com maior representação: Latossolos, Gleissolos e Cambissolos (Figura 5, Tabela 4). Os Latossolos e Gleissolos ocorrem em ambientes com declividades de 0 a 8% (Souza e Silva, 2016). Entretanto, enquanto os Latossolos ocupam a posição topo das vertentes, em cotas altimétricas superiores a 900 metros do Planalto Poços de Caldas (Morfoestrutura Paleo e Neoproterozóicos) e Serra da Mantiqueira/Itatiaia (Morfoestrutura Neoproterozóico), os Gleissolos se encontram no sopé, geralmente em áreas de

várzeas próximas aos canais fluviais, em altimetrias bem inferiores às dos Latossolos, entre 800 a 900 metros. A ordem dos Cambissolos, segundo Souza e Silva (2016), ocorre em declividades variando de 8 a 45%, ocupando as encostas das vertentes, em posições altimétricas intermediárias entre as classes dos Latossolos e Gleissolos. Esses solos possuem associações ou inclusões de outras unidades taxonômicas, como os Neossolos Litólicos (RL) ou Argissolos (solos com Bt) (Figura 5).

1

Tabela 4 - Fragilidade das classes pedológicas do Município de Inconfidentes – MG.

CF: classes de fragilidade; GF: graus de fragilidade.

Solos	Sigla	CF	GF
Cambissolo Háptico eutrófico típico com associação ou inclusão de Neossolo Litólico	Cxe-RL	Forte	4
Cambissolo Háptico eutrófico típico com associação ou inclusão de solos com horizonte Bt	Cxe-Bt	Forte	4
Gleissolo Háptico distrófico	GXd	Muito Forte	5
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	LAVd	Média	3

Fonte: baseado em Ross (2012).

Os Cambissolos, com associações e inclusões, que cobrem aproximadamente 46,126 km<sup>2</sup>, representando cerca de 30% do território municipal, foram classificados como de forte

fragilidade ambiental, com grau 4 (Tabela 4). Os Latossolos são Latossolos Vermelho-amarelos distróficos típicos, que ocupam aproximadamente 8,34% do território, possuem classe média de

fragilidade ambiental, com grau 3 (Tabela 4). Os Gleissolos Háplicos distróficos típicos (Figura 9), que representa 22,54% do espaço territorial

(33.670.181 m<sup>2</sup>) são as ordens de solos mais frágeis, com classe muito forte e grau 5 (Tabela 4).

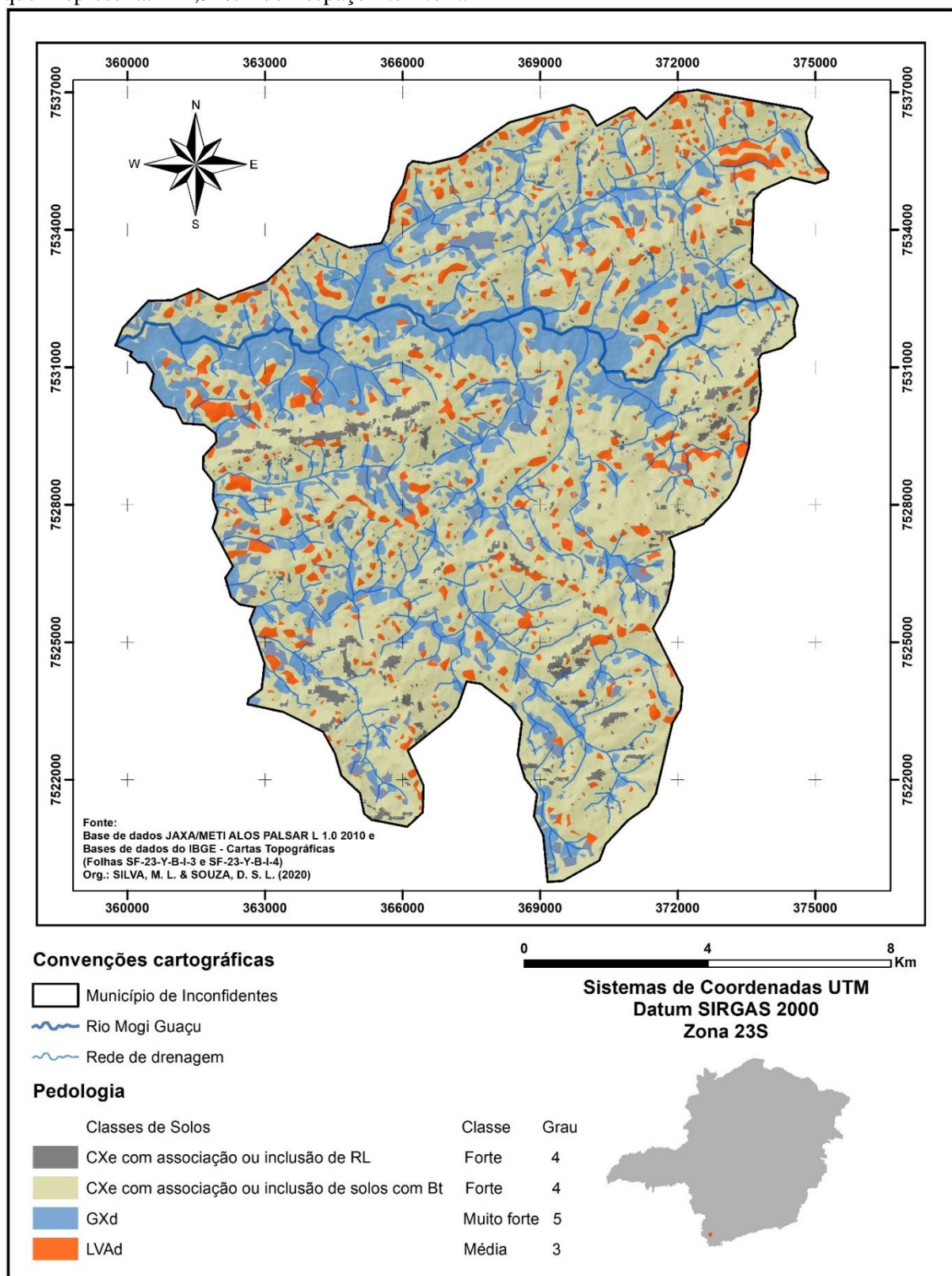


Figura 5. Mapa de fragilidade ambiental para as classes de solos do Município de Inconfidentes – MG. CXe: Cambissolo Háplico eutrófico; RL: Neossolo Litólico; GXd: Gleissolo Háplico distrófico; LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

As classes ou ordens de solos constitui elementos de fundamental importância para a compreensão dos variados processos e fenômenos erosivos (Neto e Fernandes, 2015). Segundo os autores, a susceptibilidade à erosão pode se tornar ainda mais intensificada em função da declividade, das características morfológicas do solo e das condições climáticas. Os solos, como sistemas abertas e reflexos das interações ambientais, além de propiciar o desenvolvimento das atividades

produtivas, são excelentes indicadores da instabilidade ou estabilidade dos ambientes naturais.

*Fragilidade ambiental da precipitação pluviométrica*

Para o mapa pluviométrico (Figura 6) utilizou-se parâmetros de análise envolvendo a base de órgãos públicos e estações pluviométricas em situadas em diversos municípios do sul de Minas Gerais

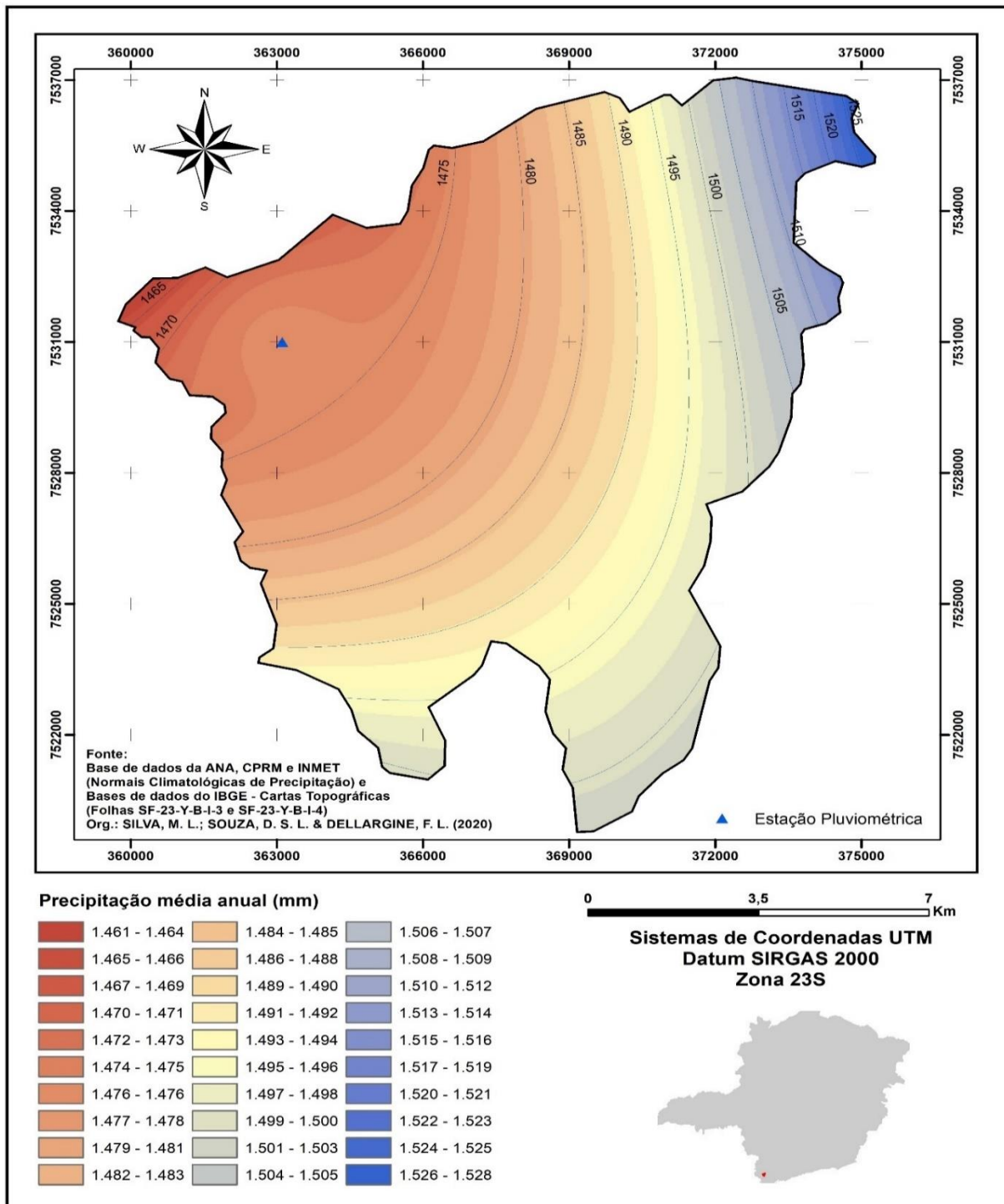


Figura 6. Mapa de precipitação média anual e de isoietas para o Município de Inconfidentes – MG.

1 Foram usadas interpolações geoestatísticas 8 A precipitação média anual, para o período  
 2 considerando as taxas de precipitação média anual 9 de 1961 a 2010, foi de 1.475 mm/ano (Tabela 5)  
 3 das normais climatológicas com respectivas séries 10 que, segundo a classificação preconizada na  
 4 históricas superiores ao período recomendado 11 literatura especializada, possui classe média e grau  
 5 Organização Meteorológica Mundial. Interpolação 12 3 de fragilidade ambiental, típica de ambientes sob  
 6 constitui importante ferramenta na estimativa de 13 clima tropical, com estações chuvosas bem  
 7 dados climáticos (Perin et al. (2015)). 14 definidas.

Tabela 5 - Fragilidade para a precipitação pluviométrica do Município de Inconfidentes – MG.

Precipitação (mm/ano)	Área Total do Município (km <sup>2</sup> )	Classe de Fragilidade	Grau de Fragilidade
1475	149,394	Média	3

Fonte: baseado em Ross (2012)

Segundo Caetano e Barbosa (2019) a probabilidade de ocorrência de chuvas no município de Inconfidentes é variável para cada mês, mas segue um padrão no decorrer dos anos. “Inconfidentes - MG possui alta disponibilidade hídrica, com maior volume de chuvas concentrado no período de verão, sendo uma região apta a várias culturas agrícolas” (Caetano e Barbosa, 2019, p. 547).

Embora com uma taxa média de fragilidade ambiental, com grau 3, a intensidade não afeta diretamente a maioria das formações geológicas, devido ao alto grau de resistência das rochas ao intemperismo e erosão. Contudo, associada com as altas declividades, ordens de solos muito frágeis e pouco planejamento e manejo, aliado aos usos e ocupações conflitantes (Couto, Garcia e Silva, 2018), estas taxas pluviométricas podem potencializar os estágios de desestabilização dos sistemas naturais no Município de Inconfidentes – MG.

*Fragilidade ambiental do uso da terra e cobertura vegetal*

Uma pequena porção do município, apenas aproximadamente 5,67%, corresponde às áreas urbanizadas e com solo exposto, com classe muito forte e grau 5 para fragilidade ambiental (Figura 7, Tabela 6). As altas amplitudes topográficas aliadas às fortes declividades limitam o espraiamento do tecido urbano no município em questão (Silva, Silva e Leonardi, 2015). Contudo, aproximadamente 44% do território, o que representa aproximadamente 65,468 km<sup>2</sup>, estão cobertas por culturas diversas, o que corrobora a vocação do município para o setor agropecuário. Somado com as coberturas de gramíneas e pastagens, essas áreas correspondem a aproximadamente 50% do município, o que exige investimentos em planejamento e gestão ambiental, visando a conciliação entre economia, meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

Apenas 17,44% do município, representado pela vegetação nativa com remanescentes de Mata Atlântica, possui classe muito fraca para a fragilidade ambiental (Figura 7, Tabela 6).

Tabela 6 - Fragilidade para as classes de uso da terra e cobertura vegetal do Município de Inconfidentes – MG.

Uso e Ocupação	Área (km <sup>2</sup> )	%	Classe de Fragilidade	Grau de Fragilidade
Áreas urbanizadas e com solo exposto	8,472	5,67%	Muito Forte	5
Gramíneas e pastagens	49,405	33,10%	Fraca	2
Vegetação nativa	26,049	17,44%	Muito Fraca	1
Culturas diversas	65,468	43,79%	Média	3
Área Total do Município	149,394	100%		

Fonte: baseado em Ross (2012)

Ressalta-se que o aumento da expansão de áreas agricultáveis no Município de Inconfidentes -MG vem se constituindo como um fator conflitante ao uso da terra e cobertura vegetal em áreas protegidas. A conservação da vegetação

nativa com remanescentes da Mata Atlântica, que recobre apenas 17% do município (Tabela 6), é essencial para a manutenção dos processos ecológicos em áreas de preservação permanente (Couto, Garcia e Silva, 2018).

Embora represente apenas 5,67%, as áreas urbanizadas e com solo expostos possuem classe muito forte para fragilidade ambiental, com grau 5 (Tabela 6). Deve-se salientar que essas áreas vêm se expandindo, muitas vezes sem quaisquer planejamento ou gestão, principalmente nas margens do Rio Mogi-Guaçu, o que pode agravar

os desmatamentos e os processos erosivos, pronunciando os assoreamentos nas calhas fluviais e intensificando os recorrentes alagamentos no sítio urbano. Usos pautados em planejamento ambiental e urbano constituem ferramentas importantes que vão de encontro às desestabilizações dos sistemas ambientais.

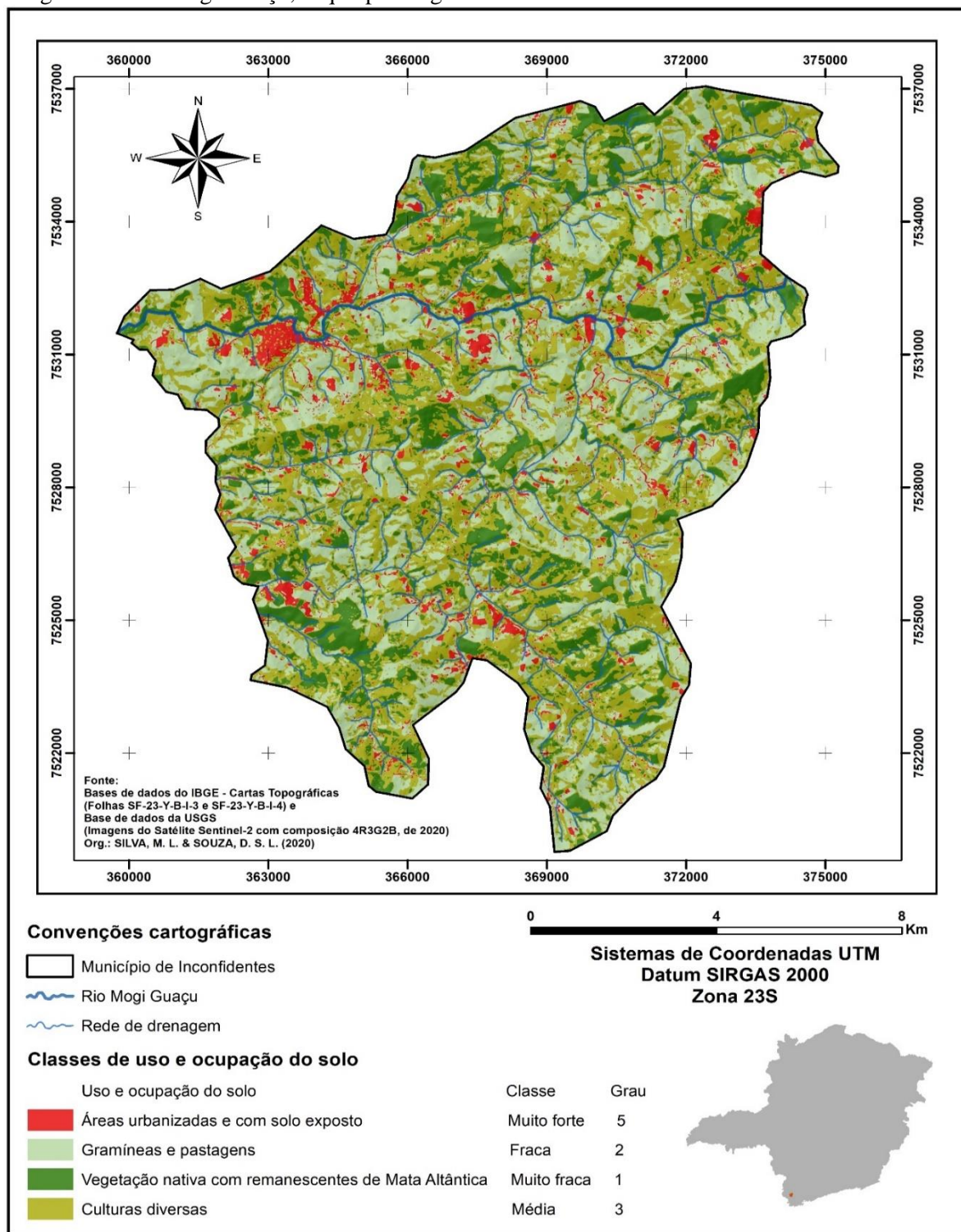


Figura 7. Mapa de fragilidade ambiental para as classes de uso e ocupação do solo do Município de Inconfidentes – MG.

Ademais, salienta-se, ainda, que grande parte do tecido urbano do município está situado

próximo às margens das rodovias MG-290 e MG-295 (Figura 1), as quais possibilitam acessos muito

importantes entre a Mesorregião Sul de Minas Gerais e a Região Metropolitana de Campinas, além de propiciar o fluxo e rede do sul de Minas com outras regiões. Santos et al. (2017) assevera que os municípios próximos às rodovias, estaduais ou federais, potencializam o avanço de áreas antropizadas, fator comprometedor e que deve ser analisado em estudos de zoneamento ambiental e planejamento de expansão urbana.

Aproximadamente 33% do município, com grau fraco, estão cobertas por gramíneas e pastagens, importantes na manutenção do solo, uma vez que diminuem os processos erosivos, evitando de geração ravinas e voçorocamentos.

Os estudos de uso da terra e cobertura vegetal do solo, além de identificar usos conflitantes, ocupações irregulares e estados de degradação do meio (Nunes e Roig, 2015; Silveira et al., 2015; Souza, 2015; Brito et al., 2016; Machado et al., 2017), tem demonstrado uma correlação direta da urbanização com a degradação ambiental (Mesquita, Silvestre e Steinke, 2017).

#### *Análise e mapeamento da fragilidade ambiental*

Foram determinadas fragilidades ambientais potenciais e emergentes, utilizando

tanto a variável declividade quanto o índice de dissecação do relevo, de forma alternada (Figuras 8, 9, 10 e 11, Tabelas 7, 8, 9 e 10), seguindo a metodologia proposta. Neto e Fernandes (2015) lembra que o relevo exerce importante influência no contexto da análise ecodinâmica e da indicação da estabilidade ou instabilidade do meio, em associação às condições pedológicas e climáticas (fragilidade potencial) e de modo ainda combinados com o grau de degradação ou conservação da cobertura vegetal (fragilidade emergente).

#### *Fragilidade ambiental potencial*

De acordo com a fragilidade ambiental potencial com a variável declividade (FAPd), aproximadamente 71,39% do município possui classe média e grau 3, o que corresponde a mais de 100 km<sup>2</sup> (Tabela 7, Figura 8). As áreas que apresentam fragilidade potencial muito fraca e fraca somam um total de 25% do município de Inconfidentes-MG, correspondendo uma área de 38 km<sup>2</sup>. Apenas 3% do município possui grau de fragilidade ambiental potencial forte, com grau 4 (Tabela 7).

Tabela 7 - Fragilidade ambiental potencial com declividade (FAPd) para o Município de Inconfidentes – MG.

Classe	Grau	Área (km <sup>2</sup> )	%
Muito Fraca	1	0,694	0,46
Fraca	2	37,606	25,17
Média	3	106,655	71,39
Forte	4	4,439	2,98

Segundo a fragilidade ambiental potencial com o índice de dissecação do relevo (FAPidr) uma área muito maior, aproximadamente 89,39% do município possui classe média e grau 3, o que corresponde a 133,542 km<sup>2</sup> (Tabela 8, Figura 9). A

área que apresenta fragilidade potencial com o índice de dissecação do relevo com grau 4 é bem maior que a de FAPd, correspondendo a 13 km<sup>2</sup> da área e 8,93% do território municipal (Tabelas 7 e 8).

Tabela 8 - Fragilidade ambiental potencial com índice de dissecação do relevo (FAPidr).

Classe	Grau	Área (km <sup>2</sup> )	%
Fraca	2	2,511	1,68
Média	3	133,542	89,39
Forte	4	13,341	8,93

A fragilidade ambiental potencial resultante da média ponderada com declividade (FAPd) identificou classes mais baixas que a resultante da média ponderada com o índice de dissecação do relevo (FAPidr), bem como demonstrou áreas menores com grau médio e forte

de fragilidade (Figuras 8 e 9, Tabelas 7 e 8). Nesse sentido, o cálculo de fragilidade ambiental com índice de dissecação do relevo se torna eficiente para estudos que privilegiem práticas conservacionistas e preservacionistas.

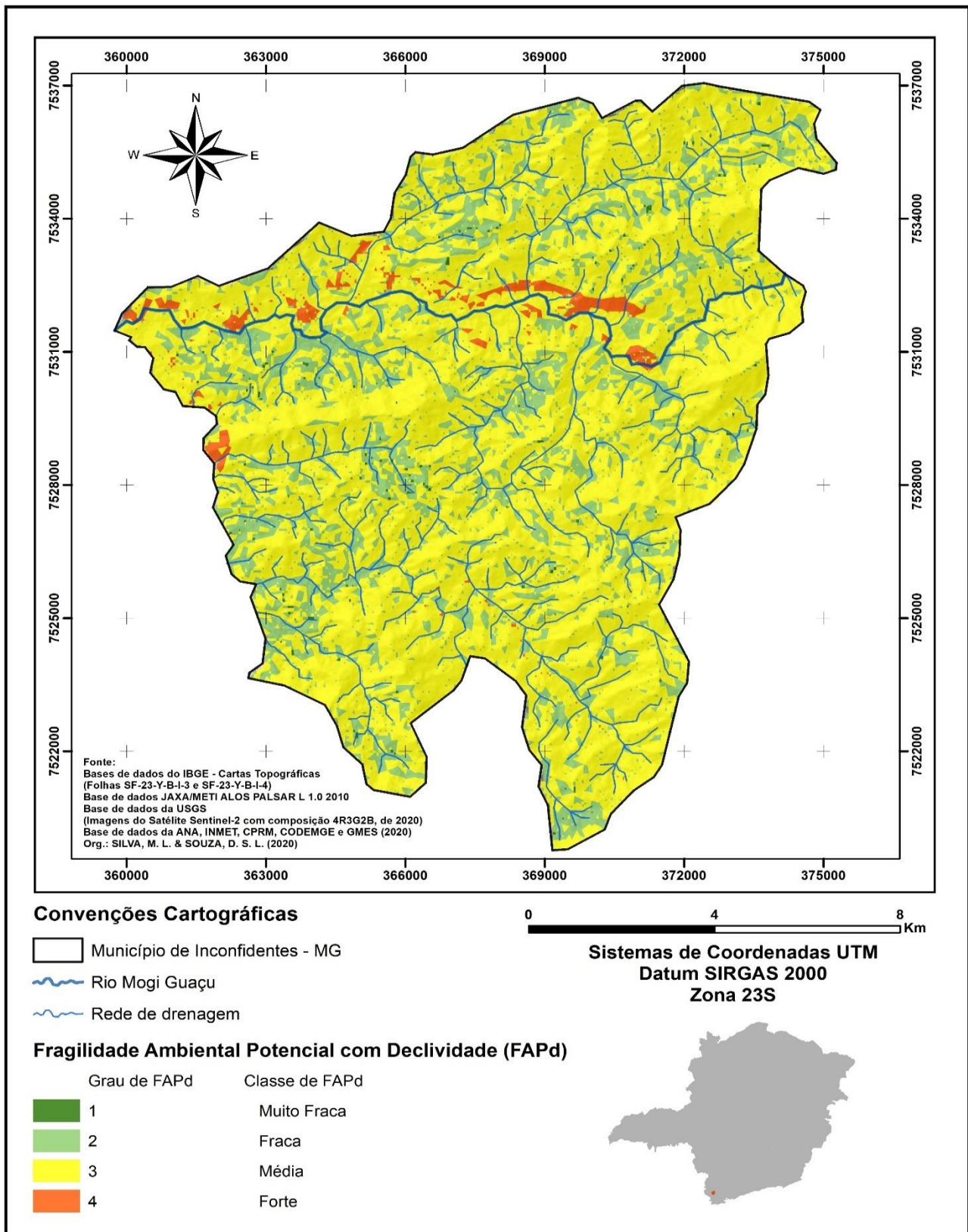


Figura 8. Mapa de fragilidade ambiental potencial com declividade (FAPd) para o Município de Inconfidentes - MG.

Embora as classes de fragilidade fraca e muito fraca correspondam apenas a 25% da área total (Tabela 7) não significa que o município não seja vulnerável aos processos de degradação, ainda

que a fragilidade potencial seja uma resultante que não considere as intervenções antrópicas (Ross, 2012). Isso demonstra apenas que, atualmente, estas porções com graus 1 e 2 estão em maior

equilíbrio ambiental, considerando a teoria geral dos sistemas e as unidades ecodinâmicas (Tricart, 1977). O mesmo se aplica à FAPidr.

As manchas de fragilidade de classe forte (grau 4) para FAPd, apesar de possuir um valor irrelevante, se configura em áreas próximas às margens do Rio Mogi, confirmando a alta

susceptibilidade do ambiente com presença de Gleissolos (Figura 5). O Gleissolo, pertencente à classe de solos hidromórficos, possui textura argilosa, além de apresentar feições de oxidação e redução do ferro, fruto da oscilação do lençol freático (Almeida et al., 2020).

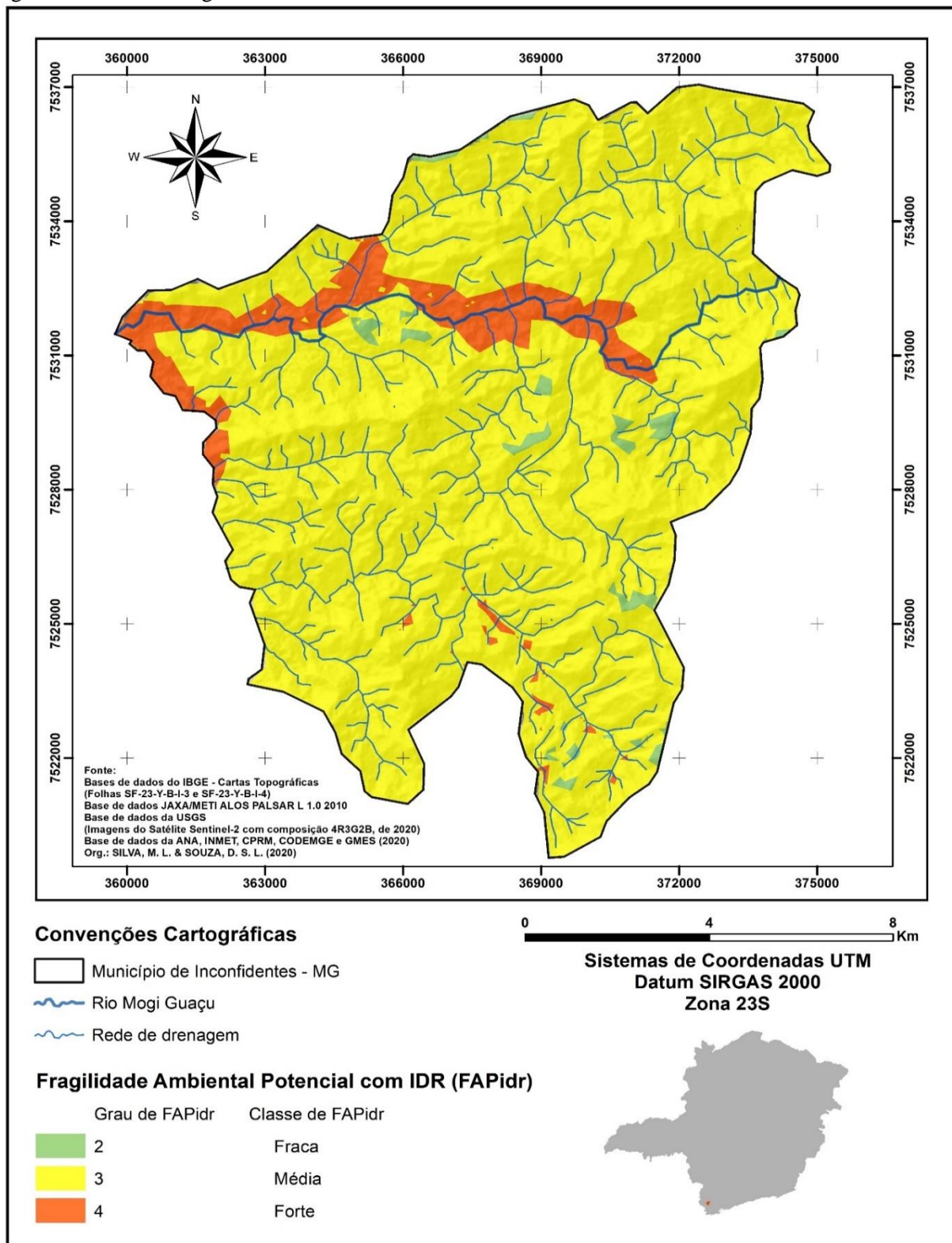


Figura 9. Mapa de fragilidade ambiental potencial com índice de dissecação do relevo (FAPidr) para Inconfidentes-MG.

Por se constituem são solos mal drenados, as com fragilidade alta fragilidade representadas por ambientes pedológicos desta ordem possuem pouca estabilidade no sistema. No presente estudo, as áreas com grau forte se mostraram mais pronunciadas na fragilidade ambiental potencial com índice de dissecação do relevo (FAPidr) (Figura 9, Tabela 8).

A extensa área que se caracteriza com grau 3 de FAPidr em Inconfidentes leva em consideração a susceptibilidade do escoamento superficial e os ciclos geomórficos de natureza fluvial. A tipologia de solos e posição das vertentes interferem na resposta aos processos erosivos desencadeados por chuvas de igual intensidade e duração e, quando somado à declividade da vertente, respondem pela maior velocidade do escoamento hídrico superficial, provocando, assim, a desagregação natural do solo (Cunha et al., 2016). Nas áreas com grau 4 para FAPidr são

fundamentais a preservação das matas ciliares, criadas legalmente para proteger o ambiente natural, sobretudo de processos erosivos, evitando tanto a lixiviação quanto o assoreamento dos corpos hídricos (Nunes e Roig 2016).

#### Fragilidade ambiental emergente

Consoante a fragilidade ambiental emergente com a variável declividade (FAEd), aproximadamente 37,32% do município possui classe média e grau 3, o que corresponde a 55,759 km<sup>2</sup> (Tabela 9, Figura 10). As áreas que apresentam fragilidade emergente muito fraca e fraca somam um total de 60,68% do município de Inconfidentes-MG, correspondendo uma área de mais de 90 km<sup>2</sup>. Aproximadamente 2,0 do município possui grau de fragilidade ambiental emergente forte, com grau 4 (Tabela 9), uma área bem maior que a fragilidade ambiental potencial com as mesmas variáveis (Tabela 7).

Tabela 9 - Fragilidade ambiental emergente com declividade (FAEd) para o Município de Inconfidentes – MG.

Classe	Grau	Área (km <sup>2</sup> )	%
Muito Fraca	1	0,543	0,36
Fraca	2	90,121	60,32
Média	3	55,759	37,32
Forte	4	2,971	2,0

Pela fragilidade ambiental emergente com o índice de dissecação do relevo (FAEidr) uma área muito maior que a FAEd, aproximadamente 49,44% do município, possui classe média e grau 3, o que corresponde a 73,866 km<sup>2</sup> (Tabela 10, Figura 11). A área que apresenta fragilidade

emergente com o índice de dissecação do relevo com grau 4 é bem maior que a de FAEd, correspondendo a aproximadamente 3% do território municipal (Tabelas 9 e 10). Pela FAEidr não foi possível identificar áreas com classe muito fraca e grau 1 de fragilidade ambiental (Tabela 10).

Tabela 10 - Fragilidade ambiental emergente com índice de dissecação do relevo (FAEidr).

Classe	Grau	Área (km <sup>2</sup> )	%
Fraca	2	71,181	47,65
Média	3	73,866	49,44
Forte	4	4,347	2,91

Os mapas de fragilidades emergentes (Figuras 10 e 11) consideram os pesos da fragilidade potencial com os usos da terra e cobertura vegetal do solo. Dessa forma os estudos de fragilidade emergentes contabilizam os efeitos das intervenções antrópicas nos sistemas naturais (Tricart, 1977; Neto e Fernandes, 2015; Santos, 2015; Schiavo et al., 2016; Trevisan e Moschini, 2016; Valle, Francelino e Pinheiro, 2016; França, Piuzana e Ross, 2017; Guirra, 2017; Pereira e Gouveia, 2017; Dias e Cirilo, 2018; Martins et al., 2018; Costa, Oliveira e Santos, 2019; Gouveia e

Ross, 2019; Almeida et al., 2020). Valle, Francelino e Pinheiro (2016), ressaltam que o mapa de fragilidade emergente destaca o papel da cobertura florestal para a estabilidade no ambiente.

Tal qual os estudos de fragilidade ambiental potencial (FAP), nos estudos de fragilidade ambiental emergente com declividade (FAEd) as classes média e forte foram menos pronunciadas que nos estudos com índice de dissecação do relevo (FAEidr) (Figuras 10 e 11, Tabelas 9 e 10).

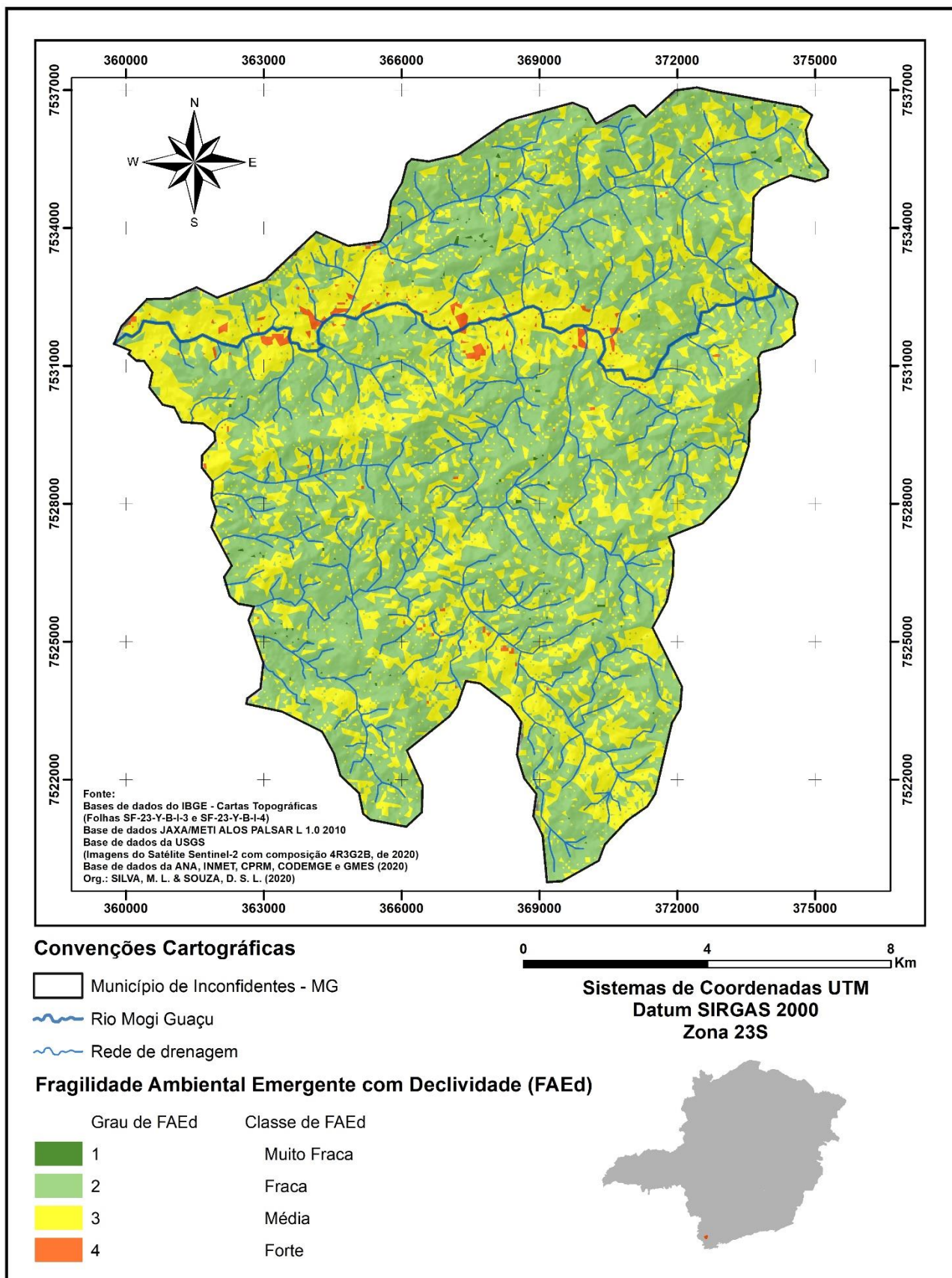


Figura 10. Mapa de fragilidade ambiental emergente com declividade (FAEd) para o Município de Inconfidentes – MG.

Novamente, as áreas com fragilidade emergente forte (grau 4), embora representem

baixo percentual do território municipal (Tabelas 9 e 10), corresponde, em sua maior parte, à planície

fluvial do Rio Mogi-Guaçu (Figuras 10 e 11) que, por possuir, nesse trecho, uma morfologia do canal fluvial meandrante, detém uma dinâmica espaço-tempo muito sensível às ações antrópicas. Nas áreas com maior fragilidade emergente a atuação

do Estado e da sociedade deve ser mais urgente e emergente no sentido de preservar o meio, bem como evitar maior desestabilização e degradação dos ambientes naturais.

1

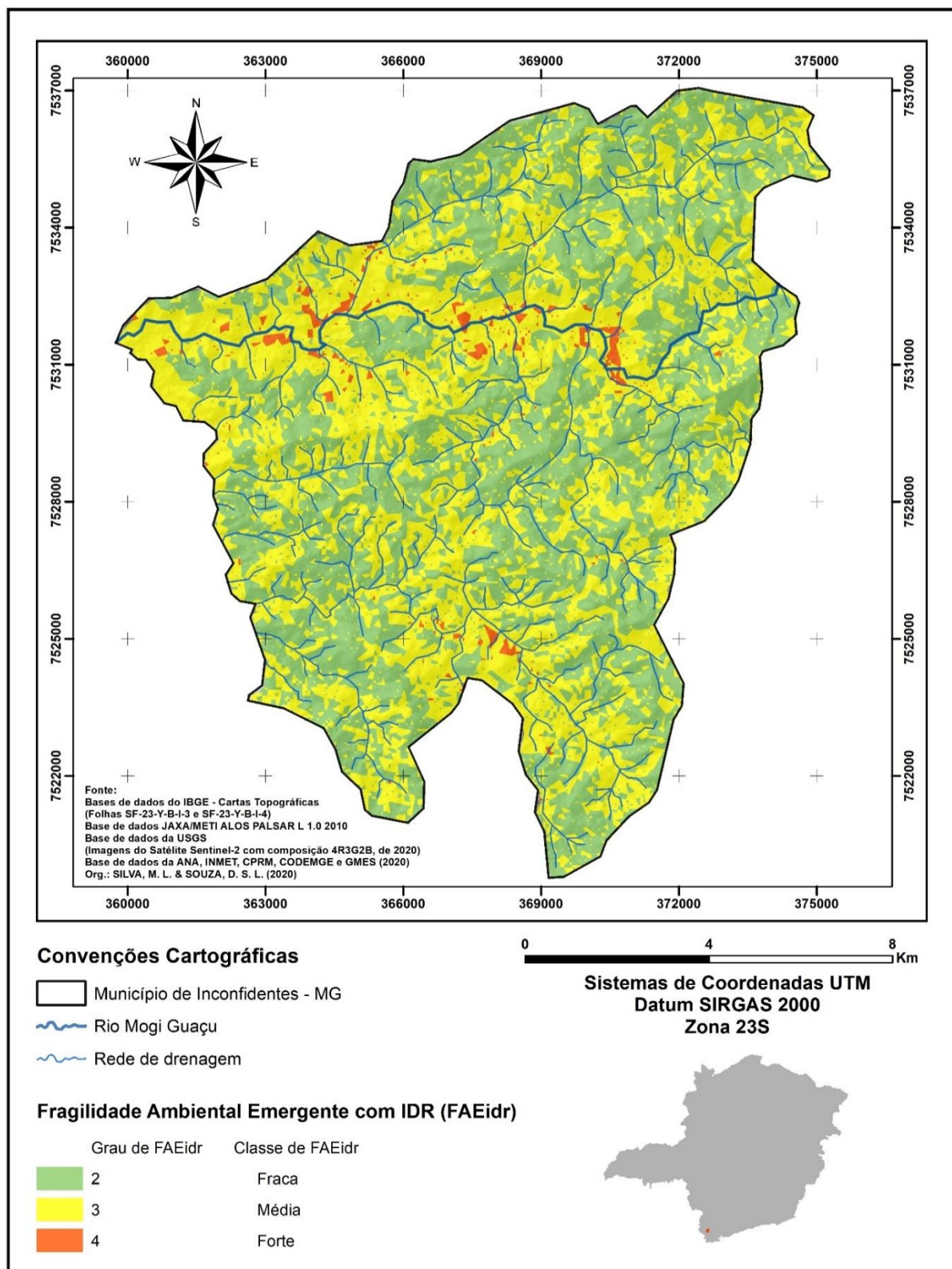


Figura 11. Mapa de fragilidade ambiental emergente com índice de dissecação do relevo (FAEidr).

Quanto às classes médias de fragilidade emergente, com grau 3, o mapeamento com base no índice de dissecação do relevo (FAEidr) identificou áreas maiores no município que o estudo com declividade (FAEd).

A classe forte de FAEidr ocorreu em apenas 3% do município, em porções com presença de Gleissolos e declividades superiores a 6 %, geralmente relacionadas às áreas de cabeceiras de drenagem e relevo geralmente mais dissecado. Em decorrência do fato de terem sido classificadas como *locus* de fragilidade forte, essas áreas são altamente suscetíveis aos processos naturais ou antropizados, como o desmatamento e desencadeamento de feições erosivas, o assoreamento e consequentes alagamentos.

Gonçalves, Araújo e Imai (2016) também identificaram áreas com forte fragilidade associadas ao leito do rio Santo Anastácio e às áreas urbanizadas e com solo exposto, definidas como áreas de alta instabilidade. Trevisan e Moschini (2016) associaram as atividades agrícolas e sítios urbanizadas às áreas com os maiores graus de fragilidade ambiental (graus 4 e 5).

## Conclusão

A metodologia proposta foi eficaz e eficiente no atendimento do objetivo da pesquisa, que consistiu em analisar as diferentes classes e graus de fragilidade ambiental potencial e emergente do município, como pressupostos para um melhor planejamento e a gestão ambiental.

A partir da determinação do índice de fragilidade potencial e emergente foi possível analisar o estado de conservação e estabilidade ambiental do Município de Inconfidentes, correlacionando-o com as características física, bióticas e antrópicas identificadas na área de estudo.

Classes de fragilidade potencial muito fortes não foram identificadas em Inconfidentes, nem para a fragilidade determinada com declividade (FAPd) como com índice de dissecação do relevo (FAPidr). Mais da metade do território municipal apresentou classe média de fragilidade potencial, com grau 3, o que indicou estabilidade média para os sistemas ambientais. As áreas com grau 4 (classes fortes) possuem forte correlação espacial, em sua maior parte, com as áreas do leito fluvial do Rio Mogi-Guaçu.

Nos estudos de fragilidades ambientais emergentes prevaleceram o grau 2, com classe fraca, indicando, a curto prazo, maior estabilidade ambiental. Nessas determinações, que consideram

a ação antrópica nos sistemas naturais, a fragilidade ambiental emergente com índice de dissecação do relevo (FAEidr) identificou maiores extensões do município com classe forte e grau 4. Novamente, as áreas mais instáveis coincidiram com a planície fluvial do Rio Mogi-Guaçu. Os estudos de fragilidade emergente, por considerarem as intervenções humanas no meio, exigem, a curto prazo, ações na busca de preservação ambiental, visando evitar a degradação e desestabilização dos sistemas naturais.

Considerado políticas conservacionistas e preservacionistas, os estudos de fragilidade com índice de dissecação do relevo (FAPidr e FAEidr) se mostraram mais eficientes para fundamentar estudos de planejamento, zoneamento e gestão ambiental.

## Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus Inconfidentes* pelo apoio e ao IGE-UNICAMP, pela parceria.

## Referências

- Almeida, J.L., Silva, V.A.R., Santos, J. S., Santos, J.R.N., Araújo, M.L.S., Pyles, M.V., Silva, F.B., 2020. O cenário de fragilidade ambiental do baixo curso do Rio Mearim. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 102-120. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p102-120>
- Bacani, V.M., Sakamoto A.Y., Luchiarri A., Quérol, H., 2015. Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. *Mercator* 14, 119-135. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0008>
- Brito, E.M., Mello, K., Costa, D.R., Faria, L.C., Valente, R.A., 2016. Geotecnologias aplicadas ao estudo do conflito de uso do solo visando o planejamento ambiental. *Revista Irriga* 21, 577-590. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p577-590>
- Caetano, A.L., Barbosa, F.S., 2019. Probabilidade de ocorrência de chuvas extremas para a região de Inconfidentes - MG. *Revista Brasileira de Climatologia* 25, 537-548. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.62338>
- Cobra, R.L., Silva, R.C., Oliveira, G.F.A.D., Miranda, D.L., Leonardi, F.A., Silva, M.L., 2019. Geoprocessamento aplicado ao levantamento e avaliação de solos: Proposta de avaliação de terras para fins agrícolas no

- Município de Inconfidentes – MG. Revista Brasileira de Geografia Física 12, 397-411. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p397-411>
- CODEMGE. Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais, 2020. Mapa Geológico de Minas Gerais. Belo Horizonte: CODEMGE, 2014.
- Costa, L.R.F., Oliveira, V.P.V., Santos, J.O., 2019. Fragilidade ambiental no contexto de sítio urbano na sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú - Ceará. Revista Brasileira de Geografia Física 12, 2580-2594. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.7.p2580-2594>
- Couto, R., Garcia, K.J., Silva, M.L., 2018. Conflitos de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do Município de Inconfidentes - MG. Revista Brasileira de Geografia Física 11, 2244-2259. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.07.p2244-2259>
- Cunha, J.E., Nóbrega, M.T., Castro, S.S., Guimarães, M.F., 2016. Escoamento superficial e perdas de solos por erosão hídrica em uma topossequência sobre o arenito Caiuá no noroeste do estado do Paraná. Boletim de Geografia 34, 141-153. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i1.22953>
- Dias, F.G., Cirilo, B.B., 2018. Diagnóstico da fragilidade ambiental da bacia do Rio Caeté/PA como subsídio ao planejamento ambiental. Geoambiente 32, 74-95. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i32.51294>
- França, L.C.J., Piuzana, D., Ross, J.L.S., 2017. Fragilidade ambiental potencial e emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). Revista Espacios 38, 21-38.
- Garófalo, D.F.T., Ferreira, M.C., 2015. Mapeamento da fragilidade ambiental por meio de análise geoespacial: uma aplicação na alta bacia dos Rios Piracicaba e Sapucaí-Mirim, APA Fernão Dias, MG. Revista do Departamento de Geografia - USP 29, 212-245. <https://doi.org/10.11606/rdg.v29i0.102118>
- Gonçalves, S.R.A., Araújo, R.R., Imai, N.N., 2016. Mapeamento do grau de fragilidade com processo analítico hierárquico e operadores Fuzzy Gama na detecção áreas de fragilidade ambiental. Revista Brasileira de Cartografia 68, 327-337.
- Gouveia, I.C.M., Ross, J.L.S., 2019. Fragilidade ambiental: uma proposta de aplicação de *geomorphons* para a variável relevo. Revista do Departamento de Geografia - USP 37, 123-136. <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.151030>
- Guimarães, F.S., Cordeiro, C.M., Bueno, G.T., Carvalho, V.L.M., Nero, M.A., 2017. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. Revista Brasileira de Geomorfologia 18, 155-167. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1163>
- Guirra, A.P.M., 2017. Novas contribuições ao modelo de fragilidade ambiental à processos erosivos: estudo de caso aplicado ao perímetro urbano de Rondonópolis, Mato Grosso. Dissertação (Mestrado em Geografia) Rondonópolis, Universidade Federal de Mato Grosso.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Manual técnico de pedologia: guia prático de campo. IBGE. Rio de Janeiro.
- INCONFIDENTES. Prefeitura Municipal de Inconfidentes, 2015. Economia. Disponível em: <https://www.inconfidentes.mg.gov.br>. Acesso em: 21 jun. 2020.
- Machado, T.C.E., Campos, M.C.C., Paganini, C.H. P., Maurício, J.C., Soares, M.D.R., 2017. Avaliação do uso e ocupação das áreas de preservação permanente nos anos de 2008 e 2013 na zona urbana de Humaitá, Amazonas. Revista Universidade Vale do Rio Verde 15, 744-750. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v15i2.3017>
- Marent, B.R., Valadão, R.C., Manfré, L.A., Nobrega, R.A.A., 2018. Espacialidade e evolução da incisão de vales fluviais a partir da dissecação do relevo nos degraus escalonados do sudeste de Minas Gerais-Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia 19, 709-719. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1366>
- Martins, R.N., Colares, A.P.F., Almeida, S.L.H., Zanella, M.A., Nery, C.V.M., 2018. Fragilidade potencial e emergente na bacia do rio Peruaçu, região norte de Minas Gerais. Revista Brasileira de Geomática 6, 99-118. <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v6n2.7521>
- Mesquita, F.N., Silvestre, K.S., Steinke, V.A., 2017. Urbanização e degradação ambiental: análise da ocupação irregular em áreas de proteção permanente na região administrativa de Vicente Pires, DF, utilizando imagens aéreas do ano de 2016. Revista Brasileira de Geografia Física 10, 722-734. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170047>
- Neto, M.C.P., Fernandes, E., 2015. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB –Brasil). Revista Brasileira de Geomorfologia 16, 399-411. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i3.603>
- Nunes, J.F., Roig, H.L., 2015. Análise do uso e ocupação do solo da Bacia do Alto do

- Descoberto DF/GO através de uma classificação automática baseada em lógica nebulosa. *Revista Árvore* 39, 25-36. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100003>
- Nunes, J.F., Roig, H.L., 2016. Modelagem dos conflitos de uso e ocupação do solo como ferramenta para o planejamento territorial: o caso da Bacia do Alto Curso do Rio Descoberto DF/GO. *Revista Brasileira de Cartografia* 68, 1285-1301.
- Pereira, G.S., Gouveia, C.M.C., 2017. Análise da fragilidade ambiental do município de Álvares Machado – SP. *Geografia em Atos* 1, 18-36. <https://doi.org/10.35416/geoatos.v1i4.5449>
- Perin, E.B., Vianna, L.F. N., Ricce, W.S., Massignam, A.M., Pandolfo, C., 2015. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos eficientes. *Revista Geografia, Rio Claro* 40, 269-289.
- Ross, J.L.S., 2012. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. *Revista do Departamento de Geografia – USP, volume especial de 30 anos*, 38-51. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0003>
- Santos, J.O., 2015. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. *Mercator* 14, 75-90. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0005>
- Santos, L.A.C., Batista, A.C., Neves, C.O.M., Carvalho, E.V., Santos, M.M., Giongo, M., 2017. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra em nove municípios do Sul do Tocantins, utilizando imagens Landsat. *Agro@ambiente* 11, 111-118. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3915>
- Santos, R.D., Lemos, R.C., Santos, H.G., Ker, J.C., Anjos, L.H.C., 2015. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa.
- Schiavo, B.N.V., Hentz, A.M.K., Corte, A.P., Sanquetta, C.R., 2016. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* 20, 464-474. <https://doi.org/10.5902/2236117019981>
- Silva, D.A.N., Silva, M.L., Leonardi, F.A., 2015. Geoprocessamento aplicado ao planejamento urbano: proposta preliminar de expansão urbana no Município de Inconfidentes – MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1187-1201. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.4.p1191-1205>
- Silveira, G.R.P., Campos, S., Gonçalves, A.K., Barros, Z.X., Pollo, R.A., 2015. Geoprocessamento aplicado na espacialização da capacidade de uso do solo em uma área de importância agrícola. *Energia na Agricultura* 30, 363-371. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n4p363-371>
- Souza, A.C.C., Silva, M.L., 2016. Geoprocessamento aplicado ao levantamento de solos no Município de Inconfidentes - MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 200-214. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p200-214>
- Souza, S.O., 2015. Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e da ocupação da terra na planície costeira de Caravelas (BA). *Boletim Goiano de Geografia* 35, 71-79. <https://doi.org/10.5216/bgg.v35i1.35485>
- Trevisan, D.P., Moschini, L.E., 2016. Determinação da fragilidade ambiental do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. *Geografia Ensino & Pesquisa* 20, 159-167. <https://doi.org/10.5902/2236499421915>
- Tricart, J., 1977. *Ecodinâmica*. IBGE, Rio de Janeiro.
- Valle, I.C., Francelino, M.R., Pinheiro, H.S.K., 2016. Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. *Floresta e Ambiente* 23, 295-308. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.107714>