

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - MG

Instituto de Ciências da Natureza

Curso de Geografia – Bacharelado

IGOR LUIS REIS

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO FORMIGA (MG)**



ALFENAS - MG

2023

IGOR LUIS REIS

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO FORMIGA (MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira

ALFENAS/MG

2023

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Unidade Educacional Santa Clara

Luis Reis, Igor .
ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
FORMIGA (MG) / Igor Luis Reis. - Alfenas, MG, 2023.
52 f. : il. -

Orientador(a): Felipe Gomes Rubira.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) -
Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2023.
Bibliografia.

1. Fragilidade Ambiental. 2. Bacia Hidrográfica. 3. Índices. 4. Fragilidade
Potencial . 5. Fragilidade Emergente. I. Gomes Rubira, Felipe , orient. II.
Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

IGOR LUIS REIS

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO FORMIGA (MG)**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 13 de dezembro de 2023

Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Assinatura:

Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Assinatura:

Prof. Dr. Paulo Henrique de Souza
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Esse tópico de agradecimento é dedicado à diversas pessoas e o que acredito. Primeiramente, ao Universo que, a todo momento me acolheu e guiou-me. Ademais, vai para minha mãe, que permitiu-me permanecer em outra cidade com diversas ajudas, financeiras, emocionais, etc. Vai para o meu orientador, Prof Dr. Felipe Gomes Rubira, pela sua sincera atenção às minhas demandas, seu zelo ao ensinar, por incentivar e tornar possível essa etapa fundamental em minha formação acadêmica.

RESUMO

Os fatores genéticos do espaço físico-natural revelam características frágeis e suscetíveis a processos de degradação, agravados pela ocupação antrópica desprovida de planejamento, consideravelmente comprometendo a fragilidade do ambiente natural. A bacia do Rio Formiga/MG, em sua perspectiva histórica, enfrentou desafios decorrentes do desmatamento associado ao avanço da agropecuária e expansão urbana, ocasionando alterações significativas em seu regime hídrico. Diante desse contexto, esta pesquisa teve como objetivo classificar, mapear e analisar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Formiga/MG, utilizando a proposta metodológica de Ross (1994, 2012). Para alcançar esse fim, foram realizados mapeamentos de variáveis relacionadas à declividade, litologia, rede hidrográfica, solos, dissecação do relevo e uso da terra na bacia. Esses parâmetros foram sobrepostos por meio de análise ponderada associada ao processo hierárquico analítico (AHP), o que possibilitou a identificação e diagnóstico dos setores com maior fragilidade ambiental na bacia, tanto potencial quanto emergente. A correlação dessas variáveis do meio natural resultou em dados que evidenciam relevos potencialmente suscetíveis a processos erosivos, com predominância de declividade ondulada (50,02%). A classificação do uso da terra revelou o predomínio de pastagens (78,39%), com vegetação nativa limitada (4,06%), fatores que propiciam a fragilidade ambiental e a ocorrência de processos de degradação nas vertentes desprotegidas, constantemente dissecadas por águas fluviais. Os resultados da sobreposição ponderada entre as variáveis naturais resultaram na distinção de classes de baixa, média, forte e muito forte. Em relação à fragilidade emergente, ao cruzar a classe de uso da terra, obtiveram-se resultados que destacaram a predominância de classes de fragilidade emergente de fraca, média, forte a muito forte. Com base nos resultados, conclui-se que os ambientes frágeis da bacia do Rio Formiga/MG estão alinhados com sua história de ocupação e desenvolvimento, refletindo a evolução do sistema natural.

Palavras-chave: Sobreposição ponderada; Fragilidade potencial; Fragilidade emergente

ABSTRACT

Genetic factors of the natural environment exhibit fragile characteristics, susceptible to degradation processes. This, coupled with unplanned anthropic occupation, significantly exacerbates the fragility of the natural environment. In its historical perspective, the Formiga River basin in the state of Minas Gerais faced deforestation issues due to the advancement of agriculture and urban expansion, caused by alterations in its water regime. Based on these premises, this research aimed to classify, map, and analyze the environmental fragility of the Formiga River basin using Ross's methodological proposal (1994, 2012). To achieve this, mappings of variables related to slope, lithology, hydrographic network, soils, relief dissection, and land use of the basin were conducted. These parameters were overlaid through a weighted analysis associated with Analytical Hierarchy Process (AHP), a procedure that allowed mapping, identifying, and diagnosing sectors of higher environmental fragility in the basin, both potential and emerging. The correlation of these natural environment variables resulted in data highlighting areas with potential for erosive processes, with predominantly undulating slope (50.02%). Land use classification revealed a predominance of pasture (78.39%) with little native vegetation (4.06%), contributing to environmental fragility and degradation processes in unprotected slopes constantly dissected by fluvial water. The results from the weighted overlay of natural variables led to the distinction of classes ranging from low to very high fragility. Concerning emerging fragility, through the intersection with land use classes, results indicated a prevalence of emerging fragility classes: weak, moderate, strong to very strong. From the results, it was concluded that the fragile environments in the Formiga River basin align with its history of occupation and development, reflecting the evolution of the natural system.

Keywords: Weighted overlap; Potential fragility; Emerging fragility

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO FORMIGA/MG	16
FIGURA 2- MATRIZ DE DISSECAÇÃO DOS VALES.....	23
FIGURA 3- CLASSIFICAÇÃO DA DISSECAÇÃO DO RELEVO E OS CASOS EMPREGADOS EM DH E DV	24
FIGURA 4- GEOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMIGA/MG	28
FIGURA 5- AFLORAMENTO DE ORTOGNAISSE NA SEDE MUNICIPAL	28
FIGURA 6 - ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMIGA/MG	30
FIGURA 7- MAPA DE DECLIVIDADE	31
FIGURA 8 - RELEVO PLANO NO SETOR A JUSANTE.....	31
FIGURA 9 -ENTALHAMENTO DOS VALES DA BACIA DO RIO FORMIGA/MG	32
FIGURA 10 - DIMENSÃO HORIZONTAL DA BACIA H. RIO FORMIGA/MG	33
FIGURA 11- ÍNDICE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO DA BACIA DO RIO FORMIGA/MG	33
FIGURA 12 - SOLOS DA BACIA DO RIO FORMIGA/MG	35
FIGURA 13 - DENSIDADE HIDROGRÁFICA DA BACIA H. RIO FORMIGA/MG.....	36
FIGURA 14 - USO E COBERTURA DA BACIA H. RIO FORMIGA/MG	38
FIGURA 15 - PLANTAÇÃO DE SOJA	38
FIGURA 16 - SEDE MUNICIPAL	39
FIGURA 17- MODELO TRIDIMENSIONAL DO ENTORNO DO NÚCLEO URBANO DE FORMIGA	39
FIGURA 18 - FRAGILIDADE POTENCIAL DA BACIA.....	40
FIGURA 19 - FRAGILIDADE EMERGENTE DA BACIA	41
FIGURA 20 - A) EROSIÃO DO SOLO NA ÁREA URBANA; B) ASSOREAMENTO DO RIO FORMIGA NA SEDE MUNICIPAL	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- FRAGILIDADE DA LITOLOGIA.....	19
TABELA 2- CATEGORIAS HIERÁRQUICAS DE FRAGILIDADE DAS LITOLOGIAS	21
TABELA 3 - VOLUMES DE PRECIPITAÇÃO (ANUAL) E GRAU DE FRAGILIDADE CORRESPONDENTE.....	22
TABELA 4 - REPRESENTAÇÃO COMPARATIVA POR ROSS (1994), SBCS (2006) E GRAU DE FRAGILIDADE.....	25
TABELA 5 - CATEGORIAS DE USO E COBERTURA.....	26
TABELA 6 - CATEGORIA HIERÁRQUICA DE FRAGILIDADE DOS LITOTIPOS.....	27
TABELA 7 - PLUVIOMETRIA DOS MUNICÍPIOS.....	29
TABELA 8 - FRAGILIDADE DE DECLIVIDADE NA BACIA H. RIO FORMIGA/MG	30
TABELA 9- MATRIZ DOS ÍNDICES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO	34
TABELA 10 - FRAGILIDADE DOS SOLOS NA BACIA DO RIO FORMIGA/MG	34
TABELA 11 - CATEGORIAS HIERÁRQUICAS DA DENSIDADE HIDROGRÁFICA	37
TABELA 12 - TIPOS DE USO E COBERTURA NA BACIA HIDROGRÁFICA	37
TABELA 13 - FRAGILIDADE POTENCIAL DA BACIA DO RIO FORMIGA	40
TABELA 14 - FRAGILIDADE EMERGENTE DA BACIA DO RIO FORMIGA.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UNIFAL-MG	Universidade Federal de Alfenas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA, ANÁLISE AMBIENTAL E GEOTECNOLOGIAS	12
3.2 O MODELO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL	13
3.3 ANÁLISE SISTÊMICA EM GEOMORFOLOGIA	15
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
5. MATERIAIS E MÉTODOS	18
5.1 MATERIAIS	18
5.2 MÉTODOS	18
5.2.1 Litologia	19
5.2.2 Pluviosidade	21
5.2.3 Declividade	22
5.2.4 Dissecação do relevo	22
5.2.5 Solos	24
5.2.6 Densidade hidrográfica	25
5.2.7 Uso e Cobertura da terra	25
5.2.8 Análise Multicritério	26
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
6.1 LITOLOGIA	27
6.2 PLUVIOSIDADE	29
6.3 DECLIVIDADE	30
6.4 DISSECAÇÃO DO RELEVO	32
6.5 SOLOS	34
6.6 DENSIDADE HIDROGRÁFICA	35
6.7 USO E COBERTURA DA TERRA	37
6.8 FRAGILIDADE POTENCIAL	40
6.9 FRAGILIDADE EMERGENTE	41
7. CONCLUSÃO	43
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

A desordenada expansão e a estruturação histórica da sociedade brasileira desencadearam uma série de impactos ambientais negativos contemporâneos. Interesses econômicos relegam a conservação de recursos naturais e hídricos a segundo plano, resultando em um crescimento desordenado e prejudicial ao sistema ambiental. O processo de ocupação e desenvolvimento territorial explora desenfreadamente os recursos naturais, motivado por questões socioeconômicas, políticas e culturais que culminam na degradação da paisagem e no aumento de eventos extremos (CARRIÈRE, 2006).

Lemos Filho et al. (2017) advertem que o contínuo aumento na busca e extração dos recursos naturais acarreta na intensificação e agravamento dos processos de degradação ambiental. Os autores salientam que a escassez hídrica nas últimas décadas se tornou uma realidade recorrente, resultando no constante avanço na ocupação do solo, com a escassez ligada à volatilidade da oferta (HOEKSTRA, 1998).

Assim, a investigação dos processos que geram impactos ambientais fundamenta-se na necessidade de questionar o estado atual do ambiente. Sob esta perspectiva, Marcos (2021) aponta que as análises quantitativas e qualitativas das características físico-ambientais demandam uma abordagem multidisciplinar para analisar as complexas relações que envolvem o espaço, não isolando as demandas humanas. Na mesma linha de raciocínio, Felipe et al. (2016) salientam que uma avaliação crítica das interações humanas com o meio ambiente permite compreender os eventos de ocupação nos espaços geográficos em análise.

Neste cenário, a bacia hidrográfica, considerada uma categoria de análise espacial, demanda um planejamento e gerenciamento alinhados às necessidades humanas em relação aos recursos naturais (CARVALHO, 2014). Portanto, a pesquisa da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas, contemplando os impactos antrópicos no meio físico, torna-se crucial para a manutenção e sustentabilidade dos ecossistemas.

Com base nessas concepções teóricas, este estudo visa classificar, mapear e analisar a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica de Formiga/MG. A metodologia aplicada para o modelo de fragilidade potencial e emergente foi fundamentada na adaptação da proposta de Ross (1994, 2012), com o apoio de ferramentas de geoprocessamento do Sistema de Informações Geográficas (SIG) (álgebra de mapas e sobreposição ponderada). Para alcançar esse propósito, foram integradas à modelagem variáveis como litologia, pluviosidade, declividade e grau de dissecação do relevo, classes pedológicas, densidade hidrográfica e uso e cobertura da terra.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Classificar, mapear e analisar a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Formiga/MG a partir da proposta metodológica de Ross (2012).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o sistema ambiental por meio do mapeamento da declividade, dissecação, hipsometria, drenagem, classes de solo e o substrato geológico da bacia;
- Realizar a sobreposição ponderada de variáveis ambientais a partir de análise multicritério;
- Identificar e diagnosticar os setores de maior fragilidade ambiental na bacia.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA, ANÁLISE AMBIENTAL E GEOTECNOLOGIAS

Na convergência entre municípios e bacias hidrográficas, como debatido por Carvalho et al. (2011), os fatores socioeconômicos exercem influência diversificada na exploração dos recursos naturais, configurando esses espaços como locais propícios para a identificação de questões ambientais. Outro aspecto relevante está relacionado à crescente urbanização nos municípios brasileiros, causando diversos impactos ambientais de proporções variadas. Essa situação decorre do interesse tanto do setor público quanto do privado em captar e moldar suas características distintivas. Os anseios de expansão das sedes municipais e o crescimento da atividade agrícola acarretam prejuízos ao equilíbrio do meio físico que compõe a paisagem das bacias hidrográficas.

Segundo Bertrand (1971) a paisagem representa uma porção específica do espaço geográfico, resultante da integração dinâmica e instável dos atributos físicos, biológicos e antrópicos. Nessa ótica, a bacia hidrográfica assume um papel crucial ao figurar como o nível inicial de supervisão das práticas que podem resultar na degradação do meio ambiente e na redução da qualidade de vida. Dessa forma, a utilização de ferramentas SIG em estudos ambientais, com ênfase no geoprocessamento, pode contribuir significativamente para as análises devido à sua relevância para as geociências. Essas ferramentas possibilitam a elaboração de mapas temáticos que contemplam as características do ambiente, integrando e conectando diversas variáveis, capacitando a identificação de regiões com fragilidade ambiental e a detecção de elementos erosivos (SILVA, 2013).

3.2 OCUPAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO FORMIGA (MG)

A Bacia Hidrográfica de Formiga/MG, integrada ao município homônimo, compõe a mesorregião oeste do estado de Minas Gerais. Este município, situado na região intermediária de Divinópolis/MG, destaca-se na localidade devido à sua industrialização, comércio e economia proeminentes nos setores de vestuário e siderúrgico/metalúrgico. Além disso, exerce um papel estratégico na logística regional (SILVA, 2018).

No ano de 1858, a área correspondente à atual cidade de Formiga era parte da rota de abastecimento da capitania mineira, sendo reconhecida como uma das principais paradas frequentadas por bandeirantes. Essa localidade evoluiu para se tornar o Arraial São Vicente Férrer da Formiga em 1780 e, posteriormente, recebeu o status de Vila Nova da Formiga em 1839. Esse desenvolvimento coincidiu com a construção da atual Igreja Matriz São Vicente Férrer, que desempenhou um papel importante no registro de eventos religiosos cotidianos, como casamentos, batizados e óbitos (COELHO, 2016).

O nome "Formiga" tem sua origem associada a aldeamentos indígenas na região, ocasionalmente referidos como "formigas". O estabelecimento do distrito de Formiga ocorreu por meio do decreto de 14 de julho de 1832. Posteriormente, pela Lei Provincial nº 134, de 16 de março de 1839, adquiriu a denominação de Vila Nova da Formiga, a partir do território desmembrado de Itapeçerica (CORREA, 1993).

Na década de 1970, Formiga/MG viu o início das atividades da indústria de confecções, tornando-se um aglomerado produtivo têxtil com empresas formalmente constituídas, inscritas na Receita Estadual do estado de Minas Gerais. Simultaneamente, indústrias do mesmo ramo em São Paulo e Rio de Janeiro passaram por um processo de reestruturação, centrado na redução de custos e impulsionando o fenômeno da terceirização, resultando na contratação de pequenas firmas (MOREIRA, 2006).

3.2 O MODELO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL

A proposta metodológica de Ross (1994, 2012) tem sua base na abordagem de Tricart (1977), intitulada "Ecodinâmica". Tricart (1977) desenvolveu o conceito em torno do equilíbrio dos ecossistemas, enfatizando que permanecem estáveis quando equilibrados e se tornam instáveis quando desequilibrados. O autor ressaltou a influência das atividades humanas nos ecossistemas, exigindo uma análise espacial para compreender as interações e padrões dos sistemas naturais. Tricart (1977) também observou que os seres humanos desempenham um papel ativo nos ecossistemas em que habitam, provocando transformações nas paisagens e, conseqüentemente, afetando o estado natural desses ambientes.

Dessa forma, Ross (1994) apresentou o método de "análise empírica da fragilidade em ambientes naturais e antropizados", aprimorando essa metodologia em 2012 com a publicação intitulada "*landforms and environmental planning: potentialities and fragilities*". Essa obra introduziu a concepção dos estudos de fragilidade ambiental e sua relevância no planejamento, seja ele ambiental ou socioambiental. Nesta perspectiva, o autor enfatiza que:

[...] os estudos integrados de uma área específica requerem compreensão sobre a função dinâmica do ambiente natural com ou sem intervenção humana. Devido a todos os problemas ambientais causados por práticas econômicas predatórias que marcaram a história da humanidade, torna-se ainda mais necessário o Planejamento Físico Territorial, não apenas do ponto de vista econômico e social, mas também ambiental. Dessa forma, a preocupação dos planejadores, políticos e da sociedade como um todo ultrapassa os limites dos benefícios do desenvolvimento econômico e tecnológico, sendo também necessário considerar o desenvolvimento que leve em conta as potencialidades dos recursos e, especialmente, as fragilidades ambientais (ROSS, 1994, p.64).

Dessa forma, constata-se que as interações presentes no meio físico-natural, regidas pelo relevo, solo, vegetação, clima, hidrografia e geologia, são significativamente impactadas pela ação antrópica, que altera a estabilidade desse meio. Daí a importância de compreender tanto a fragilidade potencial quanto a emergente (BERTRAND, 1968).

Na metodologia proposta por Ross (1994, 2012), associa-se cada variável natural a uma classe de fragilidade, que varia de muito alta para muito baixa e indica a predisposição de uma determinada área a sofrer impactos ou alterações em seu equilíbrio natural (fragilidade potencial). Essa avaliação depende das características físicas da região, que podem ser mais ou menos vulneráveis às interferências antrópicas, representadas no modelo de fragilidade emergente pela variável uso da terra. Essa condição resulta na perturbação do equilíbrio e contribui para a avaliação da suscetibilidade de uma área às alterações provocadas pelas perturbações antropogênicas.

Nesse cenário, a utilização do solo se apresenta como uma das variáveis mais influentes e de maior relevância no contexto da fragilidade ambiental, pois identifica categorias de informação relacionadas aos diferentes tipos de cobertura da terra (ROSS, 2012). A delimitação e avaliação das diversas categorias de ocupação da terra têm o potencial de fornecer indicadores essenciais associados a questões como desmatamento, cursos de água, padrões urbanos, conflitos em Áreas de Preservação Permanente (APPs) e outros fatores (NOVO, 1992).

Da mesma forma, as chuvas desempenham um papel decisivo na avaliação da transformação da paisagem, uma vez que impacta a intensidade dos processos morfogênicos, especialmente nos processos erosivos (BOIN, 2000). As diversas formas de relevo também

indicam mudanças, sejam elas históricas ou contemporâneas, relacionadas às várias influências que afetaram os elementos da paisagem (ROSS, 2019). De acordo com Holzer (1997), compreender a origem das formas de relevo pode revelar vulnerabilidades ou discrepâncias que têm o potencial de orientar abordagens estratégicas na conservação do meio ambiente.

3.3 ANÁLISE SISTÊMICA EM GEOMORFOLOGIA

Os elementos físicos-naturais representados pelo clima, rocha, solo, relevo, vegetação e hidrografia possuem atributos com características específicas que, quando submetidos às interações impostas por entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) de matéria e energia no sistema, transformam-se, impondo como resultado a reorganização e modificação da paisagem antes observada (SOTCHAVA, 1977).

Nessa dinâmica, chuvas torrenciais concentradas nas cabeceiras de drenagem (*input* de energia e matéria), podem acarretar na destruição de formas de relevo aluviais por meio do aumento de intensidade erosiva (transformações da matéria), induzida pela maior velocidade e vazão momentânea de um rio (cabeças e trombas d'água por exemplo). Ao mesmo tempo novas superfícies geomorfológicas podem ser desenvolvidas a partir do transporte e deposição do material erodido em setores à jusante do curso d'água (COELHO, 2019).

Por outro lado, do mesmo modo que o relevo, a rede de drenagem também pode se adaptar às transformações suscitadas pela entrada de energia no sistema, principalmente após períodos de débitos (avulsões fluviais). O próprio relevo desenvolvido durante evento torrencial antecessor pode criar novos obstáculos para o fluxo, que por meio da divagação lateral o contorna, efetivando novo rearranjo da drenagem no decorrer da busca pelo equilíbrio dinâmico (GILBERT, 1877; STRAHLER, 1950a; 1950b; HACK, 1960).

Fatores endógenos deformacionais também podem provocar o mesmo efeito. Substratos rochosos quando submetidos a uma força de compressão tectônica podem se romper e originar falhas de cavalgamento. Inversamente, quando o bloco rochoso é submetido a uma tensão distensiva, pode se afastar originando falhas normais. Estas estruturas falhadas, caso cruzam transversalmente um rio, podem desenvolver ressaltos convexos denominados pela literatura internacional de “*knickpoints*” e/ou anomalias de drenagem pela literatura nacional (modificação da drenagem).

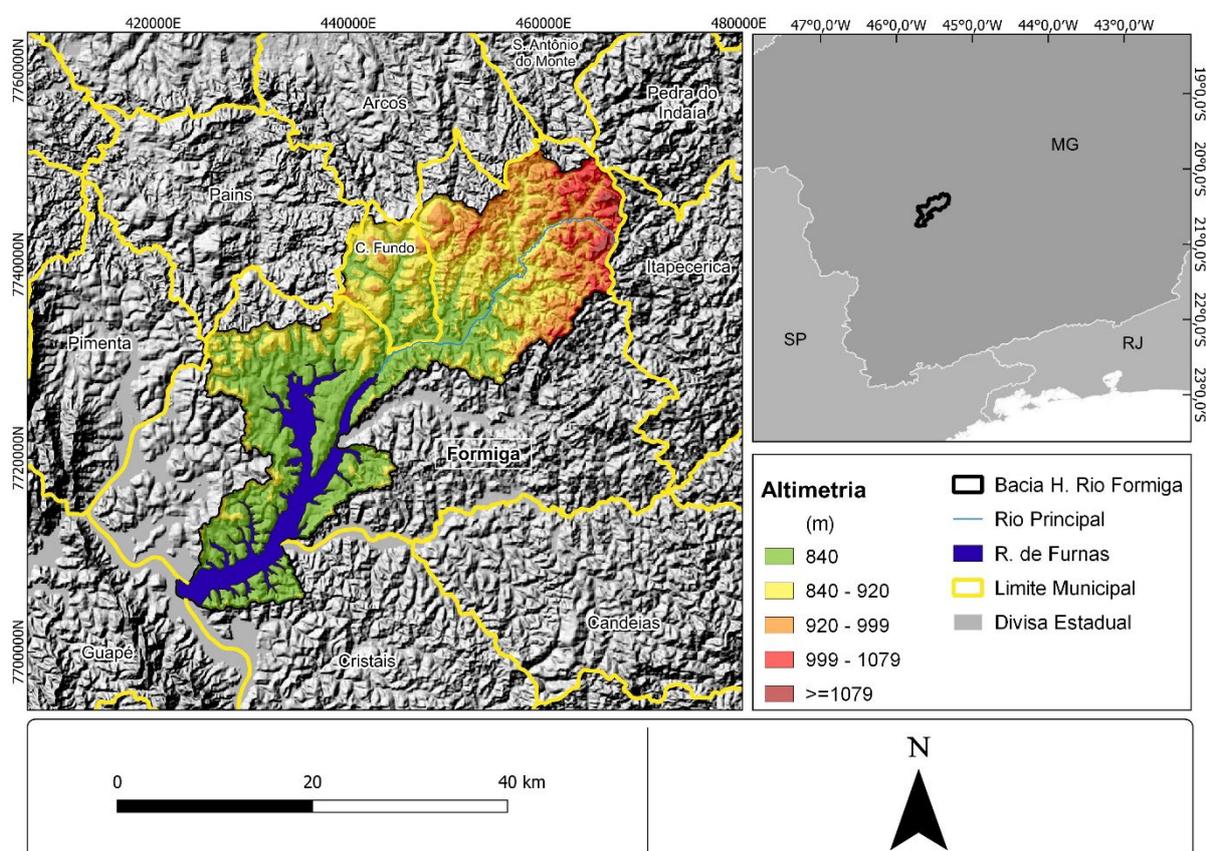
Além dos fatores de ordem naturais (climáticos, tectônicos e estruturais), as bacias hidrográficas ainda são submetidas às transformações impostas pelas ações antrópicas. Estas, representadas principalmente por atividades econômicas do uso da terra, alteram o mosaico de elementos das paisagens, modificando a dinâmica erosiva/deposicionais das encostas e cursos

d'água. A rede de drenagem e o relevo, também vão responder rapidamente às transformações impostas pelo homem. Um caso extremamente comum e recorrente na área de estudo associa-se à alteração do balanço sedimentar do rio devido à construção de barragens para o represamento de água, impondo modificações erosivas/deposicionais tanto à montante quanto a jusante das barragens (ARAÚJO, ALMEIDA e GUERRA, 2007).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Formiga (MG) abrange os municípios de Formiga, Córrego Fundo e Cristais, inseridos na mesorregião Oeste de Minas Gerais, mais especificamente na microrregião Centro-Oeste do estado (Figura 1). Formiga, que tem sua sede localizada na bacia, possui 68.248 habitantes e área territorial de 1.501.915 km² (IBGE, 2022).

Figura 1- Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Formiga/MG



Fonte: Autor 2023

A geologia da área é composta por sedimentos clásticos Quaternários encontrados em trechos do rio com leito aluvial e; por rochas metamórficas cuja gênese está associada às transgressões e regressões marinhas que envolveram o Cráton do Rio São Francisco há mais

de quinhentos milhões de anos antes do presente, durante a era Proterozóica (FONSECA, 2015). A composição litológica da Bacia Hidrográfica é caracterizada pelas unidades: Gnaiss-Itapecerica, Sete Lagoas, Samburá Metaconglomerado, Samburá Metapelito, Itapecerica e depósitos aluvionares. As rochas presentes incluem Sedimentos Clásticos (Areia e Argila), Metaconglomerado Polimítico, Metagrauvaca Lítica, Metapelito, Ortognaisses e Leucogranitos.

O relevo da área é caracterizado por morros e planícies de inundação que se alternam entre 1170 e 753m de altitude. A montante encontram-se morros em maiores altitudes onde espacializam-se as declividades mais acentuadas da bacia. A jusante, espacializam-se morros de menores altitudes e planícies de inundação, onde espacializam-se as declividades mais suaves da bacia. Esta configuração geomorfológica evidencia zonas com maior tendência de exportação e acomodação de sedimentos, respectivamente a montante e a jusante.

O clima da bacia hidrográfica do rio Formiga é classificado como subtropical úmido com inverno seco e verão quente (Cwb) e subtropical úmido com inverno seco e verão temperado (Cwa) (KÖPPEN, 1936; ALVARES et al., 2014). As temperaturas variam de -3°C e 18°C no inverno, e entre 20°C e 27°C no verão (MARTINS et al., 2018). Os biomas correspondem à Mata Atlântica e Cerrado. Por se tratar de uma faixa de transição dos biomas a vegetação apresenta diversas fisionomias, com árvores de pequeno porte, vegetação rasteira e vegetação florestal (RIBEIRO e WALTER, 1998). Na bacia hidrográfica do rio Formiga a Mata Atlântica espacializa-se predominantemente nos setores de maiores altitudes e clima Cwb, enquanto o Cerrado em menores altitudes e clima Cwa.

As classes de solo vinculam-se à Cambissolos (solos poucos desenvolvidos), Gleissolos (solos ocasionalmente arenosos, saturados por água), Latossolos vermelho-amarelo e Latossolos vermelho (intemperização intensa dos minerais de óxidos de metais de baixa saturação com valor inferior a 50%), Argissolos vermelho (solos com atividade de argila baixa, ou alta com saturação por bases baixas ou de caráter alumínico) e Neossolos Litólicos (solo pouco evoluído, em formação (TABALIPA, 2012; FONSECA, 2015; PEREIRA et al, 2019).

No contexto hidrológico, a bacia hidrográfica do rio Formiga está inserida na bacia hidrográfica de maior impacto econômico da região, a do rio Grande. A rede de drenagem da bacia do rio Formiga é composta por canais de médio porte e pequenos tributários, apresentando um padrão dendrítico. Destaca-se o reservatório de água da Usina Hidrelétrica de Furnas, que faz confluência com o rio Formiga e possui a maior extensão de água do Estado de Minas Gerais (SUAREZ; SOARES FILHO, 2013; SOBRINHO, 2017).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

Foram utilizados os seguintes softwares e bases cartográficas:

- *Softwares* QGIS 3.28.11 e ArcGis 10.6;
- Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus da Missão TanDEM-X, com resolução espacial de 30 metros, disponíveis da plataforma online OpenTopography (<https://opentopography.org/>);
- *Shapefile* da geologia disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2020) na escala de 1:1.000.000 (<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21828>);
- *Shapefile* das classes de solos com escala 1:650.000 (UFV et al., 2010), disponível no site do Departamento de Solos Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa (<https://dps.ufv.br/software/>);
- *Shapefile* da rede de drenagem disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2014), na escala de 1:100.000, associada à base hidrográfica ortocodificada da bacia do rio Grande, (<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b13fa102-148d-4c4a-b7cd-02f23027e5c1>);
- Bases de dados de índices pluviométricos disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- Plugin MapBiomias no QGIS dados de 2023.

5.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada para calcular os índices de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica fundamentou-se nas contribuições de Ross (1994, 2012). Nessa abordagem, as variáveis consideradas por Ross (1994) para o modelo de fragilidade potencial e emergente incluem o índice de dissecação do relevo, declividade, solo, precipitação e uso da terra (variável antrópica). Entretanto, neste estudo, adicionamos duas novas variáveis: litologia e densidade hidrográfica. O objetivo dessa adaptação visa uma maior representatividade de todos os elementos físicos da paisagem que constituem a concepção geossistêmica, refletindo melhor as condições locais de fragilidades.

O modelo propõe a hierarquização de cada uma dessas variáveis em cinco (5) classes, de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentam valores

próximos de um (1), valores intermediários três (3) e, de maior vulnerabilidade, próximo de cinco (5). A hierarquização numérica (de 1 a 5) representa de forma quantitativa, e, de forma qualitativa, as categorias muita baixa, baixa, média, alta e muito alta fragilidade.

Utilizamos o Processo de Hierarquia Analítica (AHP, do inglês *Analytic Hierarchy Process*) para o cruzamento dessas variáveis em ambiente SIG. Essa ferramenta envolve um conjunto de procedimentos e indicadores que facilitam a tomada de decisões. A seleção das variáveis e a organização delas em uma hierarquia a ser cruzada devem ser congruentes com a essência da área, permitindo, assim, a escolha das alternativas mais adequadas para enfrentar as complexidades inerentes aos fenômenos ambientais a serem investigados. Isso leva em consideração os diversos critérios, pesos e perspectivas a serem adotado (JANNUZZI, MIRANDA, SILVA, 2009).

Todos os produtos para o cálculo da fragilidade ambiental passaram por conversão do formato vetorial para raster com resolução espacial de pixel de 30 m, no Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, com o Datum SIRGAS 2000 - Zona 23S. Foram empregados os *softwares* ArcGIS 10.6 e QGIS 3.28.

5.2.1 Litologia

Realizamos o *download* do arquivo *shapefile* de geologia pelo Sistema Geológico do Brasil (GEOSGB). Posteriormente, realizamos o recorte das informações no *software* QGIS 3.28.11, a partir da delimitação da Bacia Hidrográfica (Vetor > Geoprocessamento > Recortar). Em seguida, realizamos a classificação da fragilidade dos tipos de rocha com base na escala de vulnerabilidade proposta por Crepani et al. (2001), correlacionada com a hierarquia estabelecida por Ross (2012) (Tabela 1).

Tabela 1- Fragilidade da Litologia

Litotipos associados a escala de Vulnerabilidade Crepani et al. (2001)			
Quartzitos, ou metaquartzitos	1,0	Filito, Metassiltito	2,1
Riolito, Granito, Dacito	1,1	Ardósia, Metargilito	2,2
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Mármore	2,3
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Arenitos quartzosos, ou ortoquartzitos	2,4
Fonolito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5

Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Grauvacas, Arcózios	2,6
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Siltitos, Argilitos	2,7
Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Folhelhos	2,8
Piroxenito, Anfíbolito Kimberlito, Dunito	1,8	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios.	3,0
Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	-	-

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001)

Crepani et al. (2001) destacam que em cenários de intensa dissecação e vales menores, como é o caso da bacia do rio Formiga, recomenda-se atribuir níveis mais elevados de vulnerabilidade ao tipo de litologia. Isso ocorre devido à maior capacidade de erosão pelo escoamento das águas. Os autores apresentam a concepção desses valores, destacando:

Quanto maiores forem os interflúvios (ou menor for a intensidade de dissecação) menores são os valores atribuídos às unidades de paisagem natural na escala de vulnerabilidade, ou seja, valores mais próximos à estabilidade (valores próximos a 1,0), da mesma forma as unidades de paisagem natural que apresentem os menores interflúvios (ou maiores intensidades de dissecação) recebem valores da escala de vulnerabilidade mais próximos de 3,0 (próximos da vulnerabilidade). A intensidade da dissecação pela drenagem pode ser obtida a partir de medidas, realizadas nas cartas topográficas ou nas imagens de satélite, da amplitude dos interflúvios (distância entre canais de drenagem) ou da densidade de drenagem (número de canais/unidade de área), parâmetro este inversamente proporcional ao primeiro.

Na área da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga/MG, as diversas variações de rochas encontradas, como Metagrauvacas, Metaconglomerados e Metapelitos, foram adaptadas para relacionar o total dessa variação ao grau de fragilidade correspondente. Em seguida, a soma total foi dividida pela quantidade correspondente, resultando em um valor médio de fragilidade entre essas rochas.

As Metagrauvacas e Metaconglomerados apresentaram duas variações compostas por Metadiamicrito (2,5) e Ardósia (2,2); os Metapelitos exibiram oito variações, sendo Metamarga (2,9), Metacalcário (2,9), Dolomito (2,9), Siltito (2,7), Argilito (2,7), Dolarenito (2,9), Calcarenito (2,9), Calcissiltito (2,9); o Ortognaisse possui apenas um tipo, Gnaisse (1,3); e os Leucogranitos, associados ao granito (1,1), também possuem apenas uma variação (Tabela 2).

Tabela 2- Categorias hierárquicas de fragilidade das litologias

Litotipos Predominantes	Variações	Grau de Vulnerabilidade (Crepani et. al 2006)	Grau de Fragilidade (Ross, 1994)
Leucogranitos	Granito	1,1	Muito Baixa (1)
Ortognaisses	Gnaisse	1,3	Baixa (2)
Metagrauvascas, Metaconglomerados	Metadiamicrito (2,5), Ardósia (2,2)	2,3	Média (3)
Metapelitos	Metamarga (2,9) Metacalcário (2,9) Dolomito (2,9) Siltito (2,7) Argilito (2,7) Dolarenito (2,9) Calcarenito (2,9) Calcissiltito (2,9)	2,8	Alta (4)
Sedimentos Clásticos		3,0	Muito Alta (5)

Fonte: Autor 2023

5.2.2 Pluviosidade

Processamos o índice pluviométrico utilizando a base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Efetuamos o *download* dos dados pluviométricos no formato Excel referente a janeiro de 2022 a 2023, provenientes das estações meteorológicas automáticas do INMET: Formiga – MG (D6709), Bambuí – MG (A565), Divinópolis - MG (A564) e Boa Esperança – MG (83557). Em seguida, importamos a tabela no ambiente SIG (QGIS 3.28.11) e interpolamos os valores de pluviosidade por meio do comando Caixa de Ferramentas > IDW.

Criamos três novos pontos na área entre Formiga-Bambuí com o objetivo de obter maior precisão nos dados pluviométricos: (i) entre Formiga-Bambuí, com Iguatama em seu meio; (ii) entre Formiga-Divinópolis, tendo a Pedra do Indaiá como mediadora; e (iii) Formiga-Boa Esperança, com Cristais nesse limite. Em seguida, somamos os valores entre os municípios e dividimos por dois, obtendo, assim, uma média de pluviosidade para cada ponto criado. Posteriormente, relacionamos esses dados às classes de fragilidade propostas por Ross (1994, 2012) (Tabela 3).

Tabela 3 - Volumes de precipitação (anual) e grau de fragilidade correspondente

Volume de Precipitação (anual)	Grau de Fragilidade (Ross, 1994)
Volumes anuais até 1000 mm/ano.	Muito baixa (1)
Verão intenso entre dezembro e março, com volume de 1.300 a 1.600 mm/ano	Baixa (2)
Forte concentração de chuvas no verão, com volumes de 1.600 a 1.800 mm	Média (3)
Volumes anuais 1800 a 2.000 mm/ano	Alta (4)
Condição de distribuição regular de chuvas, volumes superiores a 2.500 mm/ano	Muito Alta (5)

Fonte: Adaptado de Ross (2012, p. 49)

5.2.3 Declividade

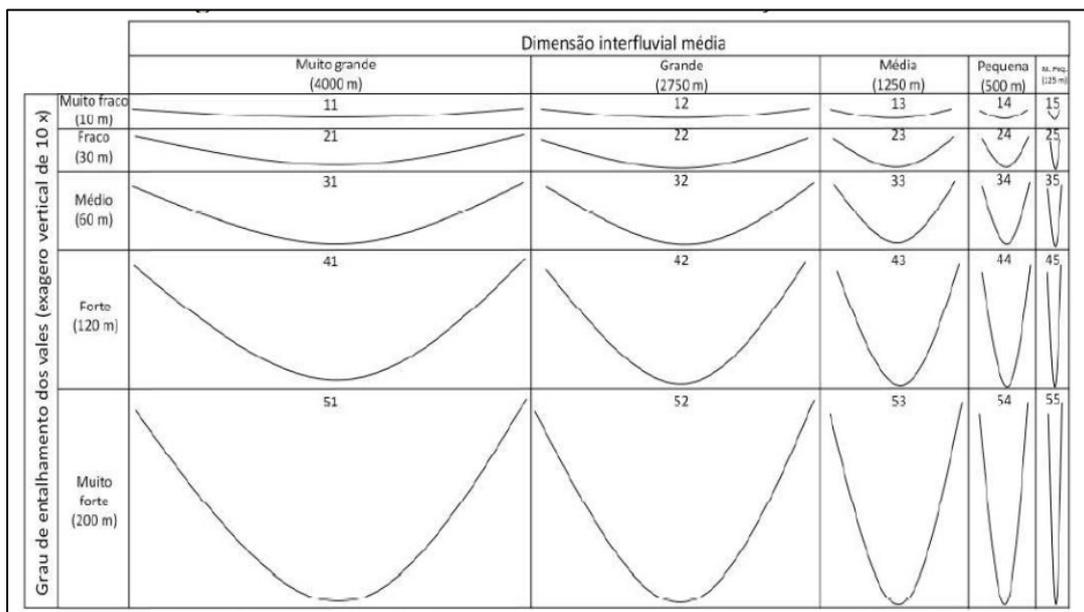
Derivamos a declividade do MDE Copernicus com resolução espacial de 30 metros no QGIS 3.28.11, recortamos o MDE no limite da bacia utilizando as funções *raster > extrair > recortar pela camada de máscara > camada de entrada (MDE) > camada máscara (limite da área) > Salvar*. Posteriormente, geramos as classes de declividade com base na proposta da Embrapa (2006), utilizando as funções: *raster > análise > declive > declividade em porcentagem > OK*.

A classificação de declividade da Embrapa (2006) é a mais utilizada no contexto atual brasileiro e divide-se em seis classes: plano (0-3%); suave ondulado (3-8%); ondulado (8-20%); forte ondulado (20-45%); montanhoso (45-75%) e escarpado (75-100%). Assim, para adequar-se às cinco classes de fragilidade propostas por Ross (1994), procedemos à adaptação unindo as duas últimas mais declivosas, classificando-as em muito fraca (0-3%), fraca (3-8%), média (8-20%), alta (20-45%) e muito alta (45-100%).

5.2.4 Dissecação do relevo

Desenvolvemos o índice de dissecação do relevo com base na metodologia proposta por Guimarães et al. (2017). A partir de uma avaliação crítica da metodologia de Ross (1994, 2012), Guimarães et al. (2017) automatizaram o índice de dissecação do relevo por meio do MDEs. Essa abordagem proporcionou maior praticidade nos cálculos, os quais envolvem a mensuração da relação entre o grau de entalhamento dos vales e a dimensão interfluvial média (Figura 2).

Figura 2- Matriz de Dissecação dos Vales



Fonte: Guimarães et. al (2017)

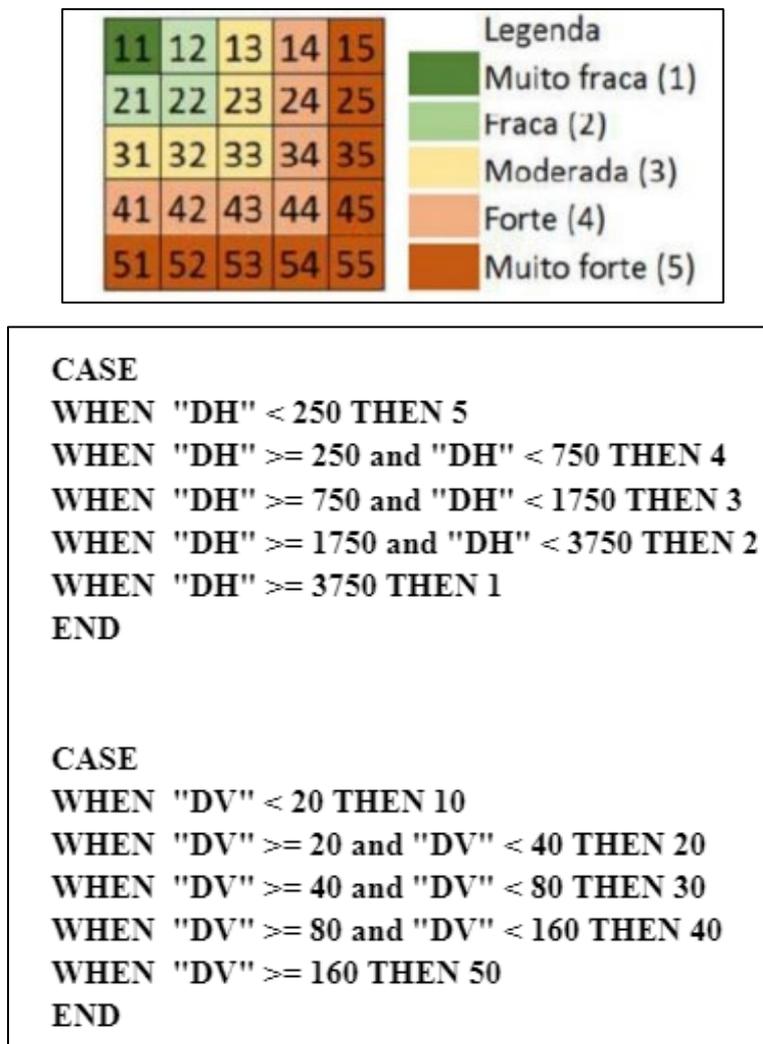
Assim, avaliamos o grau de entalhamento mediante a comparação altimétrica entre o pixel de referência localizado na parte inferior (fundo do vale/incisão fluvial) e o pixel de referência na elevação máxima da vertente (interflúvios). Desse modo, através do cálculo da amplitude altimétrica, obtivemos os valores associados ao grau de entalhamento do relevo na bacia hidrográfica (GUIMARÃES et al., 2017). No ArcGIS 10.6, realizamos esse procedimento por meio da "inversão" do MDE a partir da camada gerada pela função "fill", onde multiplicamos o MDE por -1 utilizando a calculadora raster. O produto gerado consistiu em um novo conjunto de valores caracterizados por altitudes negativas, correspondentes aos topos altimétricos invertidos.

Posteriormente, no ArcGIS 10.6 determinamos o fluxo da drenagem utilizando a ferramenta "flow direction". A partir desta camada identificamos as depressões (topos invertidos) por meio da função "sink". O raster resultante desse procedimento espacializou os pontos associados às cotas máximas. Em seguida, convertimos essa camada em um *shapefile* de pontos através do comando "raster to point", com o propósito de atribuir valores altimétricos máximos das superfícies de referência.

Esses arquivos foram importados no QGIS 3.28.11, onde utilizamos a ferramenta Estatísticas Zonais para selecionar o MDE invertido em conjunto com o *shapefile* da bacia, usando o prefixo de coluna "Intervalo" para representar a dissecação vertical (cota). No mesmo arquivo gerado, adicionamos novas colunas, calculando a área, perímetro, dimensão, comprimento da bacia e largura média (área/comprimento da bacia). Adicionalmente,

incluímos os campos DV (dimensão vertical) e DH (dimensão horizontal), ambos representando os campos cotas e largura média associados a metodologia de Ross (1994) (Figura 3).

Figura 3- Classificação da dissecação do relevo e os casos empregados em DH e DV



Fonte: Ross (1994, 2012) e autor (2023)

5.2.5 Solos

Utilizamos o *shapefile* das classes de solos na escala 1:650.000 da UFV et al. (2010) e realizamos a reclassificação de acordo com a metodologia de Ross (1994) no QGIS 3.28.11, seguindo os passos: Processamento > Caixa de Processamento > Reclassificar por tabela > Inserir camada *raster* (solos) > Reclassificação > OK. Atualizamos as nomenclaturas das classes pedológicas com o objetivo de adaptar a antiga classificação de solos utilizada por Ross (1994) às novas denominações adotadas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006).

Tabela 4 - Representação comparativa por Ross (1994), SBCS (2006) e grau de fragilidade

Antiga classificação na Proposta de Ross (1994)	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006)	Textura	Grau de Fragilidade (Ross, 1994)
Latossolo Roxo, Vermelho escuro, Vermelho-amarelo	Latossolos	Argilosa	Muito Baixa (1)
Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-amarelo	Latossolos	Média/Argilosa	Baixa (2)
Latossolo Vermelho-amarelo, Terra roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-amarelo	Latossolos, Nitossolos, Argissolo Vermelho-amarelo, Argissolo Vermelho	Média/Argilosa	Média (3)
Podzólico Vermelho-amarelo, Cambissolo	Argissolo Vermelho-amarelo, Cambissolo	Média/Arenosa	Alta (4)
Podzolizados com cascalho, Litólicos, e Areias Quartzosas	Gleissolos, Neossolos	Com Cascalho	Muito Alta (5)

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012)

5.2.6 Densidade hidrográfica

A densidade hidrográfica é uma medida que relaciona o número total de canais por área da bacia (TEODORO et al., 2007). Esse índice é capaz de indicar as relações da concentração de cursos d'água, a capacidade de infiltração de água, a contribuição para o suprimento do lençol freático e a capacidade de gerar novos fluxos de água, além de expressar o grau de dissecação topográfica promovida pela ação fluvial (HORTON, 1945).

Desenvolvemos esse índice utilizando o *shapefile* da rede de drenagem disponibilizado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2014), na escala de 1:100.000, associado à base hidrográfica ottocodificada da bacia do rio Grande. No ArcGIS 10.6, aplicamos a função *Kernel Density (Spatial Analyst Tools > Density > Kernel Density)* e, em seguida, reclassificamos os dados em cinco classes de densidade (muito forte, forte, média, fraca e muito fraca), por meio dos comandos (*Properties > Classified > Classify > Equal Interval*). Esses procedimentos visaram equalizar os valores de densidade conforme a metodologia de fragilidade de Ross (1994, 2012).

5.2.7 Uso e Cobertura da terra

O processamento do índice de uso e cobertura foi conduzido pelo plugin do MapBiomas no software QGIS 3.28.11, onde efetuamos o recorte no limite da área de estudo. Na sequência

convertemos o arquivo *raster* em vetor pelo comando: *Raster* > Converter > *Raster* para Vetor. O passo subsequente consistiu na criação de uma coluna de fragilidade e uso e cobertura, estabelecendo uma relação entre dados qualitativos e quantitativos, conforme classificação apresentada por Ross (2012) (tabela 5).

Tabela 5 - Categorias de Uso e Cobertura

Categorias do uso e cobertura da terra	Grau de Fragilidade (Ross, 2012)
Altíssima proteção dos solos, florestas primárias e secundárias com alto estágio de regeneração	Muito Baixa (1)
Alta proteção dos solos, densa floresta, silvicultura com cobertura herbácea	Baixa (2)
Proteção média dos solos, de culturas de ciclo longo para forragem de café, silvicultura, pasto, e baixo pisoteio de gado	Média (3)
Fraca proteção dos solos de cultura de ciclo longo, e ciclo curto	Alta (4)
Proteção do solo muito fraca, terra desmatada com práticas de queimadas, solos expostos para cultivo e terraplanagem, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas	Muito Alta (5)

Fonte: Adaptado de Ross (p. 49, 2012)

5.2.8 Análise Multicritério

Na formulação das análises de fragilidade das múltiplas variáveis, é imperativo estabelecer critérios para a tomada de decisões. Ao avaliar a fragilidade de uma rocha, considera-se a sua suscetibilidade ao intemperismo. Esse princípio é estendido às demais variáveis do modelo, às quais se atribuíram pesos durante o processo de sobreposição ponderada, com base na observação da maior ou menor influência que exercem para a fragilidade da bacia.

Na realização da sobreposição ponderada, empregamos o Método de Análise Hierárquica, também reconhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (SAATY, 1988). O AHP implica uma relação matemática das informações do objeto de análise, com as variáveis organizadas hierarquicamente e comparadas entre si. Isso resulta em conclusões que evidenciam conflitos e associações entre os elementos estudados.

No *software* ArcGIS v. 10.6, empregamos a função "*weighted overlay*" para criar os mapas de fragilidade potencial e emergente da bacia hidrográfica do Rio Formiga/MG. Para tanto, atribuímos pesos a cada variável no intervalo de zero (0) a cem (100). Na fragilidade

potencial, consideramos apenas os elementos físicos naturais da bacia, distribuindo pesos da seguinte forma: densidade hidrográfica (40), dissecação do relevo (20), declividade (10), solo (20) e litologia (10), totalizando um valor de 100. Como a pluviosidade não variou, atribuímos peso zero a ela, devido à uniformidade. Deste modo, para determinar a fragilidade emergente, correlacionamos o resultado da fragilidade potencial com aspectos antrópicos derivados da variável de uso e cobertura. O peso atribuído para o cruzamento dessas duas variáveis, que gerou o mapa de fragilidade emergente, foi de 50 para cada uma.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 LITOLOGIA

A compreensão da litologia em relação à fragilidade de uma área impacta diretamente na análise da formação do relevo, no desenvolvimento das características dos tipos de solo e na ocorrência de processos erosivos e deslizamentos de terra (especialmente em áreas de encostas sem vegetação), associados a eventos de grande volume de chuva. Esses fatores agravam a degradação das encostas nas bacias hidrográficas (GUERRA et al., 2000).

A Tabela 6 e a Figura 4 apresentam informações e dados dos litotipos na bacia, juntamente com a extensão da área abrangida e a classificação de fragilidade atribuída individualmente a cada litotipo.

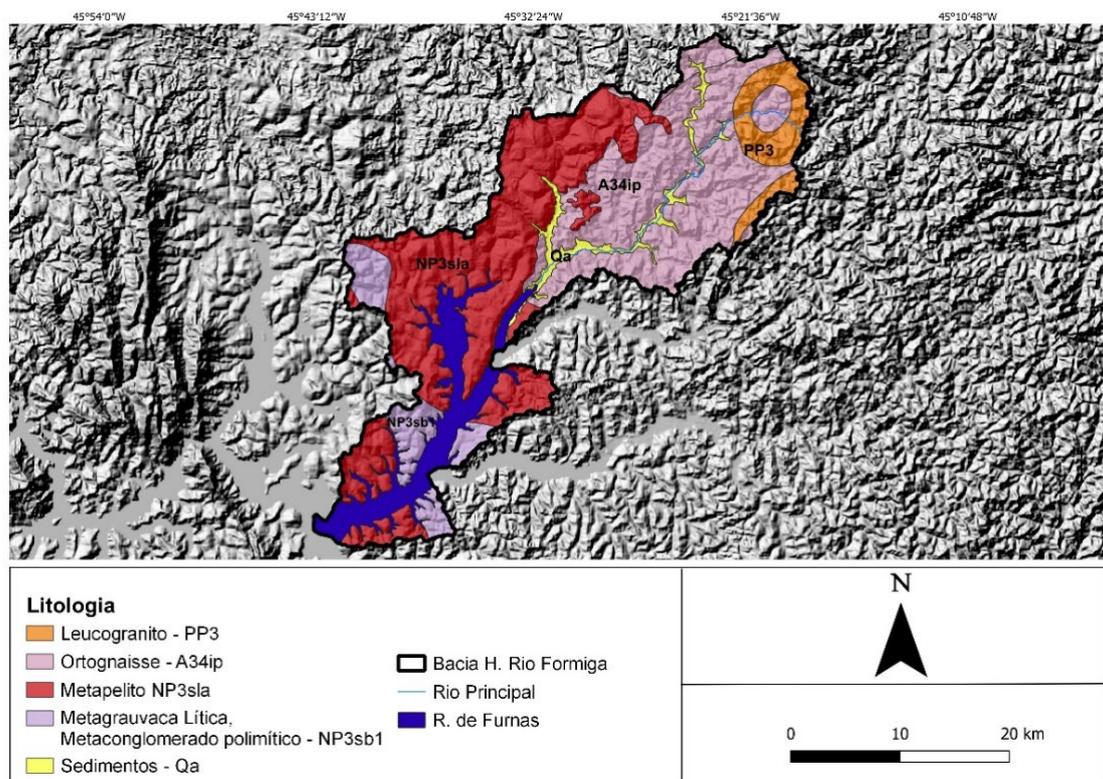
Tabela 6 - Categoria hierárquica de fragilidade dos litotipos

Rochas	Fragilidade	Área (km²)	Área (%)
Leucogranitos	Muito Baixa (1)	51,4	6,73%
Ortognaisses	Baixa (2)	269,4	35,25%
Metagrauvacas, Metaconglomerados	Média (3)	64,7	9,42
Metapelitos	Alta (4)	345,6	44,53%
Sedimentos Clásticos	Muito Alta (5)	31,0	4,07%

Fonte: Autor 2023

A bacia do rio Formiga/MG abrange variações de unidades litológicas que pertencem aos grupos Sete Lagoas, compreendendo os Metapelitos; Sambará e Samburá, representados pelas Metagrauvacas Líticas e Metaconglomerados; e Itapeçerica, compostos pelos Ortognaisses e Leucogranitos (Figura 4).

Figura 4- Geologia da bacia hidrográfica do rio Formiga/MG



Fonte: Autor 2023

Os litotipos de maiores destaques na bacia são os Metapelitos, seguidos pelos Ortognaisses, abrangendo uma área de 345,6 km² e 269,4 km², respectivamente (Figura 5).

Figura 5- Afloramento de Ortognaisse na sede municipal



Fonte: Autor 2023

Os litotipos Metagrauvas e Metaconglomerados foram classificados com fragilidade média em comparação com a elevada resistência dos Leucogranitos e Ortognaisses, e a alta suscetibilidade dos Sedimentos Clásticos e Metapelitos ao intemperismo. Essa classificação está ligada às distintas características da formação e composição mineralógica das rochas, que influenciam os padrões e intensidade dos processos de intemperismo e erosão. Como resultado, ocorre variação nas feições de relevo, tipos de solo e densidade de drenagem. Os relevos fortemente ondulados e ondulados estão associados às Metagrauvas e Metaconglomerados, enquanto os relevos suaves ondulados e planos estão relacionados aos Metapelitos.

6.2 PLUVIOSIDADE

O índice de pluviosidade na bacia do Rio Formiga/MG foi determinado a partir dos dados das estações meteorológicas automáticas dos municípios de Formiga/MG, Bambuí/MG, Divinópolis/MG e Boa Esperança/MG. A Interpolação, reconhecida como uma ferramenta importante na estimativa de dados climáticos (PERIN et al., 2015), foi empregada para implementar três novos pontos, obtidos como média entre os pontos já existentes, utilizando a ferramenta IDW. Esses procedimentos resultaram na correlação entre o volume anual de precipitação e as respectivas classes de fragilidade (Tabela 7).

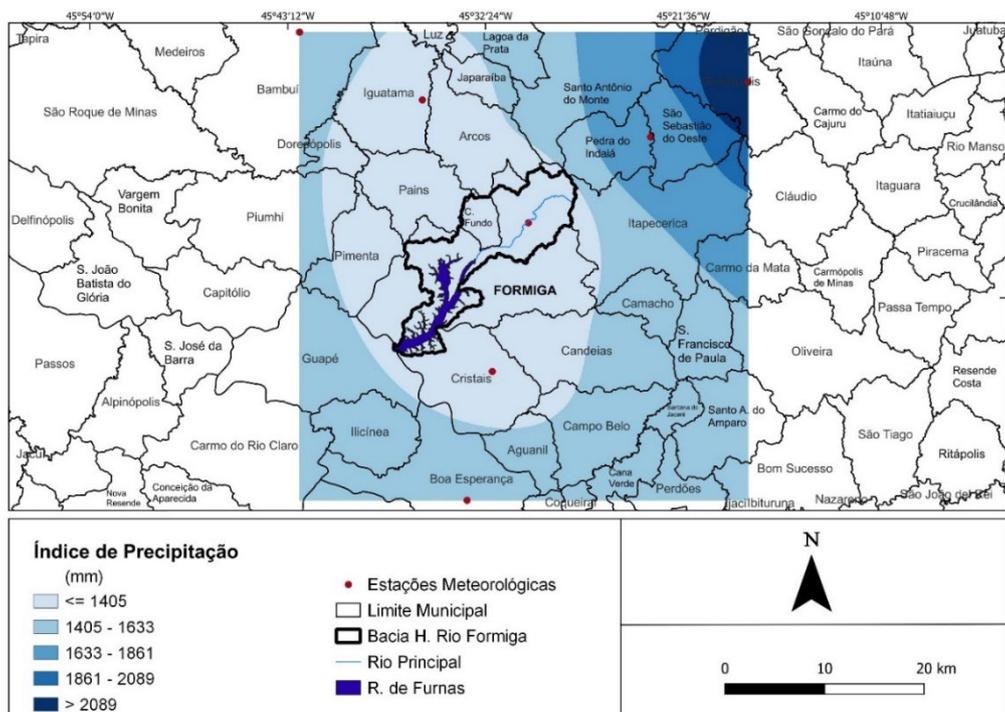
Tabela 7 - Pluviometria dos municípios

Município	Volume (anual)	Fragilidade
Formiga	1176,6 mm	Muito baixa (1)
Iguatama	1319,2 mm	Muito Baixa (1)
Cristais	1343,1 mm	Muito Baixa (1)
Bambuí	1462,0 mm	Baixa (2)
Boa Esperança	1509,6 mm	Baixa (2)
Pedra do Indaiá	1746,7 mm	Média (3)
Divinópolis	2316,8 mm	Alta (4)
Média	1553,4 mm	Baixa (2)

Fonte: Autor (2023)

Não se observaram variações de isoietas dentro da bacia do rio Formiga/MG. A interpolação indicou precipitação abaixo de 1404,6 mm/ano entre janeiro de 2022 e janeiro de 2023, associada a uma fragilidade muito baixa (1). Um ponto relevante nos dados obtidos é a ausência de volumes de chuva acima de 2500mm/ano (Figura 6).

Figura 6 - Índice pluviométrico da Bacia hidrográfica do rio Formiga/MG



Fonte: Autor 2023

6.3 DECLIVIDADE

A declividade da área de estudo, calculada pelo MDE e reclassificada conforme a EMBRAPA (2006), revela maiores inclinações em terrenos de Leucogranitos e Ortognaisses, associados a relevos montanhosos (1,16%), fortemente ondulados (10,02%) e ondulados (50,02%) (Tabela 8).

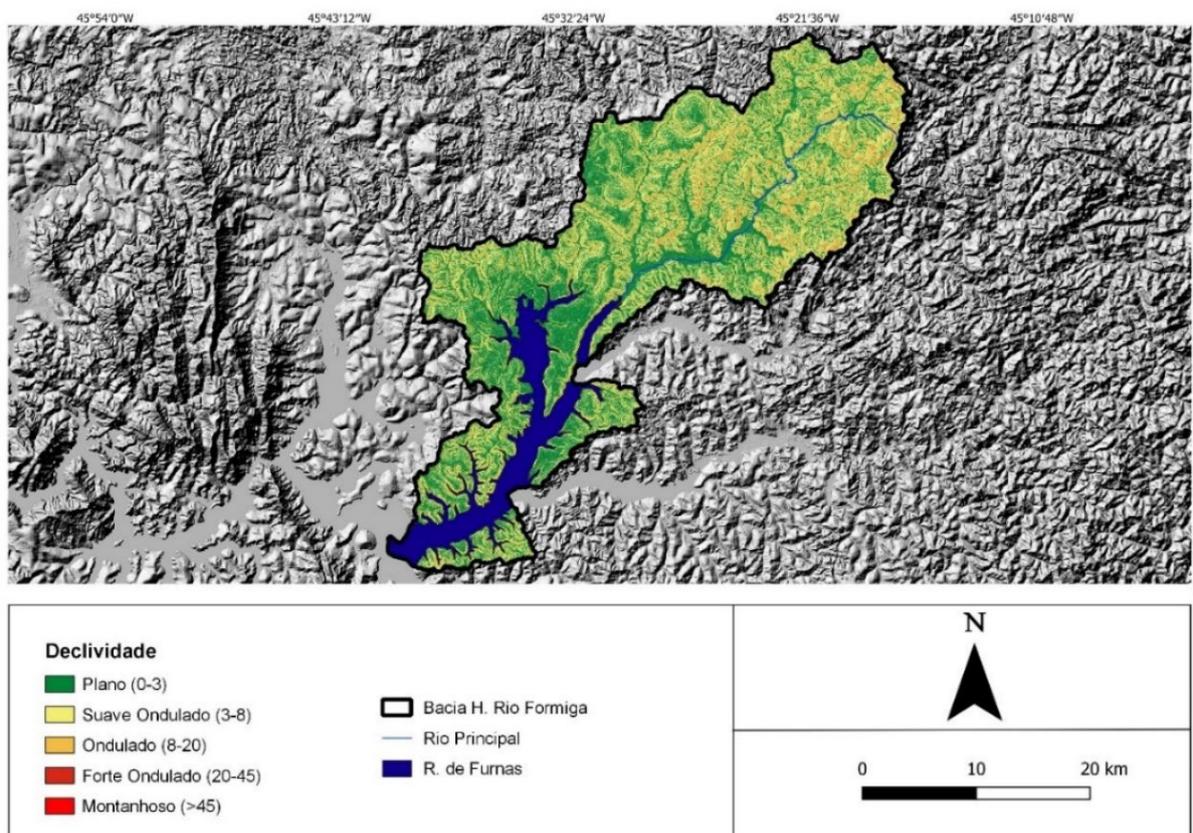
Tabela 8 - Fragilidade de Declividade na Bacia H. Rio Formiga/MG

Relevo	Intervalo	Fragilidade	Área (km ²)	Área (%)
Plano	0-3%	Muito Fraca (1)	113,59	13,92%
Suave Ondulado	3-8%	Fraca (2)	202,39	24,88%
Ondulado	8-20%	Média (3)	406,92	50,02%
Forte Ondulado	20-45%	Alta (4)	81,52	10,02%
Montanhoso	>45%	Muito Alta (5)	9,26	1,16%

Fonte: Autor 2023

Em contraste, as menores declividades estão nos setores com Metapelitos e Metagrauvacas, caracterizados por maior suscetibilidade ao intemperismo e predominância de relevos suavemente ondulados (24,88%) e planos (13,92%) (Figura 7).

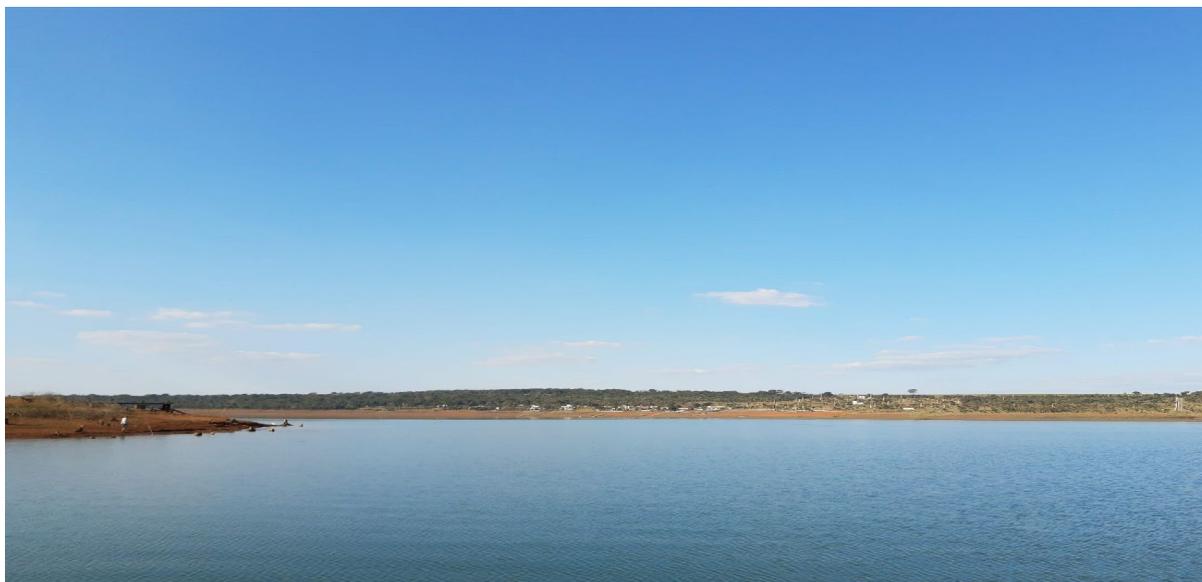
Figura 7- Mapa de Declividade



Fonte: Autor 2023

É notável o rebaixamento das superfícies geomórficas próximas ao baixo curso do rio Formiga e ao reservatório da UHE de Furnas (Figura 8).

Figura 8 - Relevo plano no setor a jusante

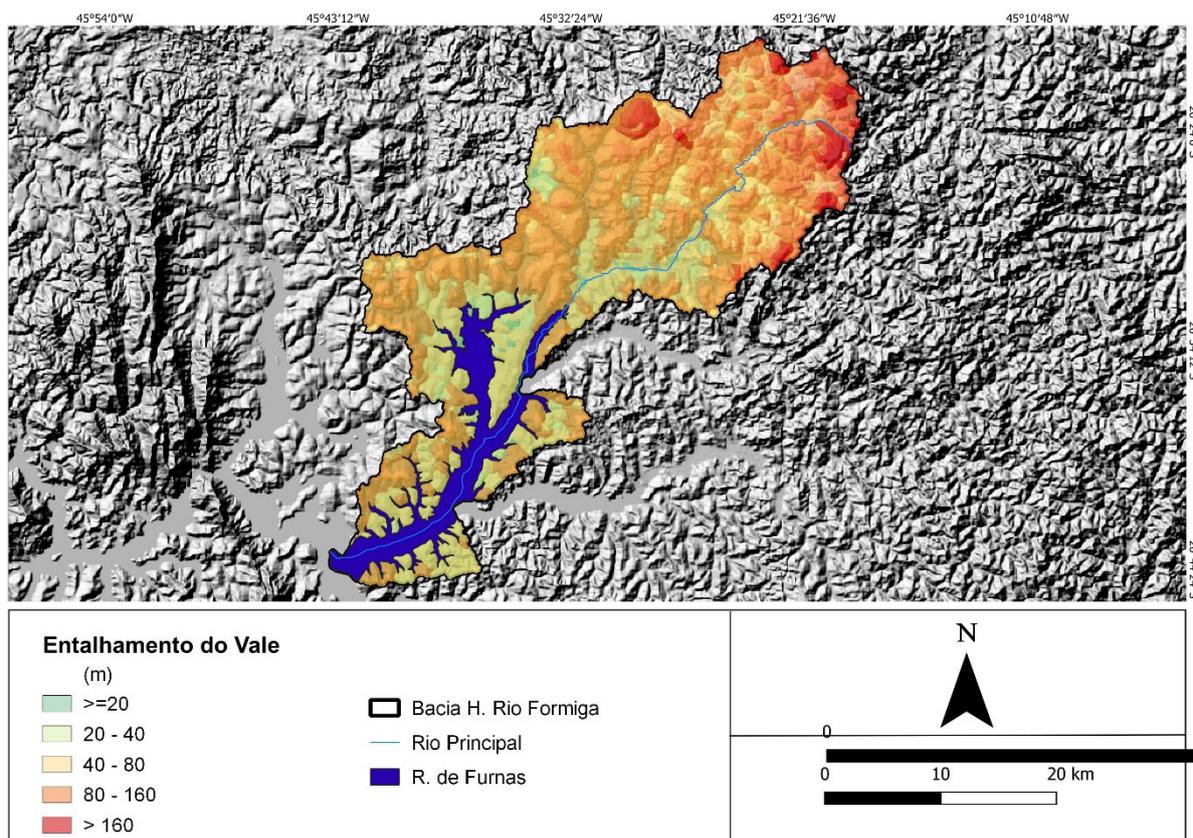


Fonte: Autor 2023

6.4 DISSECAÇÃO DO RELEVO

O entalhamento do vale na bacia do rio Formiga/MG é mais pronunciado em setores compostos por rochas de maior resistência (Ortognaisses e Metapelitos), apresentando relevos mais íngremes e maior densidade hidrográfica. Nessas áreas, a dimensão vertical varia entre 80 a 160 m, contrastando com os setores próximos ao baixo curso do rio Formiga e ao reservatório da UHE de Furnas, onde o entalhamento é de menor magnitude, variando entre 20 a 40 m (Figura 9).

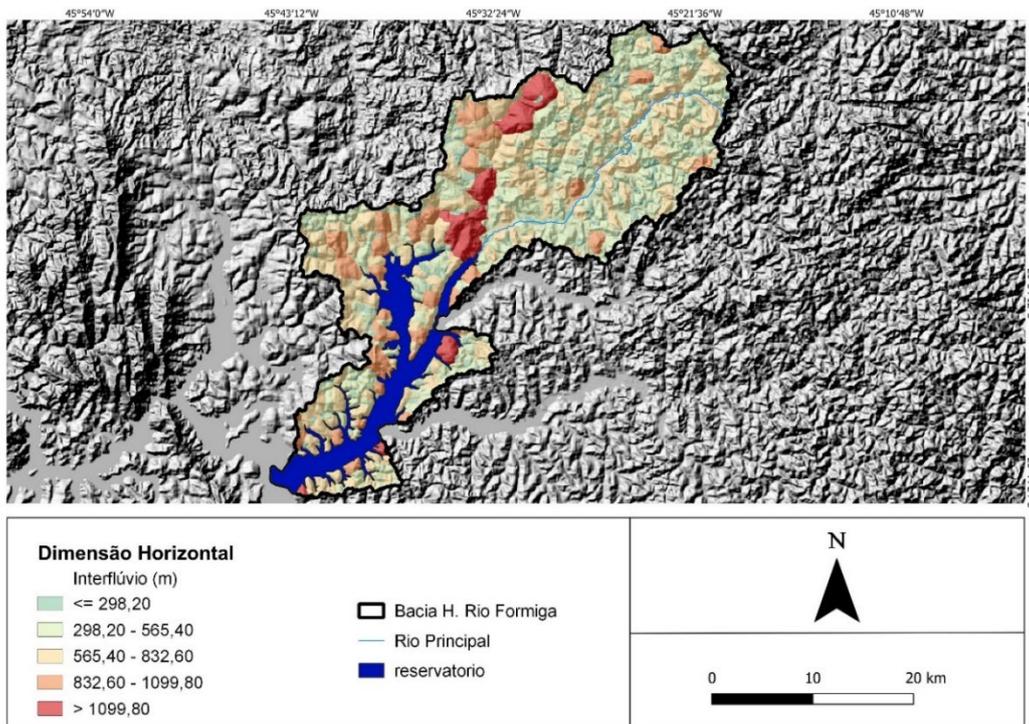
Figura 9 -Entalhamento dos vales da Bacia do rio Formiga/MG



Fonte: Autor 2023

Os valores da dimensão horizontal do relevo variam de muito baixos a muito altos na bacia do rio Formiga/MG. Nos setores norte e leste, há valores mais baixos, correlacionados aos maiores graus de entalhamento vertical, indicando vales mais profundos e menor distância entre os interflúvios. Nos setores oeste e sul, a variabilidade é significativa, com valores desde muito baixos até muito altos, refletindo a influência da erosão diferencial na modelagem dos vales fluviais. No baixo curso, os valores mais altos estão associados aos terraços fluviais, planícies de inundação do rio Formiga e planícies fluviolacustres vinculadas à represa de Furnas, correlacionados aos menores graus de entalhamento vertical (Figura 10 e 11).

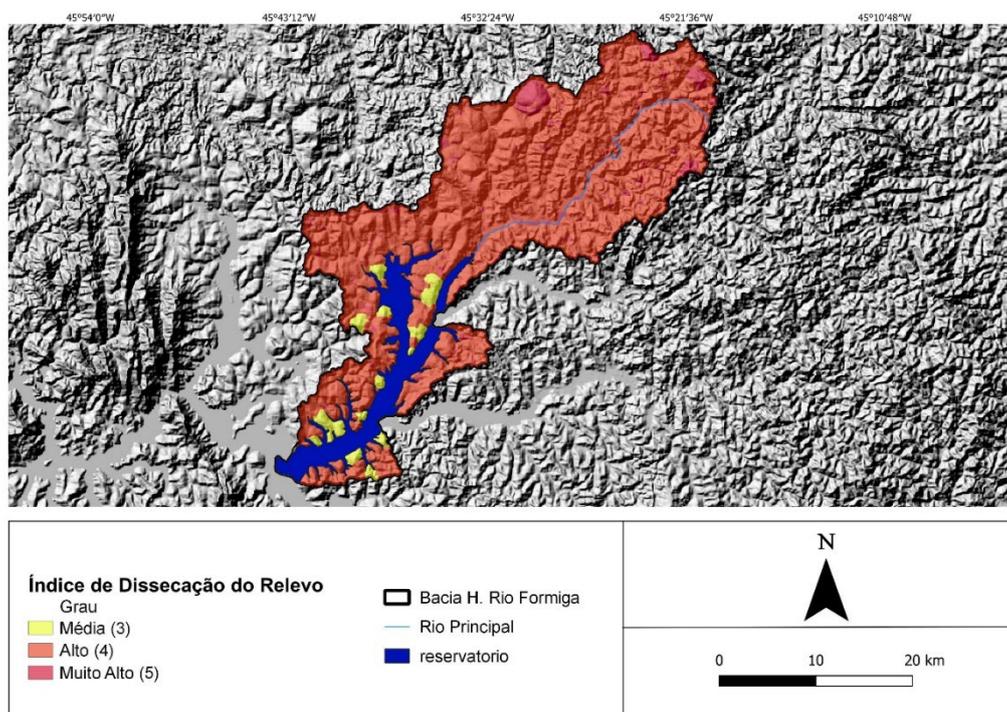
Figura 10 - Dimensão Horizontal da Bacia H. Rio Formiga/MG



Fonte: Autor 2023

Por meio do cruzamento das variáveis de entalhamento e dimensão interfluvial classificamos o índice de dissecação do relevo da bacia do rio Formiga/MG (Figura 11).

Figura 11- Índice de dissecação do relevo da bacia do rio Formiga/MG



Fonte: Autor 2023

A área apresenta valores de alta fragilidade que variam entre 14 e 55, representados em sua expressiva maioria por vales encaixados e profundos (Tabela 9).

Tabela 9- Matriz dos índices de dissecação do relevo

Categorias	Fragilidade	Área (%)	Área (km²)
23, 33	Média (3)	17,93%	80,70 km
14, 24, 34, 44	Alta (4)	70,15%	315,54 km
15, 25, 35, 45, 53, 54, 55	Muito Alta (5)	11,92%	53,55 km

Fonte: Autor 2023

6.5 SOLOS

A bacia do Rio Formiga/MG apresenta sete variações de solos: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Neossolo e Gleissolo (Tabela 10)

Tabela 10 - Fragilidade dos solos na bacia do rio Formiga/MG

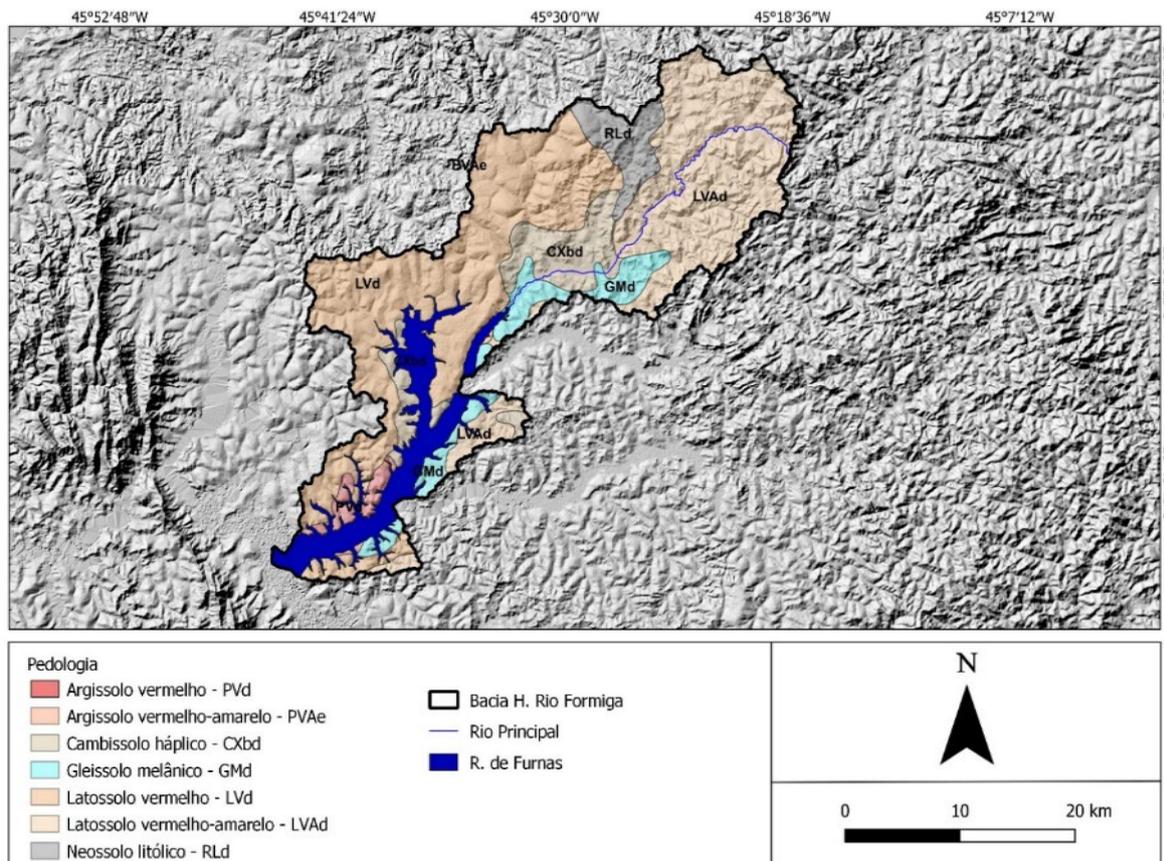
Solos	Fragilidade	Área (km²)	Área (%)
Latossolo Vermelho	Muito Baixa (1)	325,30	39,65%
Latossolo Vermelho-amarelo	Baixa (2)	242,14	29,51%
Argissolo Vermelho	Média (3)	40,73	4,96%
Cambissolo	Alta (4)	103,49	12,61%
Argissolo Vermelho-amarelo	Alta (4)	0,01	0,01%
Gleissolo	Muito Alta (5)	108,77	8,52%
Neossolo	Muito Alta (5)	38,853	4,73%

Fonte: Autor 2023

Os Latossolos Vermelhos e os Argissolos estão associados às áreas de maior intemperismo na bacia, derivadas do substrato litológico mais suscetível a esse processo (Metapelitos e Metagrauvaca), bem como da maior infiltração de água relacionada à baixa densidade hidrográfica e relevos mais suaves (Figura 12). Essa conjuntura favoreceu a atuação dos processos pedogenéticos, resultando em mantos de solos mais espessos. Por outro lado, os Latossolos Vermelho Amarelos concentram-se em terrenos associados aos Leocogranitos e

Ortognaisses, em zonas com elevadas altitudes e maiores concentrações de águas superficiais (Figura 12).

Figura 12 - Solos da bacia do rio Formiga/MG



Fonte: Autor 2023

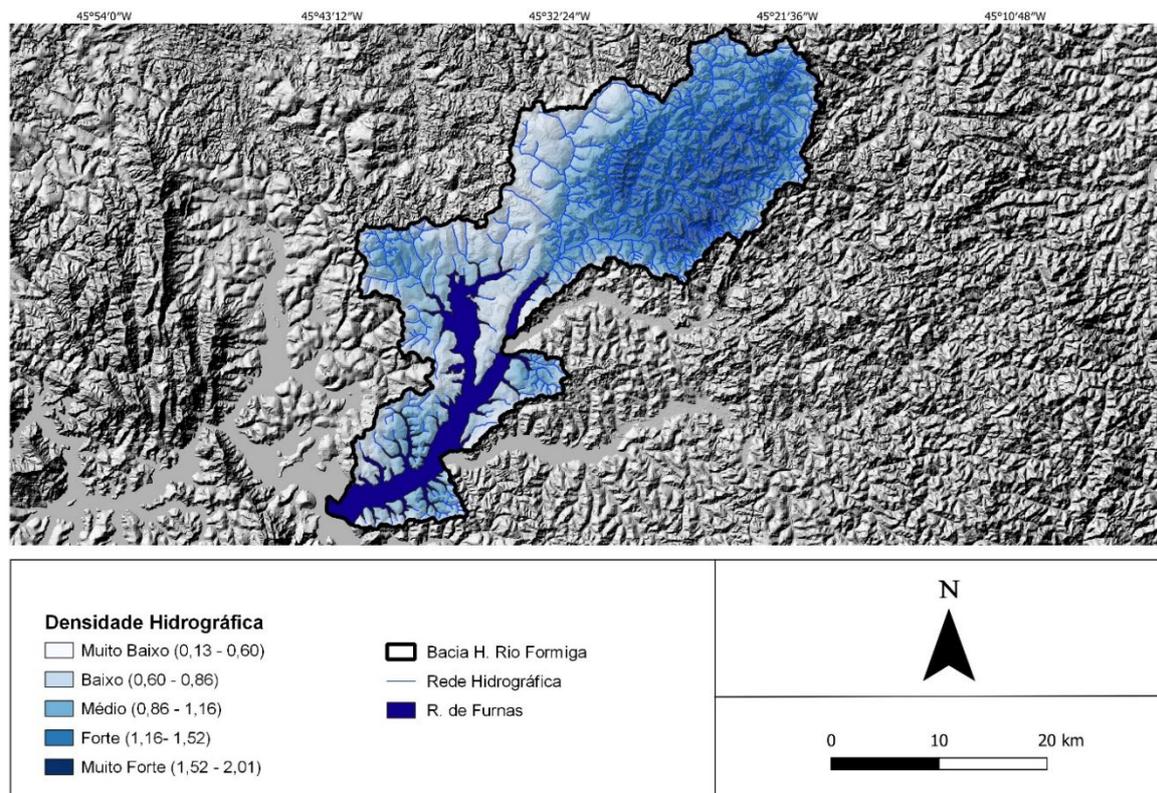
Os Cambissolos estão vinculados à área central da bacia, em uma zona de transição entre rochas com resistências diferenciais à erosão e relevos fortemente ondulados a ondulados (Ortognaisses e Metapelitos). Por outro lado, os Gleissolos associam-se a ambientes hidromórficos relacionados às largas planícies fluviais do rio Formiga e ao reservatório da UHE de Furnas, enquanto os Neossolos Litólicos situam-se nas áreas mais montanhosas da bacia, caracterizadas por elevado grau de dissecação do relevo.

6.6 DENSIDADE HIDROGRÁFICA

As maiores concentrações de densidade hidrográfica localizam-se no setor superior da bacia devido à relação com as rochas da região, caracterizadas por serem mais maciças e oferecerem maior resistência à infiltração da água. Esta relação também destaca a capacidade de carregamento e armazenamento do fluxo subsuperficial, pois os dados individualizados sugerem que a maior contribuição para a alimentação do lençol freático ocorre na zona do baixo

curso (Figura 13). Todos esses condicionantes influenciaram no desenvolvimento do relevo, que neste setor apresenta padrão declivoso e muito rugoso devido às dissecções impostas pelos cursos fluviais, a maioria dos quais encaixados no substrato rochoso (REIS, et al., 2023).

Figura 13 - Densidade Hidrográfica da Bacia H. Rio Formiga/MG



Fonte: Autor 2023

O setor central da bacia do rio Formiga apresenta uma transição entre rochas mais resistentes (Ortognaisses) e rochas de menor resistência (Metapelitos) à erosão. Essa configuração litoestrutural favoreceu os processos de infiltração devido à maior facilidade nos planos de foliação das rochas homônimas, resultando em valores mais baixos de densidade hidrográfica nesse setor da bacia (REIS, et al., 2023). No setor a jusante da bacia, há o reservatório da UHE de Furnas, que inunda grande parte das largas planícies fluviais do baixo curso, havendo um leve aumento na densidade hidrográfica nas áreas de transição entre os litotipos, possivelmente devido à maior dificuldade de infiltração nos planos falha/juntas/fraturas (Figura 13).

Com base nesses resultados, estabelecemos a correlação entre as categorias de densidade hidrográfica e as classes de fragilidade propostas por Ross (1994) (Tabela 11).

Tabela 11 - Categorias hierárquicas da densidade hidrográfica

Densidade Hidrográfica	Fragilidade	Área (km²)	Área (%)
0,13 - 0,60	Muito Baixa (1)	51,15	7,30
0,60 - 0,86	Baixa (2)	183,53	23,10
0,86 - 1,16	Média (3)	200,56	24,52
1,16- 1,52	Alta (4)	165,56	20,18
1,52 - 2,01	Muito Alta (5)	200,54	24,90

Fonte: Adaptado de Reis (2023)

6.7 USO E COBERTURA DA TERRA

A classificação do uso e cobertura da bacia do rio Formiga/MG indica o predomínio de pastagem (78,39%), seguido respectivamente de agricultura (9,83%), silvicultura (4,15%), mata nativa (4,06%) e urbanização (3,57%) (Tabela 12).

Tabela 12 - Tipos de uso e cobertura na Bacia Hidrográfica

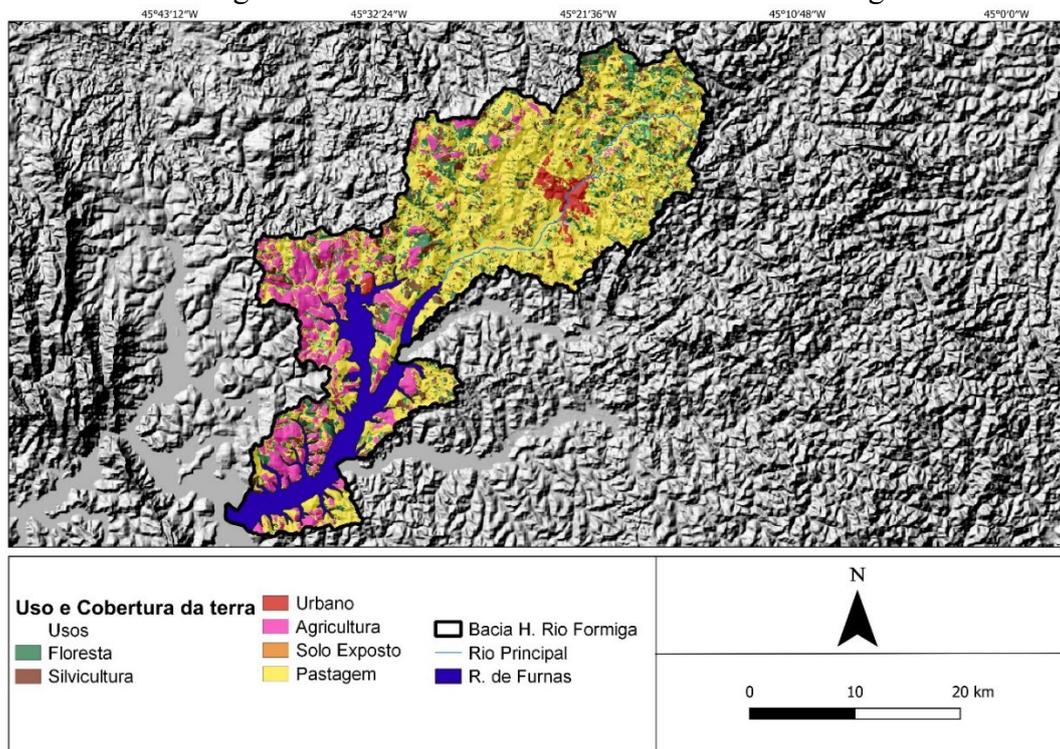
Tipos de Uso e Cobertura	Fragilidade	Área (km²)	Área (%)
Mata Nativa	Muito Fraca (1)	22,92	4,06
Silvicultura	Fraca (2)	23,11	4,15
Pastagem	Média (3)	442,4	78,39
Agricultura	Forte (4)	55,54	9,83
Área Urbanizada	Muito Forte (5)	20,07	3,57

Fonte: Autor 2023

Os resultados destacam a predominância de pastagens e silvicultura nas áreas mais elevadas, dissecadas, com maiores declividades e concentração de águas superficiais nos terrenos associados às rochas com maior resistência ao intemperismo e erosão (Leucogranitos e Ortognaisses) (Figura 14). Em contrapartida, a predominância da agricultura está associada aos Latossolos Vermelhos e Argissolos dispostos nas áreas mais rebaixadas a jusante, menos dissecadas, com menores declividades e concentrações de águas superficiais associadas às rochas de menor resistência à erosão (Metapelitos e Metagrauvas) (Figura 14). Por ser uma

faixa de transição de biomas, a mata nativa apresenta diversas fisionomias, com árvores de pequeno porte, vegetação rasteira e florestal (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Figura 14 - Uso e Cobertura da Bacia H. Rio Formiga/MG



Fonte: Autor 2023

A história de ocupação na bacia está intimamente relacionada à utilização da terra e do solo, caracterizada por uma escassez de práticas de conservação. O predomínio de soja (Figura 15) e de extensas áreas de pastagem contribui gradualmente para o desencadeamento de processos erosivos no solo e para a alteração das características do relevo. Essa condição aumenta a vulnerabilidade do sistema ambiental devido à gradual modificação das características naturais locais.

Figura 15 - Plantação de soja



Fonte: Autor 2023

A crescente urbanização e impermeabilização do solo são fatores que contribuem para o aumento do escoamento das águas pluviais, degradação do solo exposto, retardação da infiltração da água no subsolo, deslizamento de encostas e, ocasionalmente, resultam na destruição de bens materiais e perdas de vidas (Figura 16).

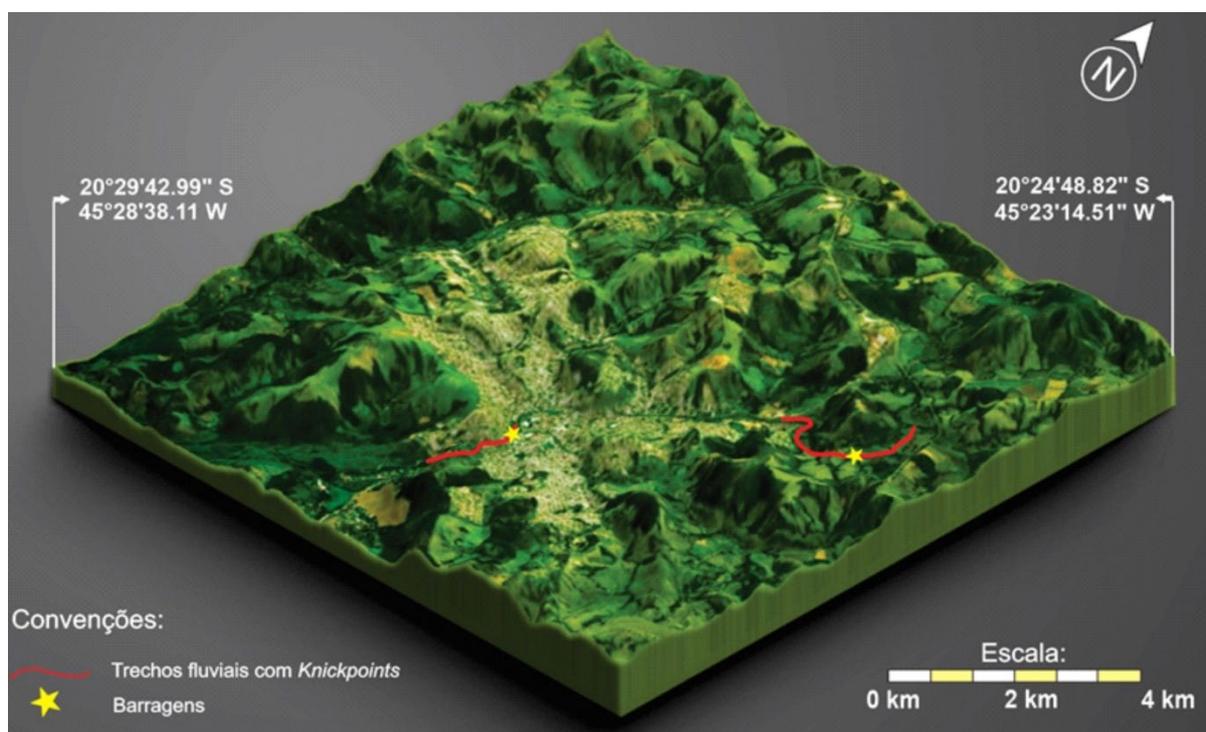
Figura 16 - Sede municipal



Fonte: autor 2023

A ilustração elaborada por Reis et al. (2023) destaca adequadamente os impactos resultantes da urbanização e da construção de pequenas barragens para geração de energia elétrica (Figura 17).

Figura 17- Modelo tridimensional do entorno do núcleo urbano de Formiga

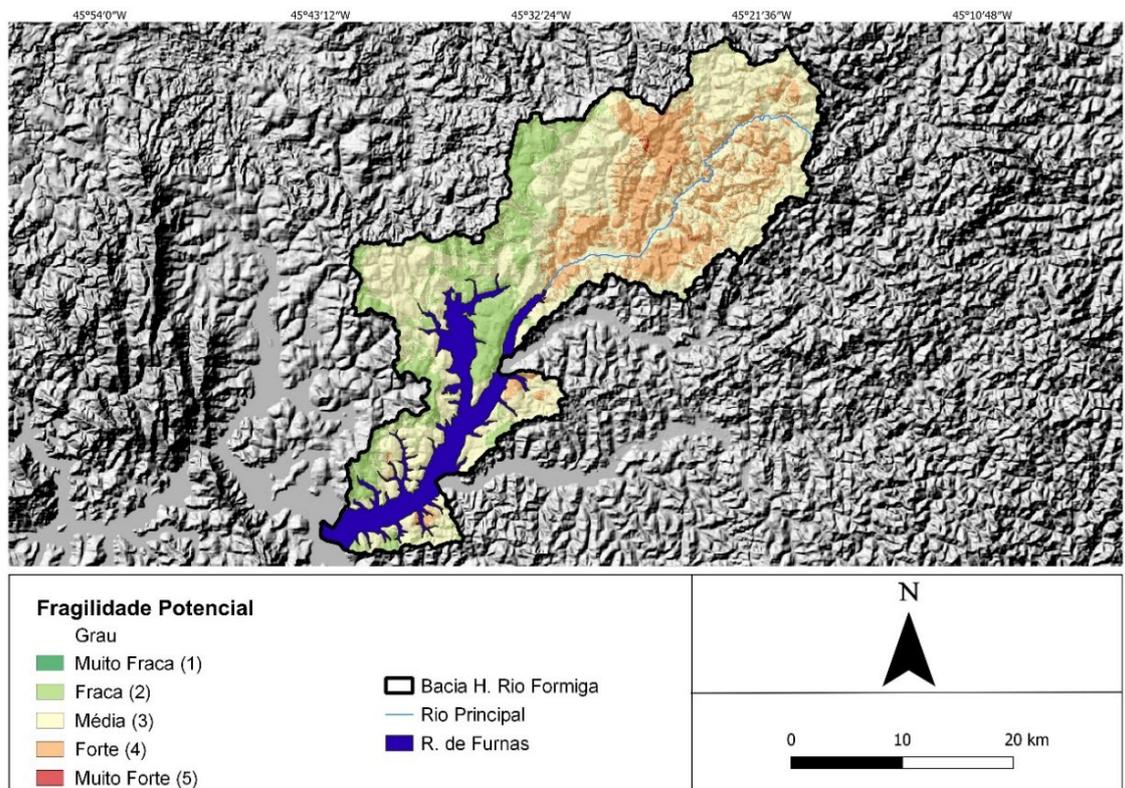


Fonte: Reis et al. (2023, p. 10)

6.8 FRAGILIDADE POTENCIAL

A sobreposição ponderada das variáveis cartográficas, como litologia, pedologia, dissecação do relevo, declividade e densidade hidrográfica, resultou no mapa de fragilidade potencial da bacia hidrográfica do Rio Formiga/MG. Este produto representa a fragilidade natural da área de estudo (Figura 18).

Figura 18 - Fragilidade Potencial da Bacia



Fonte: Autor 2023

Verifica-se o predomínio da classe média (57,80 %), seguida pela forte (21,64 %), fraca (20,52 %), muito forte (0,07%) e muito fraca (0,04 %) (Tabela 13).

Tabela 13 - Fragilidade potencial da bacia do rio Formiga

Fragilidade Potencial	Área (km²)	Área (%)
Muito Fraca (1)	0,035	0,04
Fraca (2)	153,615	20,52
Média (3)	435,553	57,80
Forte (4)	163,155	21,64
Muito Forte (5)	0,549	0,07

Fonte: Autor 2023

As áreas caracterizadas por fragilidade forte a muito forte encontram-se associadas aos litotipos de maior resistência ao intemperismo, culminando em declividades mais acentuadas.

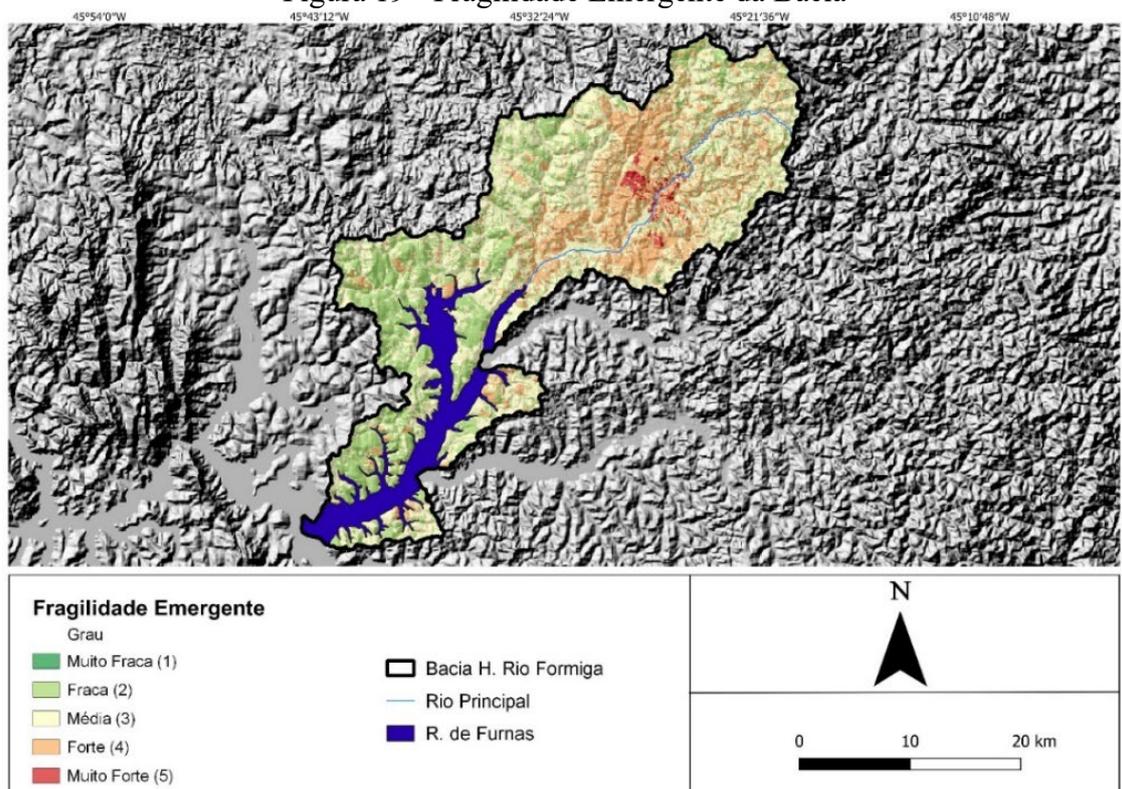
A água, desempenhando um papel crucial na modificação da paisagem natural em ambientes tropicais, exerce uma influência marcante nesses setores, especialmente no que diz respeito às características das rochas e à inclinação do relevo. O solo, considerando a interação entre o tipo de rocha, relevo e ação da água, intensifica a influência da fragilidade nessas regiões, destacando a presença de Cambissolos e Neossolos Litólicos, menos desenvolvidos.

Nas áreas classificadas com fragilidade fraca a média, nota-se diferenciações na dinâmica dos processos naturais, evidenciando alterações nos componentes da paisagem, como mudanças nas rochas, no solo, na declividade do relevo e redução das águas fluviais. Destaca-se o predomínio de Latossolos e Argissolos nos relevos planos e suaves ondulados próximos ao reservatório de Furnas. Esses fatores contribuem para uma menor intensidade na manifestação da fragilidade, indicando uma condição mais estável em comparação com as áreas de maior fragilidade identificadas anteriormente.

6.9 FRAGILIDADE EMERGENTE

A sobreposição ponderada entre a fragilidade potencial e variável de cobertura e uso da terra nos permitiu determinar a fragilidade emergente da bacia, considerando as influências das ações antrópicas, aspectos culturais e atividades econômicas na região (Figura 19).

Figura 19 - Fragilidade Emergente da Bacia



Fonte: Autor 2023

Os resultados evidenciam um predomínio de fragilidade emergente classificada como média (50,64%), forte (22,3%) a muito forte (1,03%) nas áreas a montante da bacia. Nessas regiões, destaca-se um intenso uso da terra para pastagem, associado a declividades mais acentuadas, maior densidade hidrográfica e vales muito dissecados (Tabela 14). Um ponto de relevância é a sede municipal, visualizada em tonalidade vermelho escuro. Esses fatores contribuem significativamente para eventos desastrosos, como a impermeabilização do solo, resultando no aumento do escoamento superficial das águas (Figura 19).

Tabela 14 - Fragilidade emergente da bacia do rio Formiga

Fragilidade Potencial	Área (km²)	Área (%)
Muito Fraca (1)	0,22	0,0292
Fraca (2)	195,88	26,0
Média (3)	381,10	50,64
Forte (4)	167,92	22,3
Muito Forte (5)	7,62	1,031

Fonte: Autor 2023

A ausência de práticas conservacionistas aumenta consideravelmente a probabilidade do desenvolvimento de feições erosões associadas a sulcos, ravinas e voçorocas (Figura 20A) resultando também no acréscimo de sedimentos nos canais d'água (Figura 20B) na bacia, ocasionando problemas de assoreamento hídrico.

Figura 20 - A) Erosão do solo na área urbana; B) Assoreamento do rio Formiga na sede municipal



Fonte: Autor 2023

A cidade de Formiga/MG, situada na área de grau muito forte de fragilidade, enfrenta problemas de inundações em períodos de chuvas intensas. Esses problemas são causados pelo aumento da impermeabilização do solo, urbanização e supressão da mata ciliar favorecem o escoamento superficial, especialmente em encostas de maiores declividades e construções civis nas planícies de inundação.

Outro destaque são as áreas de pastagem destinadas à criação de gado, as quais favorecem o surgimento de terracetes associados a trilhas frequentemente percorridas pelos animais, alterando toda a dinâmica hídrica superficial e subsuperficial das encostas. Isso causa a compactação do solo e conseqüentemente o aumento do escoamento superficial.

As áreas de fraca (26,0%) a muito fraca fragilidade (0,0292%) estão associadas a outras práticas, como a agricultura, predominantemente de soja, e silvicultura em pequenas parcelas. Essas práticas, combinadas com as baixas declividades, presença de latossolos e menor densidade hidrográfica, tornam o ambiente menos suscetível à degradação ambiental

7. CONCLUSÃO

A fragilidade potencial e emergente da bacia do rio Formiga/MG estabeleceu uma relação direta com o processo de ocupação pela sociedade e a evolução do sistema físico-natural. O mapeamento do uso da terra proporcionou a compreensão da ocupação territorial, marcada por sucessivos desmatamentos resultantes da expansão urbana e agropecuária, onde as pastagens se destacam como a classe dominante na bacia. Paralelamente a esses fatores, observa-se que a bacia do Rio Formiga apresenta características similares à realidade da bacia do rio Grande, com relevos fortemente ondulados nas áreas a montante e suaves nas proximidades do Lago de Furnas, influenciados pelos múltiplos usos das águas no reservatório homônimo.

A análise das variáveis naturais e antrópicas possibilitou a produção de produtos cartográficos que, conforme exposto, evidenciam o agravamento da fragilidade ambiental da bacia. Esse cenário é especialmente destacado em setores com altas fragilidades, intensificadas pela predominância de pastagem e plantação de soja, com presença limitada de cobertura florestal. Dessa forma, a análise indica que a configuração da fragilidade emergente pode se agravar caso não haja políticas efetivas de planejamento e gestão sustentável dos recursos naturais da bacia do Rio Formiga/MG.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GOLÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ARAUJO SOBRINHO, F. L. Os usos múltiplos das águas do lago reservatório de Furnas, Minas Gerais: turismo, geração de energia elétrica e conflitos. **Cenário: Revista Interdisciplinar em Turismo e Território**, [S. l.], v. 5, n. 8, 2017. DOI: 10.26512/ revista cenário.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

Base Geologia - Acessado em 21/05/2023 <https://geosgb.cprm.gov.br/>)

BERTRAND, G. Paisagem e geografia global. Esboço metodológico. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, **Cadernos de Ciências da Terra**, (13) p. 1-27. 1971

BERTRAND, G. Paysage et Geographie Physique Global, **Revue Geographique des pyrinées et du Sud-Ouest**. Toulouse: 39(3):242-272, 1968.

BOIN, Marcos Norberto. **Chuvvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000. 264 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2000

CARRIÈRE, J. P. CAZELLA, A. A. Abordagem introdutória ao conceito de desenvolvimento territorial. **Eisforia**, Florianópolis, v. 4, p. 23-47, 2006.

CARVALHO, Rodrigo Guimarães de; KELTING, Fátima Maria Soares; SILVA, Edson Vicente da. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos Bacia Hidrográficas da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN. **Sociedade & Natureza**, v. 23, p. 143-159, 2011.

CARVALHO, Rodrigo Guimarães. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 26-43, 2014.

COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: Teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; DA CUNHA, S. B (Org.). Impactos ambientais urbanos no Brasil. 12. ed. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 2018. cap. 1, p. 19-45.

COELHO, PEDRO H. P. A formação do Arraial de São Vicente Férrer da Formiga: o povoamento do Oeste de Minas Gerais (séculos XVIII-XIX). In: AZEVEDO, FLÁVIA LEMOS MOTA DE et al. (Org.). História e Memória do Centro Oeste Mineiro: perspectivas. 1a ed. Belo Horizonte: **O Lutador**, 2016. p. 36-51.

CORRÊA, Leopoldo. **Achegas à história do oeste de Minas: Formiga e Bacia Hidrográficas vizinhos**. Formiga, 1993.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao

zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos, **INPE**, 101p., 2001

FELIPPE, M. F. JUNIOR, A. P. M.; MENDES, L. C.; CARNEIRO, P. S.; GONTIJO, B. M. Conexões geo-históricas e contemporâneas entre ocupação territorial, degradação ambiental e rarefação hídrica na Bacia do Rio Doce. **Revista Geografias**, v. esp., p. 203–222, 2016.

FONSECA, A. C.R. **Geologia geral do Bacia Hidrográfica de Formiga-MG**. 2015. Disponível em: <https://www.formiga.mg.gov.br/arquivos/turismo/geologia.pdf>. Acesso em: agosto. de 2023.

GILBERT, G. K. **Report on the geology of the Henry Mountains**. Washington: Government Printing Office, 1877, 160 p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.; Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 2000, cap.7, p. 337-379.

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.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**, v.258, p.80-97, 1960.

HOEKSTRA, A. Y. Appreciation of water: Four perspectives. **Water Policy**, v. 1, n. 6, p. 605–622, 2000.

HOLZER, WERTHER. Uma discussão fenomenológica sobre os conceitos de paisagem e lugar, território e meio ambiente. **Revista Território**, v. 2, n. 3, p. 77-85, 1997.

HORTON, R. E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. **Geol. Soc. American Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. DOI: 10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2

IBGE Cidades, [Formiga \(MG\) | Cidades e Estados | IBGE](#), Acesso em 17 de agosto de 2023.

JANNUZZI, P. D. M.; MIRANDA, W. D.; SILVA, D. D. Análise multicritério e tomada de decisão em Políticas Públicas: Aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações. **Informática Pública**, v. 1, n.1, p. 69 - 87, 2009.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder, Bornträger, 1936, p. 1-44.

LEMONS FILHO, L. C. A.; FERREIRA, L. L. N.; LYRA, D. L. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. **Revista agro@ambiente on-line**, v. 11, n. 1, p. 11-20, 2017

LISBOA, ELIANDA R. **Mapeamento e análise da fragilidade ambiental da área urbana e periurbana do Bacia Hidrográfica de Matelândia** - PR. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Merais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.14, p.129-156, 2018.

MOREIRA, B. C. M.; FERNANDES, ALVES; JUNIOR, C. M. DIAS. Análise do aglomerado produtivo das indústrias têxteis do município de Formiga (MG). **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 13, n. 2, 2017.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992

PEREIRA, MARCOS G. et al. Formação e caracterização de solos. **Tulio L, organizador. Formação, classificação e cartografia dos solos. Ponta Grossa (PR): Atena Editora**, p. 1-20, 2019.

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.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Brasília: Embrapa Cerrados, 1998. p.87-166.

ROSS, J. L. S. análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia, [S. l.]**, v. 8, p. 63-74, 2011. DOI: 10.7154/RDG.1994.0008.0006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>. Acesso em: 21 ago. 2023.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. 9 ed., São Paulo, Contexto, 2019.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, v. esp. de 30 anos, p.38-51, 2012.

SAATY, T. L. What is the Analytic Hierarchy Process? In: MITRA G.; GREENBERG H. J.; LOOTSMA F. A.; RIJKAERT M. J.; ZIMMERMANN H. J. **Mathematical Models for Decision Support**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1988. p. 109–121.

SANCHES ROSS, J. L. LANDFORMS AND ENVIRONMENTAL PLANNING: POTENTIALITIES AND FRAGILITIES. **Revista do Departamento de Geografia, [S. l.]**, p. 38-51, 2012. DOI: 10.7154/RDG.2012.0112.0003. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53841>. Acesso em: 18 ago. 2023.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. de S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima, Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v. 31, n. 2, 2014.

SILVA, V. G. M. Controle de estoque: um estudo sobre a eficiência da gestão de estoque numa distribuidora atacadista em Divinópolis, MG. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 5, p. e575152, 2018.

SUAREZ, A. F.; SOARES FILHO, B. S. Estudo da mudança de uso e cobertura do solo na bacia do Rio Formiga-MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, Monte Carmelo v. 65, n. 3, 2013.

STRAHLER, A. N. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis - Part I. **American Journal of Science**, v. 248, p. 673-696, 1950a.

TABALIPA, NEY LYZANDRO; FIORI, ALBERTO PIO. Caracterização dos solos da bacia do Rio Ligeiro (PR) na estabilidade de taludes. **Brazilian Journal of Geology**, v. 42, n. 1, p. 11-26, 2012.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/236>. Acesso em: 24 ago. 2023.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE. 1977.