



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - MG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

WELDER JUNHO BATISTA

**CARTA DE SENSIBILIDADE PARA O MEIO FÍSICO DO MUNICÍPIO
DE CAMPOS GERAIS-MG: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

Alfenas - MG

2022

WELDER JUNHO BATISTA

**CARTA DE SENSIBILIDADE PARA O MEIO FÍSICO DO MUNICÍPIO DE CAMPOS
GERAIS-MG: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como requisito parcial à obtenção do grau de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo José Pisani.

Alfenas – MG

2022

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

Batista, Welder Junho.

Carta de sensibilidade para o meio físico do município de
Campos Gerais-MG: uma proposta metodológica / Welder Junho
Batista. - Alfenas, MG, 2022.
120 f. : il. -

Orientador(a): Rodrigo José Pisani.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de
Alfenas, Alfenas, MG, 2022. Bibliografia.

1. Campos Gerais. 2. Erosão. 3. Sensibilidade. 4. Fragilidade. 5. AHP. I.
Pisani, Rodrigo José, orient. II. Título.

WELDER JUNHO BATISTA

**CARTA DE SENSIBILIDADE PARA O MEIO FÍSICO DO MUNICÍPIO DE CAMPOS
GERAIS-MG: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a
Dissertação apresentada como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre em Geografia pela
Universidade Federal de Alfenas. Área de
concentração: Análise Sócio-espacial e Ambiental.

Aprovada em: 03 de março de 2022

Prof. Dr. Rodrigo José Pisani
Intuição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG

Prof. Dr. Marcos Esdras Leite
Intuição: Universidade de Montes Claros - Unimontes

Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira
Intuição: Universidade Federal
de Alfenas - UNIFAL-MG



Documento assinado eletronicamente por Rodrigo Jose Pisani, Professor do Magistério Superior, em 03/03/2022, às 17:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Marcos Esdras Leite, Usuário Externo, em 03/03/2022, às 20:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Felipe Gomes Rubira, Professor do Magistério Superior, em 03/03/2022, às 20:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifalmg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 0684473 e o código CRC 34ED0657.

Dedico esse trabalho aos meus pais, Desdemona Nunes Batista e Francisco da Silva Batista, que foram as pessoas que sempre acreditaram em mim, até quando eu mesmo pensei em desistir. Dedico também a minha irmã Solange Aparecida Batista, a minha avó Leopoldina Conceição Teixeira, e a minha namorada Mayra Rafael Silva, que sempre me estenderam a mão nos momentos em que mais precisei. Esse momento de realização é de todos nós!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, Nossa Senhora Aparecida e ao Santo Padre Victor, dos quais sempre orei e pedi para que iluminassem meu caminho nessa caminhada.

Agradeço a Universidade Federal de Alfenas, pela oportunidade única em minha vida de poder estudar, me tornar geógrafo, e a agora Mestre.

Agradeço aos meus amigos, que foram de extrema importância nessa caminhada. Obrigado por cada incentivo, por cada conselho, e por cada ajuda concedida.

Agradeço imensamente ao Prof. Dr. Rodrigo Pisani que orientou a minha produção científica com muita dedicação, empenho e prestatividade. Sem sua ajuda, jamais teria chegado até aqui.

Agradeço de coração a minha namorada, Mayra Rafael Silva, que acreditou em mim desde o momento em que fui concorrer a uma das vagas no mestrado. Concorri, consegui, e agora já estou no final de mais esse ciclo. Agradeço por toda paciência e apoio ao longo desses 2 anos de pesquisa.

Por fim, obrigado a todos os professores que me passaram tanto conhecimento desde a minha infância até a atualidade. Sem vocês não seria o profissional que estou prestes a ser.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL – MG.

“Resgate suas forças e se sinta bem, rompendo a sombra da própria loucura. Cuide de quem corre do seu lado e quem te quer bem. Essa é a coisa mais pura.” (Alexandre Magno Abrão, 2007)

RESUMO

A erosão hídrica é um grave problema em escala mundial, a qual ocasiona diversos prejuízos à população e ao meio ambiente cotidianamente. Devido a isso, a identificação de áreas com maior sensibilidade ambiental possibilitaria tomadas de decisão, com ações mitigadoras para a prevenção de degradações futuras. Esta pesquisa tem como objetivo propor estudos de sensibilidade do meio físico, a partir da análise de produtos de Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994) por meio da análise empírica integrada ao Fator LS (L= comprimento de vertente, S= declividade), tendo como recorte espacial o município de Campos Gerais-MG. Para dar suporte a essas metodologias, foi utilizado a AHP – Análise Hierárquica de Processo, elaborada por Saaty (1980), onde foram gerados mapas utilizando o software Quantum Gis versão 3.6 a partir da obtenção e cruzamento de dados relacionados ao solo, relevo, cobertura vegetal e uso da terra para a aquisição das fragilidades potencial e emergente. Também foram utilizadas a carta topográfica na escala 1:50.000 do município de Campos Gerais disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dados de radar SRTM disponibilizados gratuitamente pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos –USGS e imagens do satélite Cbers 4A (disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Dentre os resultados alcançados, destacam-se a elaboração das cartas de sensibilidade ao meio físico, dos mapas de fragilidade ambiental, fragilidade potencial e uso da terra. Constatou-se que o município possui 5 classes de sensibilidade ambiental, onde a maior parte de seu recorte territorial localiza-se na classe baixa, ou seja, lugares pouco susceptíveis à erosão. As áreas com maior sensibilidade ambiental ao meio físico estão localizadas na região centro-norte do município, abrangendo também as regiões leste e oeste. A parte sul possui áreas pouco susceptíveis a erosão, com sensibilidade ambiental baixa e muito baixa. As cartas geradas a partir da integração do fator LS se mostraram eficientes no que foram propostas, pois todas as informações obtidas através delas foram validadas *in loco*, com a realização de trabalhos de campo. O trabalho se destaca como ferramenta importante para a gestão do meio físico, além de auxiliar um possível plano de manejo de bacias hidrográficas no município.

Palavras-chave: Campos Gerais; erosão; sensibilidade; fragilidade, AHP.

ABSTRACT

Water erosion is a serious problem on a global scale, which causes several damages to the population and the environment on a daily basis. Due to this, the identification of areas with greater environmental sensitivity would enable decision-making, with mitigating actions to prevent future degradation. This research aims to propose studies of sensitivity of the physical environment, from the analysis of Environmental Fragility products (ROSS, 1994) through the empirical analysis integrated to the LS Factor (L= slope length, S= slope), having as spatial clipping the municipality of Campos Gerais-MG. To support these methodologies, the AHP - Hierarchical Process Analysis, developed by Saaty (1980) was used, where maps were generated using the Quantum Gis software version 3.6 from obtaining and crossing data related to soil, relief, cover vegetation and land use for the acquisition of potential and emerging fragilities. The topographic map in the scale 1:50,000 of the city of Campos Gerais provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), SRTM radar data made available free of charge by the United States Geological Survey -USGS and images from the Cbers 4A satellite (available by the National Institute for Space Research). Among the results achieved, we highlight the preparation of maps of sensitivity to the physical environment, maps of environmental fragility, potential fragility and land use. It was found that the municipality has 5 classes of environmental sensitivity, where most of its territorial cut is located in the lower class, that is, places less susceptible to erosion. The areas with greater environmental sensitivity to the physical environment are located in the central-north region of the municipality, also covering the east and west regions. The southern part has areas that are not susceptible to erosion, with low and very low environmental sensitivity. The letters generated from the integration of the LS factor proved to be efficient in what was proposed, since all the information obtained through them was validated in loco, with the accomplishment of fieldwork. The work stands out as an important tool for the management of the physical environment, in addition to helping a possible watershed management plan in the municipality.

Keywords: Campos Gerais; erosion; sensitivity; fragility, AHP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Mapa de localização do município de Campos Gerais MG.....	22
Figura 02 - Espectro letromagnético.....	36
Figura 03 - Metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho.....	49
Figura 04 - Fluxograma de fusão das imagens de alta resolução.....	51
Figura 05 - Resultado da fusão de imagens.....	52
Figura 06 - Tela de processamento da rotina do modelador gráfico para a fusão de imagens	56
Figura 07 - Segmentação realizada através do provedor de algoritmos do Orfeo Toolbox.....	55
Figura 08 - Imagem classificada utilizando a ferramenta Plugin.	57
Figura 09 - Tabela de reclassificação para normalização dos solos.....	63
Figura 10 - Normalização dos solos	64
Figura 11 - Normalização das classes de uso e ocupação dos solos.....	65
Figura 12 - Calculadora raster do Software Quantum Gis versão 3.6	67
Figura 13 - Modelo esquemático representativo de sobreposição de planos de informações para o mapeamento da fragilidade ambiental e potencial e emergente.....	68
Figura 14 - Modelo esquemático representativo de sobreposição de planos de informações para a geração das cartas de sensibilidade ambiental potencial e emergente	70
Figura 15 - Mapa de Fragilidade Ambiental para declividade do município de Campos Gerais – MG	72
Figura 16 - Extração de areia no município de Campos Gerais MG.....	74
Figura 17 - Mapa pedológico do município de Campos Gerais MG	75
Figura 18 - Remanescentes florestais na Serra do Paraíso	76
Figura 19 - Plantio de café no município de Campos Gerais MG.	77
Figura 20 - Pastagem no município de Campos Gerais MG	78

Figura 21 - Mapa de da terra e cobertura vegetal do município de Campos Gerais MG.....	79
Figura 22 - Margens da represa de Furnas no município de Campos Gerais MG.....	80
Figura 23 - Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial do município de Campos Gerais MG.....	82
Figura 24 - Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente do município de Campos Gerais MG	84
Figura 25 - Carta de Sensibilidade Potencial ao Meio Físico.....	87
Figura 26 - Carta de Sensibilidade Emergente ao Meio Físico.....	89
Figura 27 - Área onde foi iniciada uma extração mineral no município.....	91
Figura 28 - Pontos do município visitados <i>in loco</i>	92
Figura 29 - Processo de ravinamento em uma lavoura de café.....	93
Figura 30 - Voçoroca no sopé da Serra da Fortaleza.....	94
Figura 31 - Solo arenoso exposto em uma plantação de café.....	95
Figura 32 - Pastagem com más condições de manejo.....	96
Figura 33 - Plantação de café sobre uma área íngreme com solo exposto.....	97
Figura 34 - Plantação de café cortada devido às geadas.	98
Figura 35 - Plantação de soja ao sul do município de Campos Gerais MG.....	99
Figura 36 - Plantações de milho e café ao sul do município de Campos Gerais MG.....	100
Figura 37 - Área de pastagem sem indícios de feições erosivas.....	101
Figura 38 - Pastagem em boas condições de manejo.....	102
Figura 39 - Área com baixa sensibilidade ao meio físico.....	103
Figura 40 - Local de sensibilidade ambiental muita baixa, próximo a Usina Hidrelétrica de Furnas.....	104
Figura 41 - Área de inundação da Usina Hidrelétrica de Furnas próximo a remanescentes florestais.....	105
Figura 42. Área com baixa sensibilidade física ao meio ambiente.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de julgamentos de critérios pré-definidos por Saaty.....	41
Tabela 2 - Índice kappa pela matriz de confusão para classificação de uso da terra.....	58
Tabela 3 - Classes de declividade do município de campos Gerais Mg	60
Tabela 4 - Propostas metodológicas para classes fragilidades de diferentes variáveis espaciais.	60
Tabela 5 - Classe de fragilidade de variável pluviosidade: níveis hierárquicos de variação.....	61
Tabela 6 - Áreas das classes de sensibilidade ambiental potencial por km ² e por proporções percentuais da área total.	86
Tabela 7 - Áreas das classes de sensibilidade ambiental emergente por km ² e por proporções percentuais da área total.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Material cartográfico utilizado	50
Quadro 2 - Bandas utilizadas para a elaboração dos mapas	50
Quadro 3 - Classes de solos	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Análise Hierárquica de Processos
ANA	Agência Nacional de Águas.
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais.
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
DEER-MG	Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais.
DPC	Duração do Período Chuvoso.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
HIDROWEB	Sistema de Informações Hidrológicas.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas.
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
MDE	Modelo Digital de Elevação.
MDT	Modelo Digital de Terreno.
PMA	Pluviosidade Média Anual.
SIG' s	Sistema de Informações Geográficas.
SIRGAS	Sistema de Referências Geocêntrico para as Américas.
SISMET	Monitoramento agrometeorológico e integração de dados em plataforma Web.
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission.
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais.
UPGRHs	Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos.
UTM	Universal Transversa de Mercator.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVO GERAL	15
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 C	ARATERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
3.1	HISTÓRICO, LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	15
3.2	ASPECTOS CLIMÁTICOS	16
3.3	ASPECTOS HIDROGRÁFICOS	18
3.4	ASPECTOS GEOLÓGICOS	19
3.5	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	20
3.6	ASPECTOS PEDOLÓGICOS	21
3.7	USO DA TERRA E OCUPAÇÃO VEGETACIONAL	22
4	REFERENCIAL TEÓRICO	24
4.1	A ABORDAGEM SISTÊMICA NOS ESTUDOS GEOGRÁFICOS	24
4.2	CONCEPÇÕES SOBRE GEOSSISTEMAS	26
4.3	GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS ESTUDOS AMBIENTAIS	29
4.3.1	Aplicação do Sensoriamento Remoto em estudos ambientais	29
4.3.2	Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica aplicados aos estudos ambientais	32
4.3.3	Análise Hierárquica de Processos (AHP) em Geotecnologias	34
4.4	ANÁLISES SOBRE FRAGILIDADE AMBIENTAL E SUA APLICABILIDADE	39
4.5	VULNERABILIDADE AMBIENTAL E PRESERVAÇÃO DOS SOLOS	41
5	METODOLOGIA	45
5.1	BASE DE DADOS	45
5.1.1	Aquisição de Imagens de alta resolução	47
5.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS E ELABORAÇÃO DOS MAPAS	48
5.2.1	Fusão de imagens de alta resolução do CBERS4 A	48
5.2.2	Segmentação	51
5.2.3	Interpretação visual	51
5.2.4	Segmentação de imagens	52
5.3	MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA	53
5.3.1	Acurácia da Classificação do Uso da Terra	53
5.4	MAPAS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL E EMERGENTE	56
5.4.1	Análise Espacial por Álgebra de Mapas	56

5.5	INTEGRAÇÃO DOS DADOS COM OS FATORES LS.....	67
5.6	TRABALHO DE CAMPO	69
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
6.1	MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL PARA DECLIVIDADE.....	70
6.2	MAPA DE SOLOS	72
6.3	MAPA DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETACIONAL.....	75
6.4	MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL	80
6.5	MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE	82
6.6	CARTA DE SENSIBILIDADE POTENCIAL AO MEIO FÍSICO	85
6.7	CARTA DE SENSIBILIDADE EMERGENTE AO MEIO FÍSICO.....	87
6.8	PONTOS ANALISADOS EM CAMPO.....	89
6.8.1	Pontos com sensibilidade ambiental muito alta.....	90
6.8.2	Pontos com sensibilidade ambiental alta.....	94
6.8.3	Pontos com sensibilidade ambiental média.....	96
6.8.4	Pontos com sensibilidade ambiental baixa.....	99
6.8.5	Pontos com sensibilidade ambiental muito baixa	102
7	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
	REFERÊNCIAS	107

1 INTRODUÇÃO

Os processos erosivos são considerados grandes problemas no mundo todo, principalmente os relacionados à erosão hídrica. A desertificação, o uso indevido da agricultura, a extração mineral, a retirada de cobertura vegetal, dentre outros processos causam assoreamento de rios e reservatórios, influenciando diretamente a disponibilidade de recursos hídricos. Todas essas formas de degradação são aceleradas quando há interferência antrópica no meio físico.

Um dos grandes problemas causados pelo homem em rios e reservatórios vem a ser o aumento do aporte de sedimentos, resultante, principalmente, da erosão laminar nas sub-bacias hidrográficas. No caso dos reservatórios, esse processo ocasiona a diminuição do volume de água e, conseqüentemente, de seu potencial gerador de energia. Considerando que a matriz energética predominante no Brasil é a hidrelétrica, é preciso que os reservatórios sejam monitorados e conservados, para que não haja uma diminuição do seu potencial energético, principalmente em função do aumento das populações e, por consequência, da demanda energética atual (PISANI, 2013). Abordagens utilizando metodologias através da óptica da Vulnerabilidade Natural à erosão dos solos (CREPANI, 1996), e da Análise Empírica da Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994) corroboram para melhores resultados nesses estudos.

As bacias hidrográficas em áreas rurais são essenciais para a manutenção do equilíbrio ecológico, pois detêm grande quantidade de fauna e flora normalmente existente em seu interior. Porém, devido à falta de manejo, juntamente a ações humanas que degradam o meio ambiente, essas bacias têm sofrido um processo acelerado de deterioração das suas características físicas, químicas e biológicas, acarretando um amplo saldo negativo ao meio ambiente. Uma bacia hidrográfica sem condições ambientais favoráveis pode sofrer vários impactos, tais como: ocupação indevida do solo, uso indiscriminado da água, desmatamento de matas ciliares, e erosão hídrica laminar, que causa carreamento de sedimentos a rios e córregos, deixando-os assoreados, e diminuindo a produção energética de reservatórios a sua jusante. Dessa forma, a preocupação em conciliar desenvolvimento econômico e preservação ambiental nas últimas décadas deixam expostas a necessidade de projetos que busquem compreender tais adversidades, conciliando aspectos físicos,

econômicos e sociais, tendo em vista a intensa modificação e degradação ambiental gerada pelo homem no atual momento.

Nesse contexto, a utilização das geotecnologias como ferramenta de apoio na tomada de decisão em ações envolvendo meio rural se torna de suma importância. O geoprocessamento, os SIG's e o sensoriamento remoto são capazes de produzir dados e transformá-los em informações, dando suporte a produtores rurais, associações e cooperativas sobre como obter um manejo do solo eficiente sem diminuição de produtividade, perda de áreas agricultáveis e custos acessíveis.

Câmara e Medeiros (1998) afirmam que as características dos dados geográficos permitem sua utilização como ferramentas para produção de mapas, como suporte para análise espacial de fenômenos, ou como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

A utilização desses sistemas acompanha a evolução dos dispositivos de coleta de dados e das facilidades computacionais. A crescente disponibilização, via *internet*, de dados primários e de *softwares* de código aberto por instituições de credibilidade reconhecida em nível nacional e internacional favorecem o desenvolvimento de sistemas cada vez mais adaptados às necessidades dos usuários, colaborando para ampliar sua aplicação (SOUZA, 2015).

Também utilizando as geotecnologias, Assad e Sano (1998) tomaram como recorte espacial geográfico uma sub-bacia e realizaram um planejamento integrado dos recursos naturais, caracterizando-a física e socioeconomicamente, identificando problemas da comunidade e das práticas de manejo utilizadas na sub-bacia do Córrego Taquara, no Distrito Federal. Dados originais referentes a unidades de mapeamento de solos, declividade, uso da terra e vegetação original, oriundos de diferentes fontes e em diferentes escalas foram inseridos no sistema SGI/Inpe, e a geração do mapa do meio físico foi feita utilizando-se os processos de cruzamento de planos de informação deste sistema. Os autores destacam que a sobreposição de diferentes mapas temáticos permite distinguir faixas biofisicamente homogêneas no terreno, as quais podem ser georreferenciadas por um sistema cartográfico dentro de um SIG, algo que não é possível mediante observação direta no campo ou em imagens de satélite ou fotos aéreas.

As geotecnologias não auxiliam na tomada de decisão na agropecuária apenas através da elaboração de mapas. Esses dados são essenciais para o agricultor, pois

podem determinar a produtividade de uma cultura, além de definir o calendário de atividades da sua propriedade.

Esses dados também ajudam a evitar o desperdício de nutrientes aplicados nas plantas e no solo.

Informações como as citadas acima dão suporte para produtores rurais, gestores, associações, e cooperativas, e evidenciam a mudança no perfil cultural do homem do campo, utilizando informações advindas da geotecnologia, juntamente com a integração de pesquisadores, para obter bons resultados em suas produções. A utilização das geoinformações aplicadas no uso e manejo dos solos propicia resultados eficazes e colheitas com produtividade satisfatória.

Devido ao fato do município de Campos Gerais possuir poucas e pequenas indústrias e suas atividades econômicas serem majoritariamente do setor agropecuário, a identificação de áreas suscetíveis à erosão hídrica em bacias hidrográficas rurais pode contribuir para os produtores a fazerem o manejo solo adequado, e concomitantemente terem menos prejuízos econômicos. Para a realização desse prognóstico, os modelos preditivos e as geotecnologias podem contribuir substancialmente.

O trabalho baseou-se no desenvolvimento de mapas elaborados a partir das metodologias da Análise Empírica de Fragilidade Ambiental de Ross (1994), integradas ao fator LS por meio do algoritmo de Desmet e Govers (1996) de modo dinâmico a Análise Hierárquica de Processos - AHP elaborado por Saaty (1980). Foi necessário executar, individualmente, a comparação par a par e o cruzamento de critérios de análises considerados decisivos para a determinação da fragilidade ambiental, tais como: declividade, uso e ocupação da terra e pedologia, dentre outros.

2 OBJETIVO GERAL

Propor uma metodologia dinâmica a partir da integração de dados paralela à abordagem empírica da fragilidade ambiental de Ross (1994), visando estabelecer uma carta de sensibilidade ao meio físico para o município de Campos Gerais-MG através do método AHP e sua posterior integração com o fator LS.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar dados vetoriais a partir das plataformas do INPE, IBGE, EMBRAPA e UFV para a elaboração do trabalho,
- Elaborar mapas temáticos que possibilitem a identificação de áreas ambientalmente sensíveis a impactos ambientais;
- Realizar o reconhecimento da área e validação de dados cartográficos;
- Organizar informações para posterior cruzamento de mapas;
- Produzir o cruzamento de dados de mapas por meio da AHP;
- Integrar os produtos gerados com o fator LS.

3 CARATERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 HISTÓRICO, LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

Muitos municípios de Minas Gerais têm sua formação diretamente ligada ao período da mineração no Brasil, e não diferente ocorreu com Campos Gerais. Em 1737, Cipriano José da Rocha, ouvidor de São João Del Rey, soube que em Rio Verde estava prosperando uma rica lavra de ouro clandestinamente, o que levou a organização de uma expedição oficial, que desbravou as terras da região e, no mesmo ano, deu origem à vila de São Cipriano. Este povoado ficou conhecido como Campanha do Rio Verde e mais tarde Campanha da Princesa, na mesma região onde atualmente está situado o município de Campos Gerais. (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS GERAIS, 2007).

Anos depois Tomé Soares de Oliveira, Francisco Graciano de Macedo, Simão Martins Ferreira e outros membros das famílias Soares e Martins iniciaram em 1827 a fundação do povoado do Carmo do Campo Grande, hoje cidade de Campos Gerais. Para esse fim, doaram à igreja 50 alqueires de terras, essa doação constituiu o patrimônio de Nossa Senhora do Carmo, a padroeira da terra, com a capela que ali erigiram (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS GERAIS, 2007).

Campos Gerais está localizada na mesorregião sul/sudoeste de Minas Gerais e na microrregião de Varginha. Tem como novas regionalizações municipais Alfenas, Campo do Meio, Boa Esperança, Fama, Paraguaçu, Santana da Vargem e Três pontas, conforme mostra a figura 01. Está inserida nas cidades do *Circuito dos Lagos*, localizadas ao entorno do lago de furnas. Sua principal atividade econômica é a agricultura, onde se destaca a produção de café. Segundo dados do Censo Agropecuário (2017), Campos Gerais é o quarto maior produtor de café de Minas Gerais. Na agricultura também pode se destacar a pecuária, porém em menor quantidade.

De acordo com o IBGE (2020), o município possui uma população estimada de 28.970 habitantes contida em uma área de 769.504 km² (centenas de quilômetros quadrados), com uma densidade demográfica de 35,87 hab./km². Sua economia é baseada na agricultura, onde se destaca a produção de café, como sendo o principal produto, a criação de gado de leite e corte além do cultivo de culturas temporárias

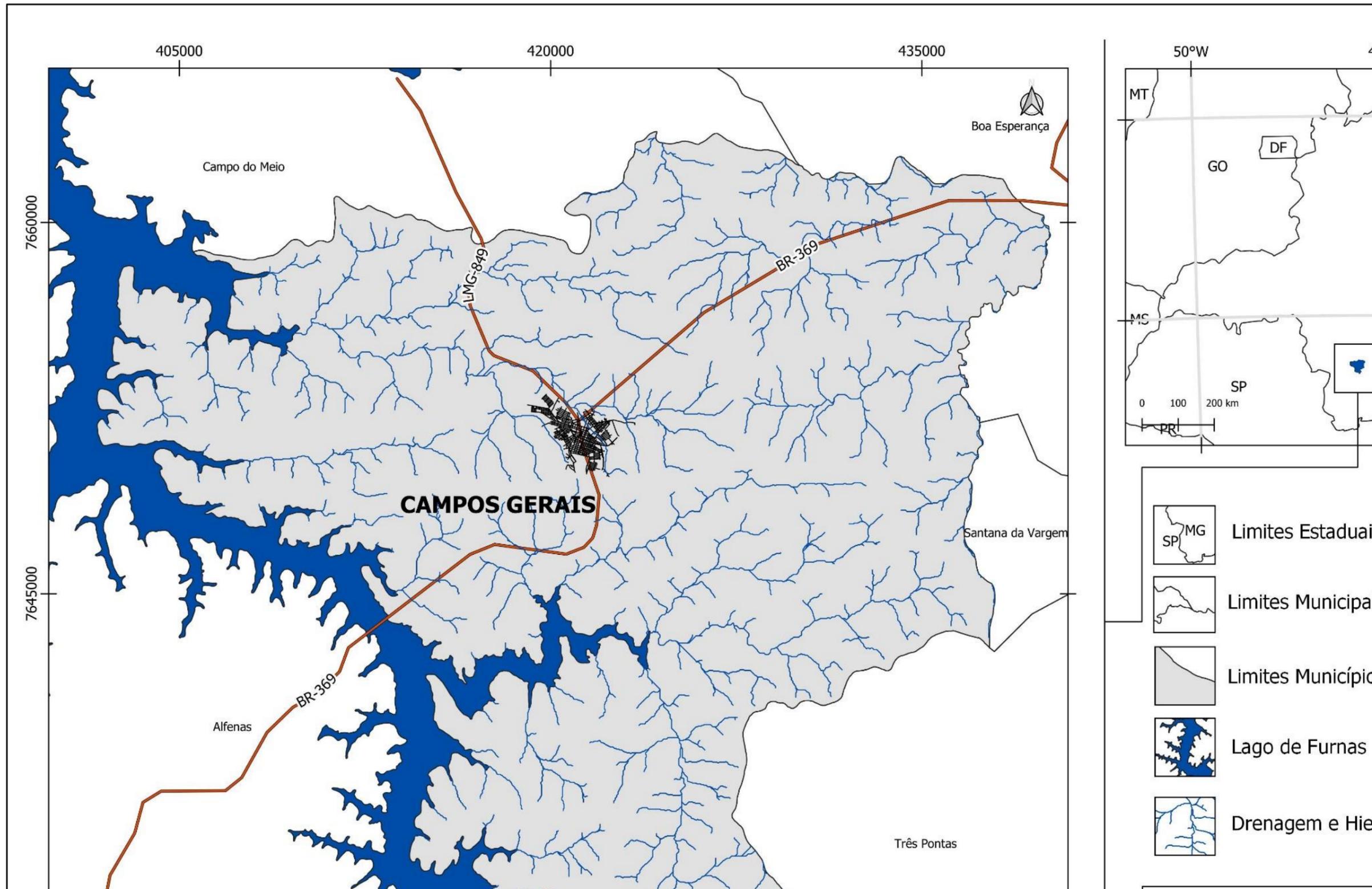
como milho, feijão e soja. Segundo o DEER-MG (2017), a distância de Campos Gerais para os grandes centros nacionais é de 316 km até a capital mineira, 351 km até a cidade de São Paulo, 480 km até o Rio de Janeiro e 851 km de distância até Brasília. O município conta com a BR-369, e a MG-849, sendo essa primeira a principal rodovia que atende o município.

3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS

O município de Campos Gerais apresenta um clima tropical, com verões mais quentes e chuvosos e invernos secos com temperaturas amenas. Serra e Ratisbonna (1942) discorrem que o regime climático da região sudeste é determinado pelas ações da Massa Tropical Atlântica (mTa), da Massa Polar Atlântica (mPa), Massa Equatorial Continental (mEc), Frente Polar Atlântica (fPa) e das Linhas de Instabilidade ou Calhas Induzidas (CI).

O município possui uma pequena estação meteorológica, localizada em uma Unidade Avançada da Cooxupé em parceria com a Feagri-Nipe/Unicamp com apoio do GAS/Unesp-Jaboticabal e Embrapa/Informática para o monitoramento agrometeorológico e integração de dados em plataforma Web (SISMET), que trazem dados climáticos obtidos a partir do ano de 2012.

Figura 1 - Mapa de localização do município de Campos Gerais – MG.



Segundo o Sismet (2021) as temperaturas históricas mínimas chegam aos 14,3° no mês de julho (quando não há geadas, onde as temperaturas são próximas a 0°), e as máximas chegam a 32,8° no mês de dezembro. As precipitações anuais chegam aos 1405,4 mm, sendo que o mês de agosto apresenta o menor volume de precipitação, com 10,4 mm e o mês de novembro o maior, com 239,7 mm.

Ayoade (2010) afirma que para estabelecer históricos sobre o clima são necessários pelo menos 30 anos de observações de dados. Devido a isso, o clima de Campos Gerais é abordado em escala regional e local. Em uma análise regional é destacado características genéricas do clima tropical que predomina na região sudeste, dados que são fornecidos pelas estações meteorológicas de Lavras e Machado, ambas com cerca de 100 km de distância do município. Já em escala local o clima é abordado a partir da consideração de uma série de dados históricos pluviométricos gerados pelo próprio município.

As temperaturas médias da região são baseadas na análise dos dados obtidos pelas duas estações já citadas. A temperatura média varia entre 18 e 27°C, sendo que as médias das máximas permanecem entre 23,1°C em julho e 29°C em fevereiro, já a média das mínimas mudam de 8,8°C em julho a 17,8°C em janeiro. Os dados pluviométricos do município de Campos Gerais apresentam médias anuais na casa dos 1408,3mm, sendo os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro os mais chuvosos. Mesmo com as variações anuais se diferindo dos municípios de Lavras e Machado, onde os dados são coletados, Campos Gerais apresenta padrões normais do clima tropical. Essas variações podem estar ligadas a condições altimétricas, configuração geral de relevo ou até a cobertura vegetal apresentada de forma diferente entre os municípios. (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS GERAIS, 2007).

3.3 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS

A região sul e oeste da rede hidrológica do município de Campos Gerais é abastecida pelo Rio Sapucaí, afluente do Rio Grande, pertencente à Bacia do Paraná (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS GERAIS, 2007). Em escala local, as principais redes de abastecimento do município são o Ribeirão da Onça, Ribeirão do Cervo, Ribeirão São Pedro, o Córrego da Divisa, o Córrego do Galo

e Córrego do Barreirinho. O Ribeirão do Cervo, por receber as águas do Córrego da Divisa, configura-se como o principal eixo de drenagem local, situado na porção centro-oeste do município. Assim como a maioria dos cursos d'água locais, deságua na Represa de Furnas, conforme exhibe a figura 01. As elevações próximas como a Serra do Macuco e Serra da Fortaleza constituem-se como grandes divisores de água da região.

Segundo o Instituto Mineiro das Águas (IGAM, 2013), o município de Campos Gerais é inserido na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs) GD3, na região central da bacia do Rio Grande. Por se localizar próximo à cidade, o Ribeirão do Cervo é utilizado para o abastecimento da rede urbana do município.

Devido à falta de práticas de conservação das drenagens locais, muito cursos d'água tem diminuído sua vazão ao longo dos anos. Os assoreamentos de rios e córregos, a retirada da mata ciliar, a exploração da terra através da agropecuária e a existência de erosões próximas aos seus leitos vem contribuindo para esse fenômeno. A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), empresa que realiza o abastecimento e tratamento da água local, pode também estar ligada a crise hídrica do município.

3.4 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A geologia da região ocupada pelo Lago de Furnas se insere, em escala regional, na Província Estrutural Tocantins, composta das Faixas de Dobramento Uruaçu e Brasília, unidades estruturais encostadas na borda sul do Cráton do São Francisco (UFMG, 2007).

As rochas que afloram na região são das unidades do Complexo Basal de Campos Gerais, (composto de granitos-gnaisses) do Grupo Araxá, (composto por xistos verdes micaxistos e migmatitos) e do Grupo Canastra, composto por filitos e quartzitos. As relações entre estratigrafia e condições tecto-estruturais apontam para o seguinte:

- o Complexo Basal teria idade Pré-cambriana Médio a Inferior e teria sido afetado pelos ciclos tectônicos transamazônicos ou Uruaçuano, com retrabalhamento pelo Ciclo Brasileiro, no Proterozóico Superior;

- os grupos Araxá e Canastra teriam idade do Proterozóico Médio e impressões tectônicas ligadas aos ciclos Uruaçuano e Brasileiro (UFMG 2007).

O complexo Basal situa-se nos municípios de Boa Esperança e Campos Gerais, e se inserem na Zona Estrutural Guaxupé. Já os grupos Araxá e Canastra situam-se alojados aos municípios de Ilicinia e Guapé (UFMG 2007).

O conjunto regional é caracterizado, do ponto de vista das estruturas tectônicas, por falhamentos de empurrão, intensos dobramentos e zonas de cisalhamento rúpteis representadas por sistemas de falhas transcorrentes, com movimentação sinistral e direção predominante N60-70W (UFMG 2007).

Do ponto de vista da geologia regional, Campos Gerais tem seu território sobre duas zonas estruturais regionais, e a sede se situa entre elas. Portanto o município é composto por duas áreas de geologia bem diferenciadas. A área meridional é constituída por rochas pertencentes ao Complexo Campos Gerais. A área central é representada por quartzo-dioritos. A área setentrional está inserida na zona estrutural Araxá-Canastra, constituída de rochas metamórficas, onde se destacam quartzitos puros, ou intercalados com xistos e filitos. E a região do distrito de Córrego do Ouro é ocupada por duas faixas com largura menores, caracterizadas por gonditos e anatexitos e rochas metabásicas e calcissilicáticas (UFMG 2007).

3.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

O município de Campos Gerais está inserido no Planalto de Varginha (GATTO *et al.* 1983) ou Planalto Sul de Minas (Alto Rio Grande) o qual, juntamente com o conjunto de serras, faz parte do Planalto Atlântico do Sudeste (AB'SABER 1975). O relevo da área é muito acidentado, possui serras altas com vertentes íngremes.

Deve-se dar destaque as áreas de topos de colinas e morros, onde ocorrem alterações de rochas sob condições bio-climáticas intertropicais, como a Serra do Paraíso que possui vertentes íngremes e atinge 1266m de altitude. As regiões de altitudes menores (786m) estão localizadas próximas a Represa de Furnas, e a Serra da Fortaleza que possui altitude aproximada de 1000m. A área urbana está localizada a 850 metros de altitude. (PEREIRA, 2010).

Na faixa de 880m a 980m encontram-se as formas de morros e morrotes em formas mamelonares com dimensões interfluviais finas, apresentando declives sempre superiores a 15%. Esses modelados apresentam topos aguçados e arredondados, alinhados aos principais vales fluviais da área, margeados por planícies fluviais, terraços ou por colinas. Por grande parte do município se espalham as colinas, caracterizadas por declives mais suaves e baixas amplitudes, com altitudes entre os 786 até os 880 metros (CABRAL, 2013).

Esses modelados apresentam coberturas de alteração mais desenvolvidas e constituem geoformas onduladas, com topos arredondados. Entre essas colinas localizam-se as planícies fluviais, as quais se configuram como as formas de menor altitude e declividade do município, apresentando tamanhos diferenciados dependendo do seu lugar de ocorrência. Em alguns locais apresentam inundações em determinadas épocas do ano devido à concentração de chuvas. Grande parte dessas planícies estão sob influência das atividades agropecuárias do município, e tem sua cobertura vegetal modificada ao longo dos anos (CABRAL, 2013).

3.6 ASPECTOS PEDOLÓGICOS

As áreas elevadas caracterizam-se por rochas mecanicamente resistentes ao intemperismo, predominando o quartzito, encontradas na faixa central e na zona norte da Serra de Campos Gerais, e são cobertas por argissolos. Esses solos são formados através da lavagem ácida sobre o material de origem arenoso de regiões úmidas. A espessura do solo varia conforme o tipo de relevo, muitas vezes inferior a 50 cm. Esse tipo de solo dificulta a agricultura (UFMG 2007).

Ao contrário, as áreas de relevos colinares, sustentados por rochas predominantemente ígneas, com destaque para as rochas de caráter especialmente máfico, exibem coberturas de latossolos vermelho escuros, predominantemente, o que permitiu a exploração do território agrícola pela cafeicultura. Esses são solos profundos, homogêneos, com alto teor de óxido de ferro e alumínio, distróficos, álicos, baixa CTC, baixa reserva de nutrientes, adensamento e baixo armazenamento de água (UFMG 2007). Esses solos são

definidos como não-hidromórficos, sendo moderado e latossólico, de textura argilosa ou média, rico em sesquióxidos.

Finalmente, as baixadas úmidas, correspondentes aos fundos de vales mais extensos apresentam, como era de se esperar, uma predominância de gleissolos, solos fortemente argilosos, com cores variadas e de difícil uso agrícola. As baixadas acabam sendo dedicadas às extensões de pastos úmidos (UFMG, 2007).

3.7 USO DA TERRA E OCUPAÇÃO VEGETACIONAL

O uso da terra tem influência direta na sua qualidade da conservação ambiental. Ambientes cobertos por vegetação evitam que a água da chuva atinja diretamente o solo, pois grande parte dela fica retida nas copas e folhas das árvores, possibilitando uma infiltração mais lenta nas camadas subsuperficiais, e reduzindo o risco do escoamento concentrado na superfície.

A presença de vegetação representa proteção aos solos, proteção a sua estrutura, aumento da infiltração da água, e menos danos causados por processos erosivos. Todavia, estes remanescentes estão diminuindo cada vez mais na área em estudo.

O município de Campos Gerais possui uma cobertura vegetal com características de Cerrado e Mata Atlântica, por estar situada na faixa de transição entre dois biomas. Possui uma cobertura vegetal predominante de mata secundária, com Floresta Estacional Semidecidual e Savanas (IBGE, 2012). Porém, apenas uma pequena parte do território do município de Campos Gerais ainda está coberta por remanescentes florestais, pois as áreas destinadas atividades rurais ocupam a maior parte do município. Enquanto os corpos hídricos são representados principalmente pela represa de furnas, que abrange uma área considerável do município.

As áreas de matas são ínfimas, se comparadas à extensão territorial do município. Localizam-se em relevos íngremes, pelo fato de que áreas com declives acentuados não são passíveis de mecanização para a agricultura.

Dentre as atividades agrícolas, o café corresponde a maior parte do uso do solo do município. Essa cultura permanente é produzida desde pequenas

propriedades familiares, até fazendas altamente mecanizadas e com produção em grande escala.

A pastagem também se encontra dispersa por todo município, porém, em menor escala que o café. A criação bovina é realizada para as atividades de cria, recria, engorda e leite. Esse tipo de produção requer maior atenção no que tange ao meio ambiente, pois devido à compactação do solo e trilhos que surgem nas propriedades onde são criados, a pastagem e o solo podem ser degradados.

Os sopés das serras do município são áreas que possuem feições erosivas evidentes. Isso ocorre devido ao relevo íngreme associado a solos arenosos e a má conservação dos solos. O solo exposto intensifica a erosão hídrica e assoreia a drenagem local, causando prejuízos na esfera ambiental, social e econômica.

Em síntese, uso da terra e ocupação vegetal do município é composto por: ocupações rurais, ocupações urbanas, água, vegetação de mata, café, pastagem, silvicultura, várzea, solo exposto e outras culturas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 A ABORDAGEM SISTÊMICA NOS ESTUDOS GEOGRÁFICOS

A introdução da análise sistêmica na Geografia se deu de maneira desigual, com um avanço do paradigma no contexto alemão, legado dos naturalistas navegantes que tem em Humboldt sua mais alta expressão, contrastando com uma ruptura epistemológica na Geografia anglo-americana, enraizadas no paradigma davisiano (ABREU, 2003).

A transformação do pensamento geomorfológico trazida por Abreu (2013) nos mostra uma escola alemã ligada a uma leitura com um enfoque mais holístico da paisagem, analisando-a em um contexto maior e promovendo associações com a climatologia, a biogeografia e a ação humana. Em contrapartida, há um desenvolvimento de técnicas quantitativas de cunho neopositivista dos anglo-fônicos, resumindo-se aos modelos matemáticos a análises morfométricas de bacias hidrográficas.

Richard John Chorley introduz na geomorfologia o conceito de sistema no ano de 1962 (CHRISTOFOLETTI, 1999), formulando novas abordagens teórico metodológicas para estudos a respeito de processos históricos do relevo baseados nas ideias de Davis e Penck (1853), ou de Lester C. King (1956) com uma teoria bastante assimilada pela geomorfologia brasileira da metade do século XX, a teoria da pediplanação.

As primeiras integrações entre a abordagem sistêmica e a geomorfologia expõe-se nos escritos da Teoria do Equilíbrio Dinâmico proposta por Hack (1960), onde os sistemas ambientais tenderiam ao equilíbrio em razão da saída e entrada de matéria de um determinado sistema, como quando um afluente atingiria seu equilíbrio com a regulação entre as taxas de erosão e deposição. Essas noções foram essenciais no progresso da geomorfologia teórica e aplicada (CHRISTOFOLETTI, 1980).

De acordo com Christofolletti (1999) a complexidade do sistema ambiental físico, como entidade individualizada, torna-se compreensível quando focalizada sob a perspectiva da análise geográfica. A Geografia é a disciplina que estuda as organizações espaciais. A Geografia Física, como subconjunto da Geografia,

preocupa-se com o estudo da organização espacial dos sistemas ambientais físicos, também denominados de geossistemas.

Gregory (1992) nos mostra que a abordagem sistêmica na geografia foi um processo de 35 anos iniciada com Tansley (1935), quando este formula o conceito de ecossistema, e tem seu grande e definitivo destaque Chorley e Kennedy (1971), sendo considerada uma obra que marcou a incorporação da análise sistêmica para os geógrafos anglo-americanos.

Na obra intitulada “Ecodinâmica”, Tricart (1977) nos revela consideráveis contribuições a abordagens da dinâmica dos sistemas ambientais na alçada da Geomorfologia, diferenciando segundo graus de instabilidade morfodinâmica, os meios estáveis (pedogênese suplantando a morfogênese), os meios intergrades (situação de equilíbrio como principal agente de evolução da paisagem), e os meios fortemente instáveis (situação de grave desestabilidade morfodinâmica). Essa abordagem apoiada nos conceitos de biostasia e resistasia (ERHART, 1966) tem servido como pressuposto metodológico em uma série de trabalhos na área da geomorfologia ambiental e geografia física, como as cartas de fragilidade ambiental, fortemente utilizada em trabalhos de gestão territorial.

A adoção do conceito de sistema pela ecologia, com a elaboração da noção de ecossistema, permitiu a integração de conhecimentos anteriormente isolados, dispersos em vários capítulos nos livros de botânica e zoologia. Além disso, essa adoção permitiu o desenvolvimento de uma nova maneira de abarcar os problemas e, por consequência, incentivou o desenvolvimento de novas pesquisas. Um efeito idêntico de fertilização pode ser proveitoso para a geografia física, cujos diversos ramos oferecem uma imagem de pulverização estéril. De fato, a maior parte das diversas disciplinas que integram a geografia física têm por objeto o estudo do meio ambiente, incluído na noção de ecossistema. Para nós, compreendida dessa maneira, a Geografia Física é um aspecto da ecologia (TRICART, 1977).

O autor também destaca que a orientação proposta possui uma grande vantagem:

Melhorar a geografia física, corrigindo o excesso unilateral da atitude analítica, da qual sofreu, isolando-se cada vez mais das outras Ciências e permanecendo uma disciplina por demais

acadêmica. Ao lado das pesquisas analíticas, devemos desenvolver uma geografia física geral, cooperando com a ecologia no estudo do meio ambiente e, por consequência, útil e apta como base de muitas atuações práticas (Tricart, 1977).

Ab'Saber (1969) organiza em três níveis de estudos para a geomorfologia brasileira. O primeiro nível se encarrega da compartimentação regional do relevo, descrevendo cada compartimento de forma mais detalhada. Em um segundo nível é feito o estudo das coberturas superficiais e das superfícies da erosão associadas e seus depósitos correlativos no intuito de reconstruir aspectos da evolução quaternário da paisagem. O terceiro nível busca entender os processos atuais e sua dinâmica e complexidade, procurando averiguar a fisiologia da paisagem da forma integrada, a partir das influências climáticas, dos regimes hidrodinâmicos e erosivos associados, bem como das transformações humanas no espaço.

4.2 CONCEPÇÕES SOBRE GEOSISTEMAS

Desde os primórdios do pensamento geográfico, já existiam obras com caráter descritivo, ao qual assemelham-se a um pensamento sistêmico ainda na sua fase embrionária. Heródoto (485 a.C. – 425 a.C.) inseriu o contexto histórico na análise geográfica em sua obra “Histórias” que posteriormente foi dividida em 9 livros. Estrabão (\cong 63 a.C. – 24 d.C.) começou a formular parâmetros do pensamento idiográfico com sua obra desenvolvida em 17 volumes intitulada de “Geographia”. Ptolomeu (\cong 70 d.C.) com sua obra cujo nome e o número de volumes é o mesmo da de Estrabão exerceu influência no desenvolvimento da cartografia. Autores como esses nos evidenciam a relevância do pensamento geográfico e a importância que suas obras possuíram nessa organização.

Stacciarini (2018) ressalta que para alguns cientistas, o pensamento geográfico é o mais antigo dentre todos. Desde as primeiras civilizações, com as migrações e a diferenciação dos lugares, ele já estava presente na sociedade. Já na Grécia antiga, com o domínio da escrita, cabe a Heródoto, Estrabão e Ptolomeu a organização dos conhecimentos de natureza geográfica.

Sotchava (1977) foi o grande precursor nessa abordagem ao apresentar o conceito de geossistemas extraído de uma atmosfera ligada às especulações sistêmicas. Ele afirma que os geossistemas possuem uma organização sistêmica mais complicada em relação aos ecossistemas:

Geossistemas são policêntricos, sendo-lhe peculiares alguns componentes críticos, um dos quais é, geralmente, representado pela biota. De qualquer modo, mesmo nos casos em que este ou aquele ecossistema coincide, especialmente, com o seu geossistema adequado, as abordagens de um geógrafo e de um ecologista são diferentes: para o geógrafo, é universal; para o ecologista, especializado. (SOTCHAVA, 1977, p. 17).

Em 1963, Viktor Borisovich Sotchava introduziu o conceito de geossistemas a fim de propor maior interdisciplinaridade no que se refere às abordagens integradas da natureza (PLYUSNIN; KORYTNY, 2012). Esse conceito figurou pela escola Russo – Soviética até ultrapassar suas fronteiras através do francês Georges Bertrand (SEMENOV; SNYTKO, 2013), disseminando o conceito e a abordagem geossistêmica por diversas partes do planeta, porém a concepção de geossistemas de Bertrand era diferente de Sotchava.

Para Sotchava (1977) os geossistemas são formados por componentes que estabelecem relação com a natureza. Os geossistemas se organizam como unidades naturais geográficas se manifestando em diferentes escalas desde a mais elementar até todo sistema terra, que engloba os fatores físico-geográficos.

Christofoletti (1999), ressalta que o geossistema resulta da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica, não apresentando, necessariamente, homogeneidade fisionômica, e sim um complexo essencialmente dinâmico.

Segundo Marques Neto (2008), para Sotchava os geossistemas se tratavam de sistemas naturais, mas mesmo assim ele tinha a visão de conexão entre os elementos biofísicos e a esfera socioeconômica, tudo isso aplicável em abordagens geográficas.

Com o passar do tempo a geografia passa por estruturações e reformulações com a contribuição de grandes nomes dos mais diversos campos do conhecimento. Massey (1999) mostra isso ao trazer uma simetria entre a física e as “subdivisões” da geografia humana e geografia física, fazendo uma crítica a adoção da física e de uma visão positivista não só da geografia, mas de diversas áreas da produção do conhecimento, onde haveria uma

superestimação dos campos das exatas. Sobre esta visão traz-se a compreensão de Ludwing Von Bertalanffy (1977), biólogo austríaco, que em sua obra Teoria Geral dos Sistemas, diz:

Esta evolução seria simplesmente mais uma das múltiplas facetas da modificação que se passa em nossa sociedade tecnológica contemporânea se não fosse a existência de um importante fator que pode não ser devidamente compreendido pelas técnicas altamente complicadas e necessariamente especializadas da ciência dos computadores, da engenharia dos sistemas e campos relacionados com estas últimas. Não é apenas a tendência da tecnologia de fazer as coisas maiores e melhores (ou, no caso oposto, mais lucrativas, destruidoras ou ambas). Trata-se de uma transformação nas categorias básicas de pensamento da qual as complexidades da moderna tecnologia são apenas uma – e possivelmente não a mais importante – manifestação. De uma maneira ou de outra, somos forçados a tratar os complexos com totalidades ou sistemas em todos os campos de conhecimento. Isto implica uma fundamental reorientação do pensamento científico (BERTALANFFY, 1977, p. 19).

A teoria geral dos sistemas de Bertalanffy (1977) foi de enorme contribuição ao estudo da geografia, análise ambiental e estruturação da produção do conhecimento. Inúmeros geógrafos com ligações à abordagem sistêmica, debruçam sobre inúmeras discussões acerca dos sistemas terrestres, inserindo conceitos como ecossistema e geossistema como espinhas dorsais do planejamento territorial e leitura da paisagem buscando a geração e aplicação de modelos que melhor sintetizassem a gênese dinâmica e evolução das paisagens. Bertalanffy (1975) conclui que independente do campo do conhecimento estudado, o pesquisador terá de lidar com os mais variados sistemas.

Apesar da importância e aplicabilidade, a Teoria Geral dos Sistemas não obteve reconhecimento de imediato, começando a ter prestígio científico somente no pós-guerra. Devido à mudança nos paradigmas científicos que se desenrolaram ao longo do início da segunda metade do século XX, a construção de modelos e abstrações generalistas começa a ganhar espaço no meio acadêmico (BERTALANFFY, 1975). A teoria se tornou basilar em diversos

trabalhos, dentre estes muitos ligados à geografia, que adota a teoria como um de seus métodos.

Bertalanffy (1975) nos mostra inúmeras criações inspiradas na Teoria Geral dos Sistemas, tais como a: Teoria da Informação; Análise Fatorial; Teoria dos Jogos; Teoria da Decisão; Topologia e a Teoria Geral dos Sistemas em sentido restrito.

Em um retrospecto sobre a formulação da teoria geral dos sistemas, Bertalanffy (1975) elucida que:

Tal como se dá com qualquer nova ideia da ciência ou em outra atividade, o conceito de sistema tem uma longa história. Embora o termo “sistema” não tivesse sido empregado com esse rótulo, a história desse conceito inclui muitos nomes ilustres. Sob a designação de “filosofia natural”, podemos fazê-lo remontar a Leibniz, a Nicolau de Cusa, com sua coincidência dos opostos, à medicina mística de Paracelso, à visão da história de Vico e Ibn-Kaldun, considerada como uma série de entidades ou “sistemas” culturais, à dialética de Marx e Hegel, para não mencionar mais do que alguns poucos nomes dentre uma rica panóplia de pensadores (Bertalanffy, 1975).

Morin (1977) ao introduzir o conceito de complexidade a teoria geral dos sistemas faz grandes avanços na abordagem sistêmica. O autor destaca o desfalecimento do termo sistema, ao frisar que a teoria geral dos sistemas não aprofundou o seu próprio fundamento, não refletindo sobre o conceito de sistema.

4.3 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS ESTUDOS AMBIENTAIS

4.3.1 Aplicação do Sensoriamento Remoto em estudos ambientais

Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto se tornou um grande aliado para análise e monitoramento de questões ambientais. A erosão dos solos, o uso indiscriminado de recursos naturais e as mudanças climáticas têm sido temas de reuniões recorrentes de vários cientistas pelo mundo, a fim de chegarem a um consenso sobre como conter a degradação do nosso planeta. O sensoriamento remoto surge como uma ferramenta importante para a investigação, controle e tomadas de decisão sobre o meio ambiente.

Com o aperfeiçoamento da tecnologia, atualmente é possível coletar e analisar dados por meio de satélites em diferentes escalas (do local ao global). Os dados podem ser analisados de forma qualitativa e quantitativa, descrevendo em qual grau de degradação determinado meio se encontra, como por exemplo ecossistemas ameaçados de extinção, poluição de rios e atmosfera, mudanças climáticas e demais ambientes.

A evolução da tecnologia coagiu a Geografia a incorporar procedimentos modernos às suas análises metodológicas, buscando novos mecanismos para acompanhar os avanços da humanidade. Dessa forma, a geografia passa a utilizar novas ferramentas para análise ambiental. A geografia utiliza técnicas do sensoriamento remoto para diversas finalidades. Porém, suas principais utilidades nessa área do conhecimento são focadas na utilização de informações para monitoramento do uso da terra, previsão de safra, planejamento urbano, doenças, plantas, geologia e monitoramento de processos geomorfológicos.

Devido à enorme quantidade de variáveis que compõem um ambiente é necessário buscar novas maneiras de analisá-lo e tratá-lo de forma sistêmica. As técnicas de Sensoriamento Remoto têm sido um importante meio de viabilizar os estudos ligados às questões ambientais, à medida que a interpretação dos dados vai gerando mapas de recursos naturais (VILELA, 2014).

Diversos autores definem e compreendem o sensoriamento remoto de formas similares. Para melhor compreensão sobre esse sistema e suas aplicações, faz-se necessário analisar diferentes concepções.

Novo (1998) define sensoriamento remoto como sendo a utilização de sensores para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores seriam os equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações.

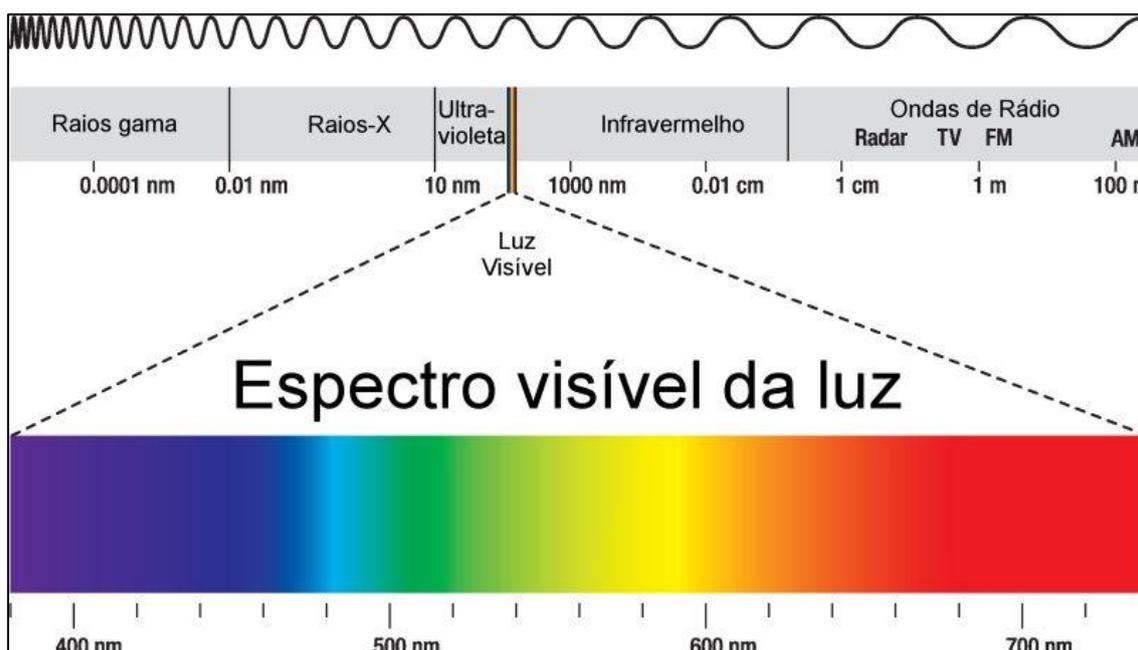
Sobre o sensoriamento remoto, Moreira (2001) salienta que:

(...) a quantidade e a qualidade da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resultam das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos. Essas interações serão determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens dos sensores remotos.

Além disso, é importante frisar que as câmeras tradicionais captam somente o espectro de luz visível. Já os sensores do sensoriamento remoto captam também outras bandas, como o infravermelho, de grande valor para estudos envolvendo vegetação, por exemplo. É possível afirmar que a energia eletromagnética espelhada pela superfície terrestre é o suporte para seu reconhecimento, sendo possível quantificar a energia emitida e refletida por ela, e através disso analisar suas principais características.

De acordo com Vilela (2014), após feita a captura da imagem, geralmente por satélites, estas serão analisadas, transformadas em mapas ou constituirão um banco de dados georreferenciados caracterizando o que chamamos de Geoprocessamento. Logo, pode-se afirmar que os sensores remotos são ferramentas indispensáveis e essenciais para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais.

Figura 2 - Espectro eletromagnético.



Fonte - FURIAN, 2020.

É possível aplicar as técnicas de sensoriamento remoto na agricultura convencional, na atualização de bases cartográficas, no monitoramento do uso e cobertura da terra, estudos florísticos, identificação de áreas com fragilidade ambiental potencial e emergente, inserção de estradas e rodovias, dentre outras

finalidades. O vasto campo de atuação do sensoriamento remoto, permite sua utilização em todos os ramos da ciência.

As técnicas de Sensoriamento Remoto aliadas ao banco de dados do Sistema de Informações Geográficas (SIGs) permitem interpretações com qualidade e confiabilidade altamente fidedignas do objeto de estudo, na Geografia.

4.3.2 Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica aplicados aos estudos ambientais

O geoprocessamento é um ramo das geotecnologias que utiliza técnicas e métodos teórico-matemáticos e computacionais relacionados à coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta do geoprocessamento que gera informações através da análise e integração de dados geográficos.

Atualmente, o geoprocessamento é utilizado em diversas áreas do conhecimento, devido a sua praticidade, velocidade e acurácia nos resultados obtidos. Nos estudos ambientais, tem-se mostrado eficaz e é amplamente utilizado.

O Geoprocessamento aplicado aos estudos ambientais é utilizado para gerar novas informações a partir de dados ambientais georreferenciados. Os dados ambientais relacionam-se aos componentes físicos, bióticos e antrópicos de uma determinada área ou região em estudo. O objetivo principal dessa ferramenta é fornecer opções computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espaciais e temporais de um fenômeno geográfico. As inter-relações entre diferentes fenômenos num mesmo espaço geográfico também podem ser alvo de estudo.

Segundo Guterres (2020) sua aplicação em estudos ambientais possibilita maior flexibilidade, segurança e agilidade nas atividades de monitoramento, planejamento e tomada de decisão relativas ao espaço geográfico, podendo ser utilizado por usuários em diferentes esferas, desde órgãos governamentais ligados à Administração Pública ou entidades particulares, pessoas físicas ou jurídicas. Para utilizar adequadamente as ferramentas de geoprocessamento em projetos, o usuário precisa ter o domínio de técnicas de integração de dados,

para a compreensão de fenômenos ambientais, analisando seus componentes a inter-relação entre eles. A presente autora também relata que:

O especialista em Geoprocessamento Ambiental precisa combinar ferramentas de análise espacial, processamento de imagens, geoestatísticas e modelagem numérica, por exemplo. Podemos elencar três grandes aplicações do Geoprocessamento Ambiental: o mapeamento temático, os estudos de impacto ambiental e o ordenamento territorial (GUTERRES, 2020).

Xavier da Silva e Carvalho Filho (1993) relatam que é possível realizar estimativas de impactos ambientais utilizando o geoprocessamento, através de uma análise que procure considerar diversos aspectos relevantes do ambiente, de forma integrada, usando para isso a estrutura de avaliações ambientais complexas. O autor complementa que:

Sérios desequilíbrios ambientais podem derivar da incidência de processos ambientais (urbanização, expansão de fronteiras agrícolas, desenvolvimento de áreas de mineração) sobre condições limitantes do ambiente. A diagnose do nível desses desequilíbrios, em termos de geoprocessamento, pode se basear na definição dos impactos setorializados do processo sobre as diferentes condições ambientais que são limitantes de sua expansão territorial. A incidência do processo pode ser medida contra riscos, outros potenciais ou aptidões, e necessidades de proteção ambiental, que tenha sido diagnosticado anteriormente (XAVIER DA SILVA; CARVALHO FILHO, 1993).

Os primeiros SIGs usados para o geoprocessamento ambiental surgiram no Canadá, em 1962. Esses podem ser definidos como sistemas manuais ou automatizados que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Idealmente, um SIG integra equipamentos, programas, dados, pessoas e instituições. Esse conjunto torna possível a coleta, armazenamento, processamento, análise e disponibilização de informações georreferenciadas. Essas informações são usadas principalmente no monitoramento, planejamento e tomada de decisão relativos ao espaço geográfico.

Sistemas de Informações Geográficas são uma tecnologia transdisciplinar, que através da integração da localização e do processamento de dados geográficos, une várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e agentes para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas e mapas digitais

georreferenciados. A absorção da tecnologia de informação pela Cartografia gerou profundos efeitos nessa ciência, modificando e ampliando a forma de elaboração e as funções dos mapas (ROCHA, 2000).

Várias são as aplicabilidades dos SIG's em trabalhos ambientais. Segundo Rocha (2000) destacam-se: monitoramento de florestas; monitoramento e controle de pragas e doenças nas áreas rurais; simulação de plantios e colheitas; gestão de redes de distribuição de energia elétrica e de água e coleta de esgoto; administração, caracterização e localização de recursos naturais; monitoramento das bacias hidrográficas; avaliação de aptidão agrícola, planejamento do transporte; mapeamento dos solos e planejamento da expansão urbana.

Na utilização e manuseio dos SIGs são necessários profissionais qualificados para garantir a obtenção de bons resultados. O técnico que fizer uso destes sistemas deverá simular problemas, criar protótipos de projetos e usar as informações geradas na busca de soluções, mas, sobretudo, conhecer o mundo real no ambiente de sua atuação, não dispensando, portanto, o trabalho de campo (VILELA, 2014).

4.3.3 Análise Hierárquica de Processos (AHP) em Geotecnologias

Entre os métodos de análise multicritérios mais difundidos e utilizados globalmente, o Processo Analítico Hierárquico ou em inglês Analytic Hierarchy Process (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década 80 no século XX, nos Estados Unidos. Trata-se de uma metodologia voltada para solução de problemas de escolha (opção), aplicada para diversas situações onde existam estruturas complexas (TAVARES, 2019). O método AHP analisa matematicamente comparações pareadas entre fatores em conjunto aos julgamentos e pesos de especialistas para avaliar critérios qualitativos ou intangíveis. Assim, são identificados fatores ou atributos que, quando selecionados, são organizados hierarquicamente descendentes de modo geral até o objetivo ou solução para o (os) problema (as) até o critério, subcritério e alternativas em diversos níveis (SAATY, 1990).

O método AHP tem sido utilizado em problemas espaciais de localização, na análise de adequabilidade de terras, através dos pesos que determinados

critérios têm no alcance do objetivo da análise. Trata-se de um procedimento para os tomadores de decisão que aborda a aptidão de terras através da sistematização de critérios visando à seleção do local (CHANDIO *et al.*, 2013). Nessa abordagem, os atributos são administrados e tratados em ambiente SIG, onde dados vetoriais ou matriciais convergem para a produção de um mapa (ou produto) final que irá evidenciar as potencialidades ou fragilidades para o embasamento da solução do problema (SAATY, 2005; 1990).

Para Saaty (1987), o método AHP é uma teoria geral de mensuração, usado para derivar escalas de comparações entre pares discretos e contínuos. Essas comparações podem ser tomadas a partir de medições reais ou de uma escala fundamental que reflete a força relativa das preferências e julgamentos. Inicialmente, decompõe-se hierarquicamente para então agregar as soluções de todos os subproblemas em uma conclusão. Esse processo facilita a tomada de decisões, organizando percepções, julgamentos e informações em uma estrutura que exhibe as forças que influenciam uma decisão (SAATY, 1990). No caso simples e mais comum, as forças são organizadas a partir do mais geral e menos controlável para o mais específico e controlável, utilizando a capacidade humana inata de fazer julgamentos sobre pequenos problemas (TAVARES, 2018).

Para tomar uma decisão de forma organizada e produzir prioridades necessárias para a decomposição da decisão, é preciso seguir as seguintes etapas:

- Definição do problema de decisão - é necessário conhecer os valores do tomador de decisão, identificando assim qual o objetivo que pode ser atingido por meio da solução do problema;
- Decomposição do problema - pesquisar, dividir e estruturar o problema de modo a formar uma estrutura hierárquica, onde se deve verificar o objetivo e os critérios;
- Estabelecer prioridades - as prioridades dos critérios são definidas por comparação pareada, em relação ao seu nível hierárquico superior. Este processo é desenvolvido por meio de uma entrevista com os decisores,

buscando assim priorizar os critérios com maior peso para atingir o objetivo proposto;

- Síntese - obtida por meio de um processo de combinação e avaliação de prioridades frente aos critérios do problema, onde os julgamentos do tomador de decisão, são distribuídos pela hierarquia, e com isso, ao serem julgadas as alternativas, recebem a síntese das preferências do especialista;
- Análise de sensibilidade - realizada para avaliar a consistência do resultado das alternativas, respeitando cada critério que as compõe. Esta etapa é responsável por apresentar possíveis fragilidades que podem ser geradas ao mudar a prioridade de um critério. Consiste em fazer pequenas mudanças nos pesos das avaliações dos critérios e constatar qual seu impacto no resultado, de modo que, ao encontrar um impacto capaz de modificar o resultado, o critério que apresentou sensibilidade deve ser submetido a uma nova análise do especialista, para confirmar sua avaliação;
- Interação - nesta etapa, todas as anteriores são repetidas, permitindo assim que a decisão seja revisada com um entendimento melhor do problema, por meio do modelo desenvolvido (SAATY, 1980).

Saaty (1977) ainda sugere que para a determinação da importância dos julgamentos dos fatores, citados anteriormente, utilize-se uma escala de julgamento pré-definida para a atribuição dos pesos, variando de 1 a 9, no qual o valor 1 representa a igualdade de importância entre os critérios e 9 corresponde extrema importância de um critério sobre o outro, como é apresentado na Tabela abaixo:

Tabela 1 - Escala de julgamentos de critérios pré-definida por Saaty.

Intensidade ou importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Contribuição equiparada para o objetivo.
3	Moderadamente mais importante	Um objetivo ligeiramente favorável em detrimento de outro.
5	Fortemente mais importante	Um objetivo fortemente favorável em detrimento de outro.
7	Muito fortemente mais importante	Um objetivo muito fortemente favorável em detrimento de outro, domínio demonstrado na prática.
9	Extremamente mais importante	É a maior ordem de afirmação possível de um objetivo em detrimento de outro.
2,4,6,8	Valores intermediários	Possível necessidade de se interpolar julgamentos numéricos.

Fonte: adaptado de Saaty (1977).

O método AHP vem sendo amplamente utilizado em estudos ambientais. Albuquerque (2013) relata que pesquisadores relacionam a bacia hidrográfica como uma unidade natural da superfície terrestre, na qual é possível avaliar as inter-relações existentes entre os elementos da paisagem e os processos que atuam na sua estruturação, como a erosão hídrica do solo.

No tocante a Geografia, o método AHP têm sido potencialmente difundidos em estudos ambientais, pois mostra-se como um instrumento adequado para inferir fatores naturais e antrópicos que interferem em processos erosivos, por exemplo. A AHP minimiza a ocorrência de erros na determinação dos pesos para as variáveis utilizadas, facilitando a integração e elaboração de produtos intermediários e finais, que muitas vezes se traduzem em mapas de análise ambiental. Concomitantemente, plataformas unificadas de dados temáticos permitem o armazenamento, consultas, atualizações, dentre outras funções inerentes às geotecnologias.

Borges *et al.* (2015) objetivaram estudar a área do parque ecológico do Rio Paranaíba, no bairro Jardim Paulistano – Patos de Minas-MG, utilizando técnicas de geoprocessamento que auxiliam a gestão pública, elaborando cotas de inundações. Os autores delimitaram a área de estudo e coletaram informações espaciais, referentes ao tipo de relevo, tipo de solo, uso da terra, dados de estações climatológicas para o nível de precipitação anual da área de estudo e a utilizaram o método AHP, que utiliza critérios matemáticos, junto com fatores que influenciam na criação do mapa final.

Com os resultados obtidos no estudo, foi possível elaborar mapas da área delimitada do parque ecológico do Rio Paranaíba, como: uso da terra, altitude, declividade, tipo do solo e precipitação. Para a elaboração do mapa final de risco, adotou-se o método para análise hierárquica a fim de observar os critérios de influência, resultando em pesos estatísticos, para finalmente utilizar a técnica da álgebra de mapas no SIG escolhido, gerando o mapa de risco de inundação. Por meio dos resultados obtidos, os autores concluíram que o método AHP, aliado às técnicas de geoprocessamento se torna uma ferramenta bastante útil, facilitando a estruturação de problemas, e a modelagem matemática, além de auxiliar em processos de decisão complexos (MIRANDA, 2016).

Na intenção de produzir informações para preparar a cartografia de uma base pública por meio do mapeamento de riscos na bacia do rio Sosiani, na cidade de Eldoret no Quênia, Ouma e Tateishi (2014) realizaram um estudo sobre a vulnerabilidade de inundação em uma área de expansão urbana. Deste modo, os autores articularam o método AHP com o SIG, através da extensão

HEC-GeoRAS do programa ArcGIS. Para o ordenamento dos problemas do método AHP, como condicionantes da ocorrência à inundação foram considerados: a distribuição da precipitação, elevação e declividade, uso e cobertura da terra, tipos de solo e rede de drenagem. Após esse processo, 16 profissionais da área foram solicitados a dar suas contribuições e críticas sobre as variáveis relacionadas à inundação. Sendo assim, as variáveis foram escalonadas de acordo com sua importância em uma escala de 1 a 5, onde o peso 1 foi definido como o fator de menor importância e 5 o fator de máxima importância.

De modo geral, a AHP aplicada a estudos ambientais produz resultados eficazes, gerando produtos cartográficos finais capazes de traduzir a realidade ambiental de maneira simples e de fácil compreensão, os quais podem ser considerados como ferramentas técnico-gerenciais de subsídio a tomadas de decisão em questões socioambientais.

4.4 ANÁLISES SOBRE FRAGILIDADE AMBIENTAL E SUA APLICABILIDADE

A fragilidade ambiental apresenta uma longa relação entre seres humanos e meio ambiente. A discussão sobre o tema tem se mostrado de suma importância, tendo em vista o grande número pessoas e lugares afetados por mudanças meio físico, sendo expostos a prejuízos socioeconômicos.

Dessa forma, as questões acerca da fragilidade ambiental tornaram-se um dos interesses centrais da ciência voltada à sustentabilidade, surgindo como uma questão que trata dos problemas humano-ambientais, incluindo pesquisas sobre mudanças ambientais globais e mudanças climáticas.

De acordo com Ross (1994), a fragilidade dos ambientes naturais, diante das intervenções humanas, é maior ou menor, devido às características genéticas do meio ambiente. A princípio, os ambientes se mostravam em estado de equilíbrio dinâmico, até o momento em que as sociedades passaram a interferir cada vez mais, de forma intensa na exploração de recursos minerais.

Seguindo o conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977), a qualidade do meio ambiente pode ser classificada em níveis, a saber: Meios Estáveis, Meios Intergrades e Meio Fortemente Instáveis. O primeiro nível é

definido pela não interferência antrópica e os demais pela média e intensa ação humana no sistema natural, respectivamente.

Com o objetivo de mensurar o estágio de fragilidade ambiental que determinado meio se encontra, Ross (1994) adequou os conceitos de Unidades Ecodinâmicas, à geração do modelo de fragilidade ambiental, expandindo a instabilidade dos ambientes em vários graus, que variam de muito baixa a muito alta. O autor afirma que, a análise empírica de fragilidade ambiental, exige estudos básicos sobre relevo, subsolo, solo, uso da terra e clima. A construção do produto cartográfico é feita pelo cruzamento de pranchas planimétricas, que possuem as informações de variáveis geoambientais.

A primeira etapa é baseada na obtenção e cruzamento de dados relacionados aos solos e ao relevo, para a aquisição da fragilidade potencial, através da média dos valores. O presente autor ressalta a importância de se trabalhar com os índices de dissecação do relevo para escalas médias e pequenas, em escalas grandes, utilizar as classes de declividade ou forma das vertentes. O grau de fragilidade de cada classe varia entre 1 e 5. O meio analisado possui baixa fragilidade se estiver próximo ao número 1, e maior fragilidade conforme se aproxima do número 5.

Para a classificação do mapa de fragilidade ambiental, Ross (1994) relata que:

Devem-se cruzar os mapas de fragilidade potencial e uso da terra. Desta forma, atribuir-se-ão os impactos humanos sobre a litosfera, a partir das formas de ocupação e alterações na vegetação original. A análise do uso deve ser feita pela interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas, identificando-se os graus de proteção, conforme a cobertura vegetal. O mapa final gerado, apresentará as áreas de diferentes graus de fragilidade, os quais variam entre 1, em áreas de fragilidade muito baixa, a 5, onde são observados altos graus (ROSS, 1994).

Soares Filho *et al.* (1998), discorre que “

a carta de fragilidade ambiental ou potencial erosivo consiste em um fundamental instrumento ao planejamento físico-territorial, para fins de destacar importantes e frágeis ecossistemas

regionais, como também na identificação de áreas que necessitem de uma intervenção para se mitigar ocorrentes problemas ambientais (SOARES FILHO *et. al.*, 1998, p. 45).

É importante destacar que estes estudos levam em conta os dados obtidos em um período específico. Desta forma, devido às alterações constantes de uso do solo em alguns locais do espaço, devem ser realizados novos levantamentos da fragilidade ambiental periodicamente (CRUZ *et. al.*, 2010).

Nesse sentido, Spörl e Ross (2004, p. 40) afirmam que:

Estes estudos relativos às fragilidades dos ambientes são de extrema importância ao Planejamento Ambiental. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (SPORL; ROSS, 2004, P. 40).

Para auxiliar esta análise, é possível utilizar técnicas de Sensoriamento Remoto, como Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital do Terreno (MDT) e demais técnicas, para a elaboração de cartas e mapas que explicitem a realidade do meio físico em estudo de forma fidedigna, comprovando a eficácia das geotecnologias para a análise de fragilidade ambiental. Porém, o uso dessas ferramentas impõe a obrigatoriedade de profissionais qualificados, para manipulação de dados, redução do tempo de processamento e possibilidade de rápida atualização dos dados.

4.5 VULNERABILIDADE AMBIENTAL E PRESERVAÇÃO DOS SOLOS

Bertoni e Lombardi Neto (1990) salientam que algumas das causas do esgotamento de nossos solos pela erosão podem ser controladas, e todas as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo denominam-se práticas conservacionistas. Estas podem ser divididas em vegetativas, edáficas e mecânicas, segundo se utilize a própria vegetação, se trate de modificações nos sistemas de cultivo, ou se recorra à estruturas artificiais construídas mediante a remoção ou disposição adequada de porções de terra.

Cada uma delas resolve apenas parcialmente o problema; assim, para a melhor solução, deverão ser aplicadas simultaneamente, a fim de abranger com a maior amplitude possível os diversos aspectos do problema. As práticas

vegetativas e edáficas são mais simples de executar e de manter, sempre se deve recorrer a elas, utilizando as mecânicas como complementares, naqueles casos em que a combinação das outras não consiga a suficiente proteção dos terrenos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Para preservar o meio ambiente de forma efetiva é necessário entender que o homem do campo o utiliza também como espaço de produção agrícola. Por isso, é necessário ensiná-lo técnicas de manejo do solo, compreendendo a necessidade dos produtores que estão nele inseridos, juntamente ao diálogo com autoridades municipais e representantes dos comitês da bacia, buscando uma preservação ambiental integrada e participativa. Para uma melhor efetividade na aplicação de técnicas de manejo, compreender quais áreas do município possuem maior vulnerabilidade ambiental, ou seja, quais locais são mais frágeis e estão susceptíveis à erosão é de suma importância.

Qiu *et al.* (2015) afirma que vulnerabilidade ambiental é conceituada como susceptibilidade de um sistema a perturbações ou estresse. De modo que, esses estudos têm sido fortemente explorados na pesquisa interdisciplinar e aplicadas em problemas de ecologia, meio ambiente, agricultura, economia e urbanização.

Segundo Figueiredo (2007), vulnerabilidade ou fragilidade ambiental estão relacionadas com a susceptibilidade de uma área em sofrer danos quando submetida a uma determinada ação. Quanto maior a vulnerabilidade da bacia hidrográfica, menor a chance de recuperação do ambiente.

Ross (1994) elaborou uma análise empírica da vulnerabilidade de ambientes à perda de solos, denominada Fragilidade de Ambientes Naturais e Antropizados, onde definiu critérios para o levantamento de dados e análise das informações necessárias para a compreensão e classificação hierárquica das fragilidades dentro das diferentes unidades de estudo. Quanto à classificação da vulnerabilidade dos ambientes em relação aos processos erosivos o autor define cinco classes de vulnerabilidade que são: muito forte, forte, média, fraca e muito fraca.

Cabral *et al.* (2011), em seu trabalho de Mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Doce (GO), descreve vulnerabilidade como sendo a susceptibilidade do ambiente em resistir a degradação decorrente de processos

erosivos e sua relação com os fatores de desequilíbrio. Esses fatores podem ser naturais, decorrentes da própria dinâmica do ambiente, ou causados por ações antrópicas.

Crepani *et al* (2001), adaptou o conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) para obter informações preliminares para elaboração das Unidades Territoriais Básicas. Posteriormente, desenvolveu o método denominado de Vulnerabilidade Natural à perda de solo, com base na análise dos processos pedogenéticos e morfogenéticos das regiões que investigava. Neste trabalho, os autores dão grande ênfase na utilização de imagens de satélites para estudos ambientais integrados, pela possibilidade de as imagens mostrarem uma visão sinótica, repetitiva, e holística da paisagem.

Neste método, Crepani *et al* (1996) ressalta que as Unidades Territoriais Básicas são trabalhadas em duas categorias distintas. A primeira delas, unidades de paisagem natural, devem ser traçadas em imagens de satélite, através de elementos interpretativos, como textura, relevo, drenagem, matrizes de cores e conhecimento referentes aos aspectos naturais, como Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Cobertura Vegetal e Climatologia. Em seguida, devem-se definir os polígonos de ação antrópica, os quais mostram a atuação do homem alterando o espaço.

Deve-se trabalhar um cruzamento, a partir da média aritmética, de informações de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Cobertura vegetal e Climatologia. São atribuídos valores próximos de 1 em áreas estáveis, onde predominam os processos pedogenéticos; próximos de 2 em situações intermediárias; próximos de 3, em áreas vulneráveis, em que há um predomínio da ocorrência de processos morfogenéticos. Obtém-se, após este cruzamento, um produto final, com escala de vulnerabilidade de 21 classes de vulnerabilidade à perda do solo (CREPANI *et al.*, 1996).

O uso e ocupação da terra e os fatores físicos do ambiente, são os responsáveis pela caracterização da vulnerabilidade ambiental. Uma parte importante das alterações ambientais é realizada pelo homem, através de projetos de desenvolvimento urbano, tendo como resultados a fragmentação da

paisagem e o uso intenso dos recursos naturais (PAVLICKOVA; VYSKUPOVA, 2015).

De acordo com Silva *et al.* (2004), dentre os fatores topográficos, a declividade (S) de um terreno é um dos mais importantes no condicionamento da gênese e evolução do processo erosivo.

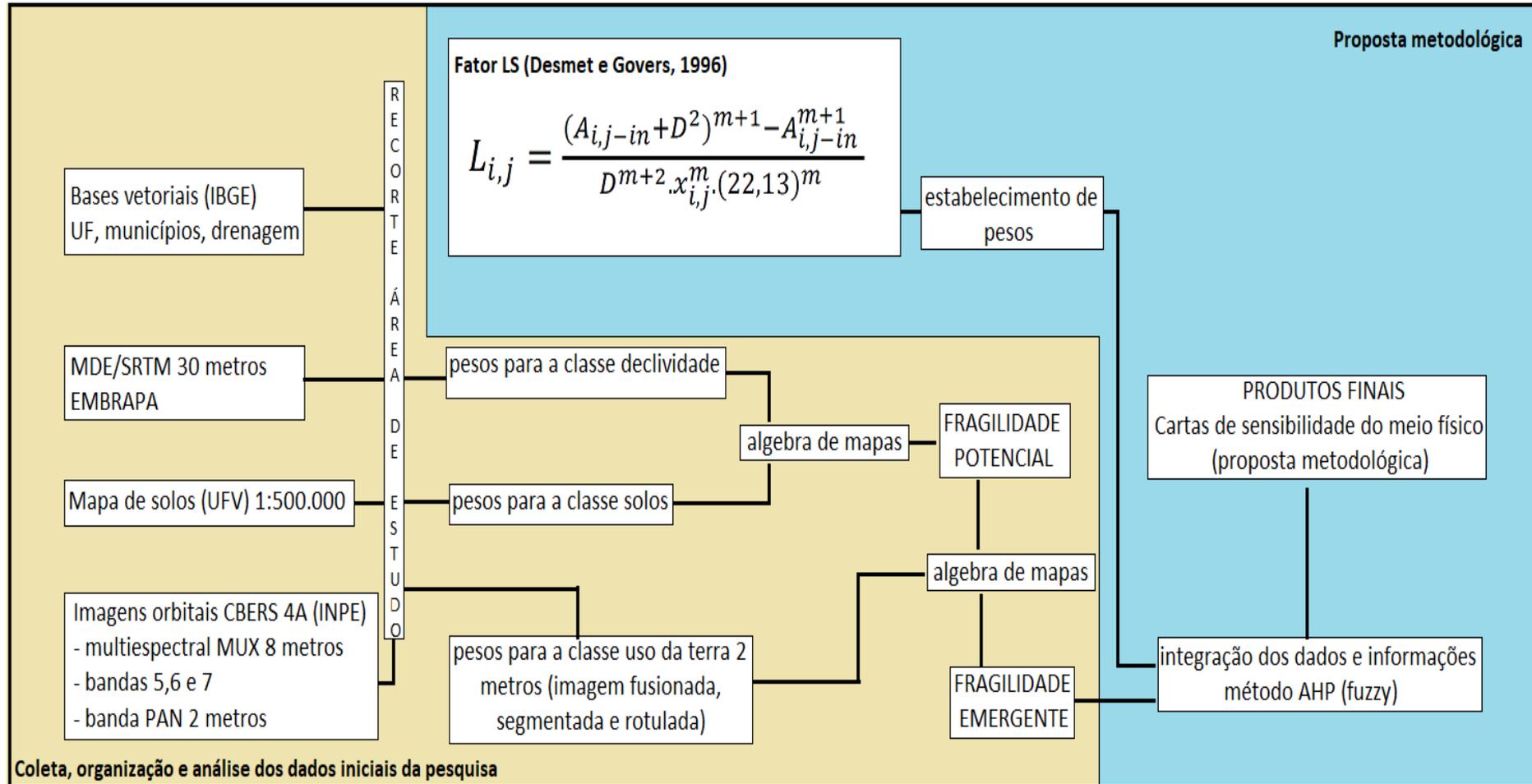
5 METODOLOGIA

Neste item são apresentados os materiais utilizados e os métodos empregados para o desenvolvimento do trabalho, conforme mostra o trabalho (figura 03). O Seu desenvolvimento foi embasado nos conceitos de Análise Empírica da Fragilidade Ambiental, proposta por Ross (1994) com o posterior incremento do Fator LS integrado ao processo. Para a integração de dados dos conceitos citados acima, foi utilizada a AHP elaborada por Saaty (1980), para criar uma hierarquia de decisão e formar níveis ou classes de maior interesse, com intuito de obter resultados finais com informações precisas e fidedignas.

5.1 BASE DE DADOS

O levantamento e a revisão dos materiais bibliográficos e cartográficos compuseram etapas importantes para o desenvolvimento e evolução da pesquisa. O material cartográfico disponível sobre a área de estudo necessário para organização do banco de dados constitui de: (i) carta topográfica na escala 1:50.000 do município de Campos Gerais (SF-23-V-D-II-1), disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); (ii) dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) ajustados e reamostrados para a resolução espacial de 30 metros disponibilizadas pelo site Earth Explorer (disponibilizados gratuitamente pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos em ambiente virtual), e (iii) imagens do satélite CBERS 4A (disponibilizadas pelo INPE) sensor WPM (8 metros) e PAN (2 metros) (quadro 1).

Figura 3 - Metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 1 - Material Cartográfico Utilizado.

Documentação Cartográfica	Articulação	Escala	Ano	Fonte
Carta Topográfica de	SF-23-V-D-II-1	1:50.000	1970	IBGE
Campos Gerais Dados vetoriais DGN (drenagem)	SF-23-V-D-II-1	1:50.000	1970	IBGE
Dados vetoriais municipais (limite de Campos Gerais e municípios limítrofes)	-	1:50.000	2010	IBGE
Dados vetoriais rodovias	-	-	2019	DNIT
Imagens CBERS 4 WPM	-	Resolução espacial	2020	NASA
Imagens CBERS 4 PAN	-	8 metros Resolução espacial	2020	NASA
SRTM	-	2 metros Resolução espacial 30 metros	2017	EMBRAPA

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.1 Aquisição de Imagens de alta resolução

As aquisições das imagens de alta resolução foram obtidas através da câmera multiespectral de alta varredura (WPM) do satélite CIBERS4A, nas seguintes bandas e cores presentes no quadro 2.

Quadro 02 - Bandas utilizadas para a elaboração dos mapas.

Banda	Cor/Aspectro
1	Azul
2	Verde
3	Vermelho
4	Nir (infravermelho próximo)
0	Pancromática de 2 metros

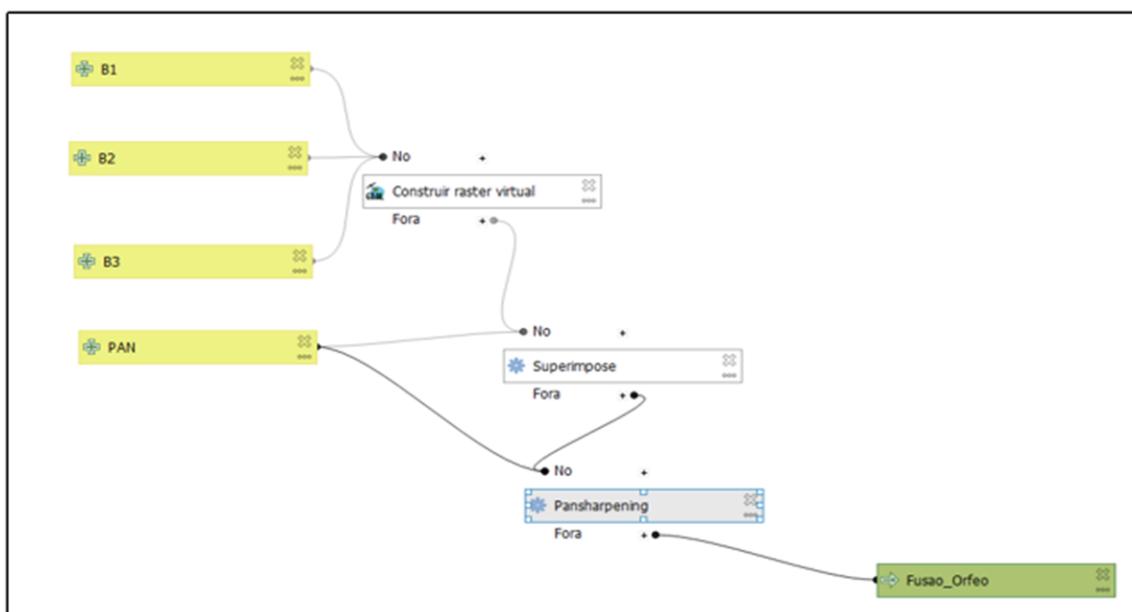
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS E ELABORAÇÃO DOS MAPAS

5.2.1 Fusão de imagens de alta resolução do CBERS4 A

Para este processo, tendo em vista a qualidade das imagens do Satélite Cbers4 A, foi necessário a utilização do Programa Orfeo Monteverdi, disponível no SIG Quantum GIS como provedor de algoritmos Orfeo Toolbox, conforme apresenta a figura 04. Foi necessário a criação de um modelador gráfico para facilitar o processo de composição colorida das imagens CBERS 4A WPM.

Figura 4 - Fluxograma da fusão das imagens de alta resolução.



Fonte: Elaborado pelo autor.

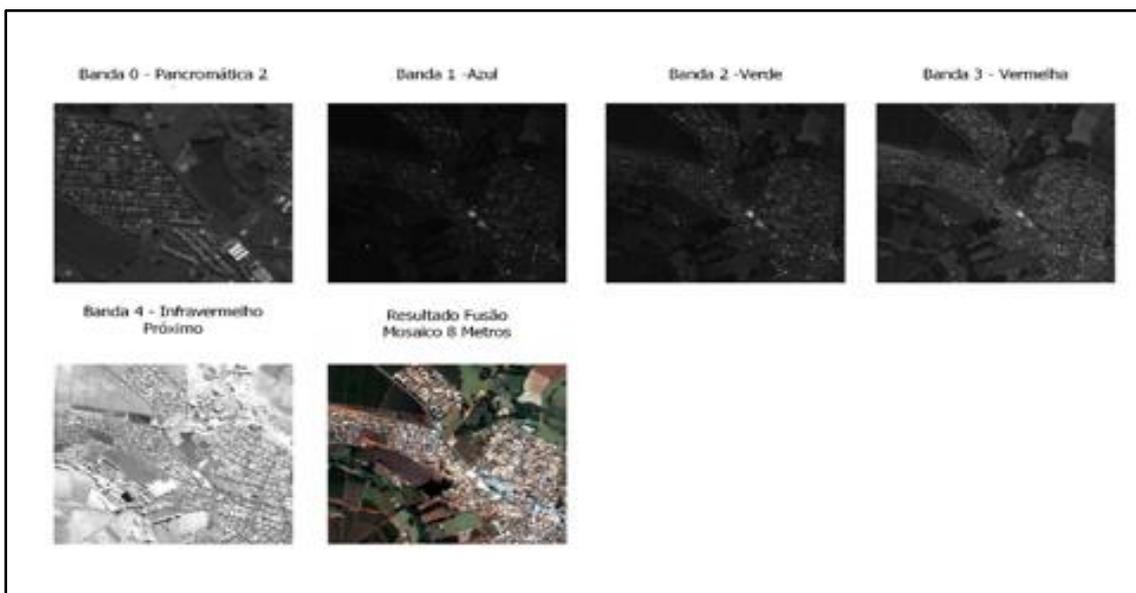
De acordo com a documentação do Quantum GIS (Qgis), o modelador gráfico permite a criação de rotinas complexas que envolvem diferentes provedores de algoritmos. Portanto, torna-se possível o envolvimento de diferentes rotinas em um único local. O modelo criado permite a possibilidade de executar em um único processo, diferentes rotinas.

Os modelos ou estruturas de algoritmos são importantes e evitam erros no processamento, principalmente se tratando de imagens CBERS 4A, extremamente pesadas.

Foi utilizado o modelo de entrada e saída de dados utilizando provedores de algoritmos presentes no software Qgis (ferramentas nativas, como SAGA GIS). De acordo com a figura 06, a rotina do modelo passa pelas seguintes fases: entrada das bandas; construção do raster virtual; superimposição (superimpose); pansharpening e fusão das Imagens.

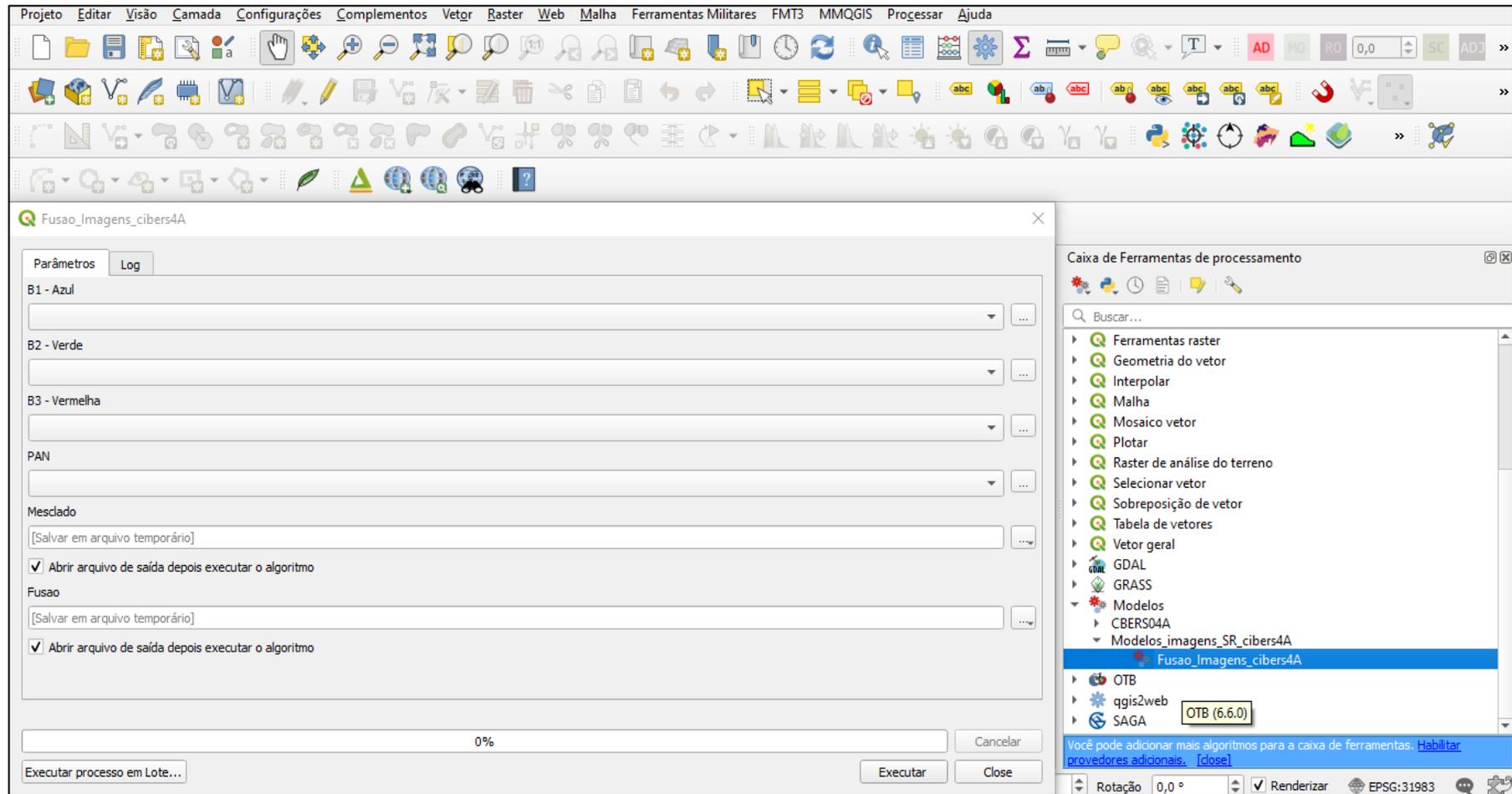
Como é possível observar na figura 05, não foi possível utilizar a imagem fusionada de 2 metros de resolução espacial para a segmentação, devido à extrema dificuldade de todo e qualquer processamento matemático para a imagens pancromáticas de 2 metros do CBERS 4A, mesmo utilizando programas robustos como o Orfeo Tolbox, criado e aperfeiçoado para trabalhar com imagens de altíssima resolução.

Figura 05 - Resultado da fusão de imagens.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 - Tela de processamento da Rotina do Modelador Gráfico para Fusão de Imagens.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.2 Segmentação

Esse procedimento baseia-se em dividir ou fracionar por segmentos, processo muito utilizado na classificação de uso e ocupação da terra por regiões, entre outros.

A classificação estatística é o procedimento convencional de análise digital de imagens. Constitui um processo de análise de pixels de forma isolada. Esta abordagem apresenta a limitação da análise pontual ser baseada unicamente em atributos espectrais. Para superar estas limitações, propõe-se o uso de segmentação de imagem, anterior à fase de classificação, onde se extraem os objetos relevantes para a aplicação desejada.

Neste processo, divide-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade. A divisão em porções consiste basicamente em um processo de crescimento de regiões, de detecção de bordas ou de detecção de bacias.

5.2.3 Interpretação visual

Para a elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi utilizado o método de interpretação visual. Esse procedimento se baseia na observação lógica e dedutiva para assimilar os princípios e processos que criaram as feições e objetos que foram identificados. Para que o processo de fotointerpretação elabore informações fidedignas, é de suma importância o preparo e capacitação do analista, principalmente no seu conhecimento em relação a área de estudo abordada. Devido a isso, é essencial aliar o trabalho laboratorial com visitas a campo.

Para o reconhecimento de objetos similares e heterogêneos na superfície, alguns critérios usados na identificação são determinantes. São eles: a forma, onde é observado a geometria do objeto; o tamanho, que pode variar conforme a escala da fotografia aérea ou a resolução espacial da imagem; a tonalidade, que é referente a quantidade de energia (geralmente luz solar) refletida por um objeto. Corpos que absorvem mais energia comumente aparecem em tons mais escuros, de acordo o princípio da reflectância. Seguindo esse raciocínio, corpos

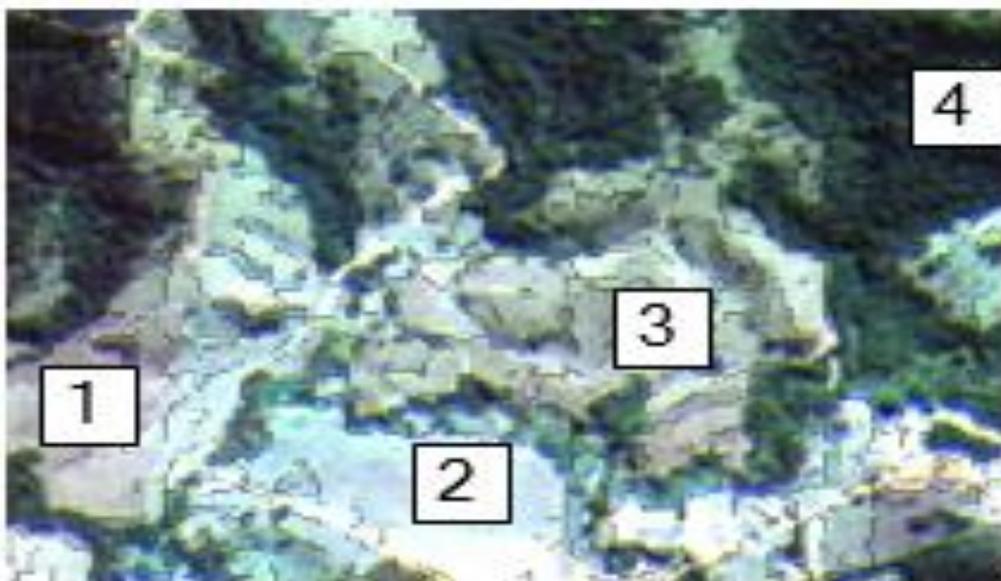
reflectivos aparecem em tons mais claros, por absorverem menos energia; a cor, que é elaborada pela junção de duas ou mais imagens de bandas espectrais, utilizando o procedimento de adição e combinação das cores primárias: Vermelho, Verde e Azul - RGB.

Outro fator relevante a ser observado é a textura, que pode ser lisa, rugosa, homogênea ou heterogênea. Cada uma dessas variações pode indicar diferentes utilizações para o uso da terra e cobertura vegetal. O padrão também é importante na identificação, pois refere-se ao arranjo espacial de objetos, unidades de relevo, plantações, habitações, dentre ou outros. A localização do objeto na paisagem também é um ponto essencial, visto que este pode ser confirmado em campo para validação dos dados cartográficos.

5.2.4 Segmentação de imagens

Quando há um conhecimento adequado da área de estudo, a segmentação é extremamente importante, pois pode ser utilizada para processos de classificação feitos manualmente, com resultados excelentes. Alguns segmentadores, como o existente no provedor de algoritmos do Orfeo Tolbox, permitem refinar os segmentos e podem ser observados na figura 07.

Figura 7 - Segmentação realizada através do provedor de algoritmos do Orfeo Tolbox.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Identifica-se nessa figura, quatro tipos de uso bem definidos pelo segmento: 1 - solo exposto, 2 - pastagem, 3 - solo parcialmente exposto e pastagem e 4 - mata.

Os parâmetros utilizados para a geração da segmentação foram: segmentador (meanshift) spacial radius 5; range radius 8 (padrão15) e região mínima 35. Lembrando sempre que, outros parâmetros não mencionados, foram aqueles que permaneceram iguais às configurações básicas do algoritmo. Estes limiares são obtidos por testes, ou seja, alterando os parâmetros até o resultado satisfatório. Foram obtidos para o município de Campos Gerais 160 mil polígonos segmentados. Esta técnica possibilita uma acurácia eficaz, com níveis de kappa na em torno de 90 a 95%.

Cabe aqui salientar que para este nível de classificação, é necessário um bom conhecimento da área de estudo e do uso do solo. O trabalho empregado neste tipo de classificação é longo.

5.3 MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA

5.3.1 Acurácia da Classificação do Uso da Terra

Para avaliar a acurácia da classificação do uso da terra, de acordo com as classes adicionadas ao mapa, foi utilizada a ferramenta Matriz de Confusão, disponível no coeficiente Kappa. Esse pode ser definido como uma medida de associação usada para descrever e testar o grau de concordância (confiabilidade e precisão) na classificação.

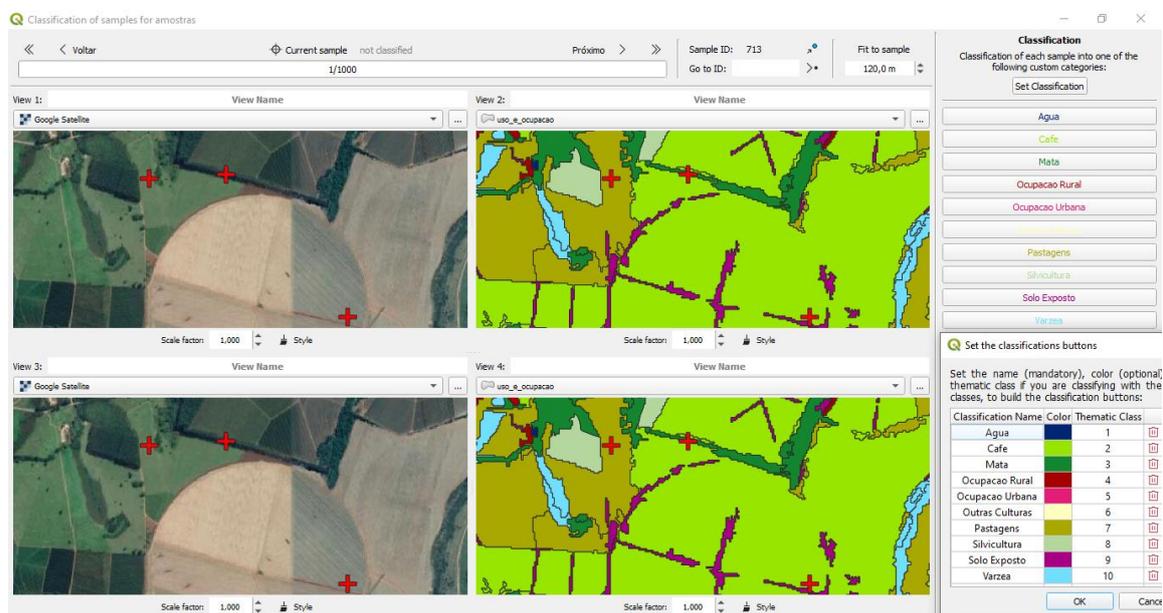
Todo o procedimento metodológico para a realização do índice Kappa pela Matriz de Confusão foi elaborado no Plugin AcaTama, disponibilizado no software Quantum Gis versão 3.16.

O AcaTama Plugin Qgis foi desenvolvido, desenhado e implementado pelo Grupo de Sistema de Monitoramento de Florestas e Carbono (SMBYC), operado pelo Instituto de Hidrologia, Meteorologia e Estudos Ambientais (IDEAM), da Colômbia. Sua função é avaliar a precisão de mapas temáticos, estimar áreas de classes de mapas, desenhos/classificação de amostragem entre outros.

O mapa de uso da terra no formato raster é utilizado para criar as amostras que podem ser comparadas tanto com a base do Google Earth, como com a Imagem Cbers4 A WPM, de 8 metros de resolução, utilizada na Segmentação e Classificação.

A Figura 08 representa o uso do Plugin. Nela, é possível verificar as janelas com a imagem raster e a imagem classificada com as amostras, representadas pelo sinal de adição em vermelho. À direita é possível observar as classes de uso para confirmação do tipo de uso.

Figura 8 - Imagem classificada utilizando a ferramenta Plugin.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Landis e Koch (1977) caracterizaram diferentes faixas para os valores kappa, segundo o grau de concordância que eles sugerem. Assim valores maiores que 0,75 representam excelente concordância. Valores abaixo de 0,40 representam baixa concordância e valores situados entre 0,40 e 0,75 representam concordância mediana.

A análise de confiabilidade (tabela 2) revelou um Kappa com índice de confiança de 89,34%, indicando uma excelente concordância. O estudo permitiu concluir que o instrumento apresenta eficácia e fidedignidade em seus resultados.

Tabela 2 - Índice Kappa pela Matriz de Confusão para classificação de uso da terra.

ÍNDICE KAPPA PELA MATRIZ DE CONFUSÃO												
	ORDEM	1 (Água)	2 (Café)	3 (Mata)	4 (Ocupação Rural)	5 (Ocupação Urbana)	6 (Outras Culturas)	7 (Pastagem)	8 (Silvicultura)	9 (Solo Exposto)	9 (Várzea)	10 (Somatório das linhas)
Água	1	60	0	1	0	0	0	3	0	1	1	66
Café	2	0	398	2	3	0	0	10	0	4	0	417
Mata	3	1	2	166	0	0	0	13	2	0	0	184
Ocupação rural	4	0	0	0	13	0	0	2	0	4	0	19
Ocupação urbana	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Outras Culturas	6		0	0	0	0	10	1	2	0	0	13
Pastagem	7	2	5	3	0	0	0	217	0	3	0	230
Silvicultura	8	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
Solo exposto	9	0	6	0	1	0	0	3	0	29	0	39
Várzea	10	0	0	0	0	0	0	3	0	0	21	24
Total para cada amostra		63	411	172	17	5	10	252	2	41	22	1000
Nível de acurácia	0,92272											
Kappa	0,893474784											
Kappa percentual	89,34747843											
Somatório da diagonal	922											
Número de amostras	1000											
Soma do produto das linhas e colunas	267779											

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 MAPAS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL E EMERGENTE

5.4.1 Análise Espacial por Álgebra de Mapas

Atualmente, são várias as alterações no meio ambiente causadas pelas mudanças climáticas, devido às alterações nos ciclos hidrológicos e atmosféricos do planeta. Para prognosticar fenômenos naturais, as geotecnologias se apresentam como uma alternativa eficaz. Barbosa *et al.* (1997) afirma que o Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e a Computação são integradores das informações geográficas, e servem como aporte à tomada de decisões.

De acordo com Barbosa (1998), Álgebra de Mapas é a combinação de dados raster feita célula a célula, resultando em um grande conjunto de funções locais e de vizinhança, e menor de funções globais para dados raster, podendo ser combinados utilizando operadores como: +; -; *; e /.

O presente estudo optou por utilizar a Análise Multicriterial simples, sem determinação de pesos ou ponderações de variáveis mais ou menos importantes, ou seja, os pesos adotados foram de importância igual para todas as variáveis.

O estudo adaptado, optou pelas variáveis: MDT (Modelo Digital de Terreno), obtido pela interpolação das curvas de nível, dados pedológicos e de declividade, e destes obtendo-se mapeamento de fragilidade potencial. Combinado com mapeamento de uso e cobertura de terra, obteve-se o mapa de fragilidade emergente.

As tabelas apresentam critérios adotados para as notas que variam de 1 a 5 para cada variável, e que por conseguinte não ultrapassando o número de 5 classes.

A primeira variável apresentada foi o utilizados os dados de radar SRTM disponibilizados gratuitamente pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS, e para o desenvolvimento do estudo foi necessário a reclassificação do terreno com base nos critérios estabelecidos pela própria empresa. O *Software* utilizado para a reclassificação foi o Quantum GIS versão 3.16 Hannover,

utilizando o plugin reclassificação com critério de reclassificar, conforme mostra a tabela 3.

Tabela 3 - Classes de declividade do município de Campos Gerais – MG.

DECLIVIDADE (%)	DESCRIÇÃO DO RELEVO	PONTUAÇÃO	ÁREA (%)
0-3	Plano	1	23
3-8	Suave ondulado	2	14
8-20	Ondulado	3	13
20-45	Forte ondulado	4	26
>45	Montanhoso e escarpado	5	24
TOTAL			100

Fonte: VALLE, 2016.

Este estudo adotou as propostas metodológicas de diferentes autores relacionados na tabela 4, abaixo.

Tabela 4 - Propostas metodológicas para classes de fragilidades de diferentes variáveis espaciais.

VARIÁVEL	CLASSES	NOTAS	METODOLOGIAS
DECLIVIDADE (%)	0 – 3	1	Embrapa
	3 - 8	2	
	8 - 20	3	
	20 - 45	4	
	> 45	5	
SOLOS	Latossolo Vermelho Distrófico	1	Adaptado de Crepani et al (2001)
	Latossolo Vermelho Eutrófico	1	
	Argissolo Vermelho Amarelo	2	
	Cambissolos Hápicos	3	
	Vegetação Natural	1	
USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	Corpos D'Água	2	Adaptado de Ross (1994)
	Área Urbana	3	
	Silvicultura	4	
	Pastagem	4	
	Agricultura	4	
	Solo Exposto	5	

Fonte: CREPANI *et al.*, 2001; ROSS, 1994

A não adoção de pesos ou importâncias hierárquicas para qualquer variável justifica-se pelo fato de que, no decorrer do trabalho, a inserção de novas variáveis foram necessárias para uma melhor acurácia. Com um número pequeno de variáveis, a relevância ou pesos maiores para determinada variável poderia influir no resultado.

Para a variável pluviosidade ou clima, é importante destacar a dificuldade em conseguir dados ou índices pluviométricos adequados ao estudo, tendo em vista o número baixo de estações com dados.

Apesar disso, os dados pluviométricos não tiveram peso considerável, após realizada a média dos últimos 3 anos. Nesse sentido, os índices pluviométricos foram classificados de acordo com a tabela como “muito fraco” e “Fraco”.

Tabela 05 - Classes de fragilidade de variável pluviosidade: níveis hierárquicos de variação.

NÍVEIS HIERÁRQUICOS	CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS
1 – Muito fraco	Situação pluviométrica regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1.000 mm/ano.
2 - Fraco	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2.000 mm/ano.
3 - Médio	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos entre 2 e 3 meses no inverno e, no verão, com maior intensidade de dezembro a março.
4 – Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 a 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorre 70% a 80% do total das chuvas.
5 – Muito forte	Situação pluviométrica regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2.500 mm/ano, ou ainda, comportamento pluviométrico irregular ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semiárido).

Fonte: ROSS, 2012.

Para a variável solos, os valores os valores das classes foram adaptados de Crepani (2001) (figura 09). Nessa variável, a reclassificação é feita diretamente na tabela de atributos e logo após é feito o processamento para conversão de vetores para raster. Salientando que os valores para a variável tipo de solo foi adaptada para valores de 1 a 5.

As propostas observadas nas metodologias apresentadas na tabela 04 são fundamentalmente necessárias na obtenção dos resultados de fragilidade. Estas alterações são feitas utilizando métodos de normalização, para declividade, solos e uso da terra e cobertura vegetal.

A variável declividade é, neste estudo, a única que difere na forma de normalização, por se tratar de uma imagem raster. Portanto, deve seguir procedimentos diferentes.

A Declividade Normalização: 1º Processo - Proceder com a reclassificação dos pixels para percentuais; 2º Processo - A normalização dos

dados para Declividade deverá ser feita no raster slope, seguindo os critérios escolhidos, onde o resultado será a reclassificação dos valores percentuais em níveis de fragilidade, que são as notas (figura 09).

O procedimento adotado para normalização é fundamental para obtenção dos resultados das fragilidades. Esse é um ponto crucial, pois os arquivos vetoriais deverão ser convertidos em arquivos do tipo rasters com a mesma resolução espacial do raster de declividade, que possuem resolução de 30 metros.

Figura 09 - Tabela de reclassificação para normalização dos solos.

The screenshot shows the QGIS interface with the 'Reclassificar por tabela' dialog box open. The dialog has a 'Parâmetros' tab and a 'Log' button. The main area is titled 'Tabela de reclassificação' and contains a table with the following data:

	Mínimo	Máximo	Valor
1	0	3	1 - Muito Baixa
2	3	8	2 - Baixa
3	8	21	3 - Média
4	21	45	4 - Alta
5	45	46	5 - Muito Alta

To the right of the table are buttons: 'Adicionar linha', 'Remover linha(s)', 'Remover Tudo', 'OK', and 'Cancelar'. Below the table is a progress bar showing 0% and a 'Cancelar' button. At the bottom of the dialog are buttons for 'Executar processo em Lote...', 'Executar', 'Close', and 'Help'. The main QGIS window shows the 'Processar' button in the top toolbar highlighted in red.

The 'Caixa de Ferramentas de processamento' (Processing Toolbox) is visible on the right, showing a search for 'tabe' and a list of tools. The 'Reclassificar por tabela' tool is selected and highlighted in blue.

At the bottom of the QGIS window, the status bar shows: Coordenada 410033,7641589, Escala 1:232403, Lupa 100%, Rotação 0,0°, Renderizar, and EPSG:31983.

Fonte: Adaptado de CREPANI *et al* 2001.

Figura 10 - Normalização dos solos.

solos_correcao2 — Total de feições: 15, Filtrada: 15, Seleccionada: 0

legenda	Notas2
4 Latossolos Vermelhos	1
5 Latossolos Vermelhos	1
6 Latossolos Vermelhos	1
7 Latossolos Vermelhos	1
8 Latossolos Vermelhos	1
9 Latossolos Vermelhos	1
10 Latossolos Vermelhos	1
11 Latossolos Vermelhos	1
12 Argissolo Vermelho Amarelo	2
13 Argissolo Vermelho Amarelo	2
14 Cambissolos Haplicos	3
15 Cambissolos Haplicos	3

Mostrar todos os feições

Coordenada 405483,7656101 Escala 1:232403 Lupa 100% Rotação 0,0° Renderizar EPSG:31983

Caixa de Ferramentas de processamento

tabe

- Usado recentemente
 - Reclassificar por tabela
- Análise de dados Raster
 - Reclassificar por tabela
- Análise vetorial
 - Campo para estatística básica
 - Estatísticas por categoria
 - União por linhas (centróide das linh...
- Banco de dados
 - Exportar para PostgreSQL
 - Exportar para SpatialLite
 - PostgreSQL executa e carrega SQL
- Criação de vetor
 - Criar camada de pontos da tabela
- Tabela de vetores
 - Adicionar campo à tabela de atribut...
 - Adicionar campo de autoincremento
 - Adicionar campos X/Y à camada
 - Adicionar valor único no campo de ...
 - Calculadora de campo

Você pode adicionar mais algoritmos para a caixa de ferramentas. [Habilitar provedores adicionais.](#) [close]

Fonte: Proposta de ROSS (1994).

Figura 11 - Normalização das classes de Uso e Ocupação do solo.

The screenshot displays the QGIS interface with a table window open. The table contains the following data:

classes	Uso	Peso	
7	NULL	Mata	1
8	NULL	Mata	1
9	NULL	Mata	1
10	NULL	Mata	1
11	NULL	Mata	1
12	NULL	Mata	1
13	NULL	Mata	1
14	NULL	Mata	1
15	NULL	Mata	1
16	NULL	Mata	1
17	NULL	Mata	1

The interface also shows a processing toolbox on the right with various tools like 'Reclassificar por tabela', 'Análise de dados Raster', and 'Análise vetorial'. The status bar at the bottom indicates the current layer is 'uso_ocupação_do_solo_normalizado' with 4034 features.

Fonte: Proposta de ROSS (1994).

Quadro 3 - Classes de solos.

CLASSE DE SOLO	LEGENDA	E/V
Latossolo Amarelo	LA	1,0
Latossolo Vermelho-Amarelo	LV	1,0
Latossolo Vermelho-Escuro	LE	1,0
Latossolo Roxo	LR	1,0
Latossolo Bruno	LB	1,0
Latossolo Húmico	LH	1,0
Latossolo Bruno Húmico	LBH	1,0
Podzólico Amarelo	PA	2,0
Podzólico Vermelho-Amarelo	PV	2,0
Podzólico Vermelho Escuro	PE	2,0
Terra Roxa Estruturada	TR	2,0
Bruno Não-Cálcico	NC	2,0
Brunizém	B	2,0
Brunizém Avermelhado	BA	2,0
Planossolo	PL	2,0
Cambissolos	C	2,5
Solos Litólicos	R	3,0
Solos Aluviais	A	3,0
Regossolo	RE	3,0
Areia Quartzosa	A	3,0
Vertissolo	V	3,0
Solos Orgânicos	HO	3,0
Solos Hidromórficos	HI	3,0
Glei Húmico	HGH	3,0
Plintossolo	PT	3,0
Latenta Hidromórfica	LH	3,0
Solos Concrecionários Lateríticos	CL	3,0
Rendzinas	RZ	3,0
Afloramento Rochoso	AR	3,0

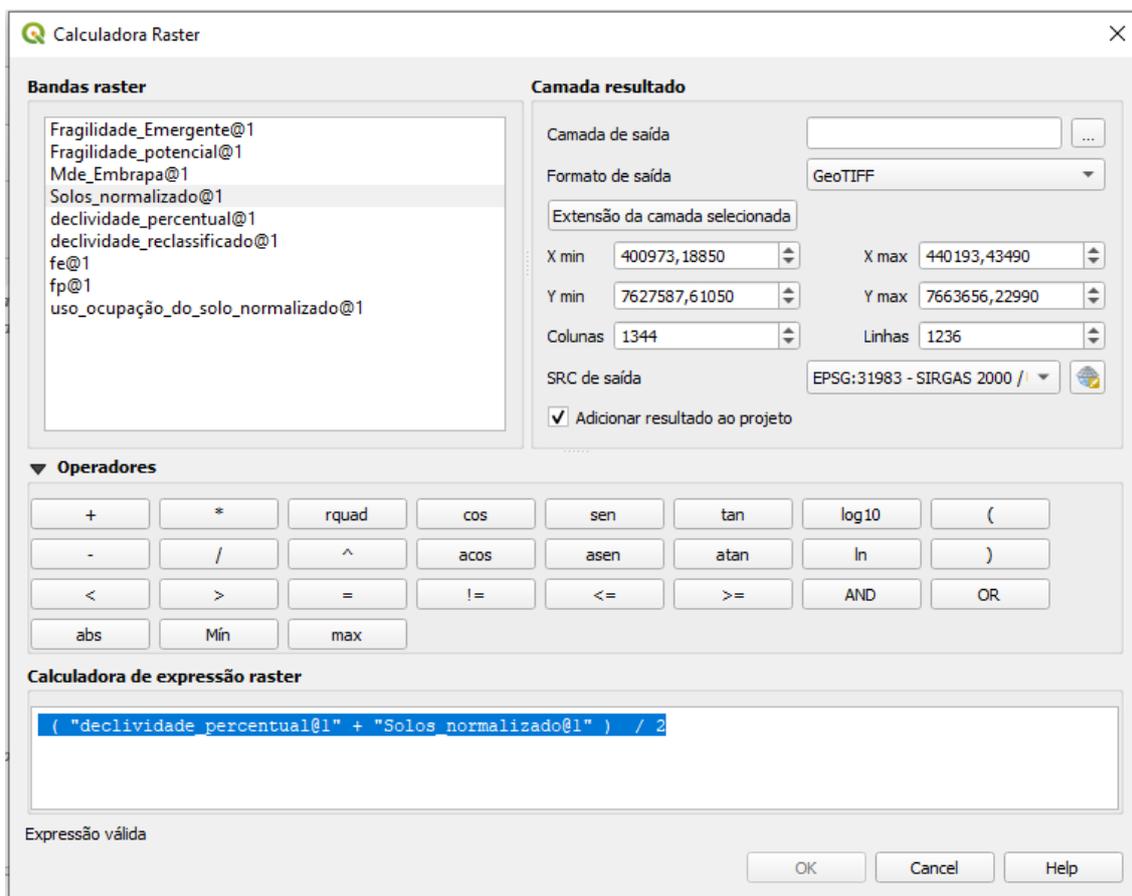
Fonte: Adaptado de CREPANI *et. al* (2001).

Cabe aqui ressaltar que os dados de pluviosidade e clima foram normalizados para o valor 1, e mesmo que fossem utilizados na obtenção dos Mapas de Fragilidade Potencial e Emergente, não teriam influência significativa nos resultados, ou seja, não seriam resultados significativos no grau de fragilidade ambiental.

Para obtenção dos mapas de Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente, a Calculadora de Campo ou Calculadora Raster (figura 12) encontrada no software SIG Quantun Gis 3.16 Hannover, foi fundamental na obtenção dos resultados para fragilidades utilizando Álgebra de Mapas. É classificada por Barbosa (1997) como conjunto de operadores, utilizada na manipulação de campos geográficos (Modelos Digitais de Elevação e/ou Terrenos, Imagens e mapas temáticos).

A maneira correta de inserir a fórmula para o cálculo das fragilidades é melhor visualizada na calculadora raster apresentada na figura 12. Para as Fragilidades Potencial e Emergente, a fórmula é a mesma, alterando-se apenas as variáveis.

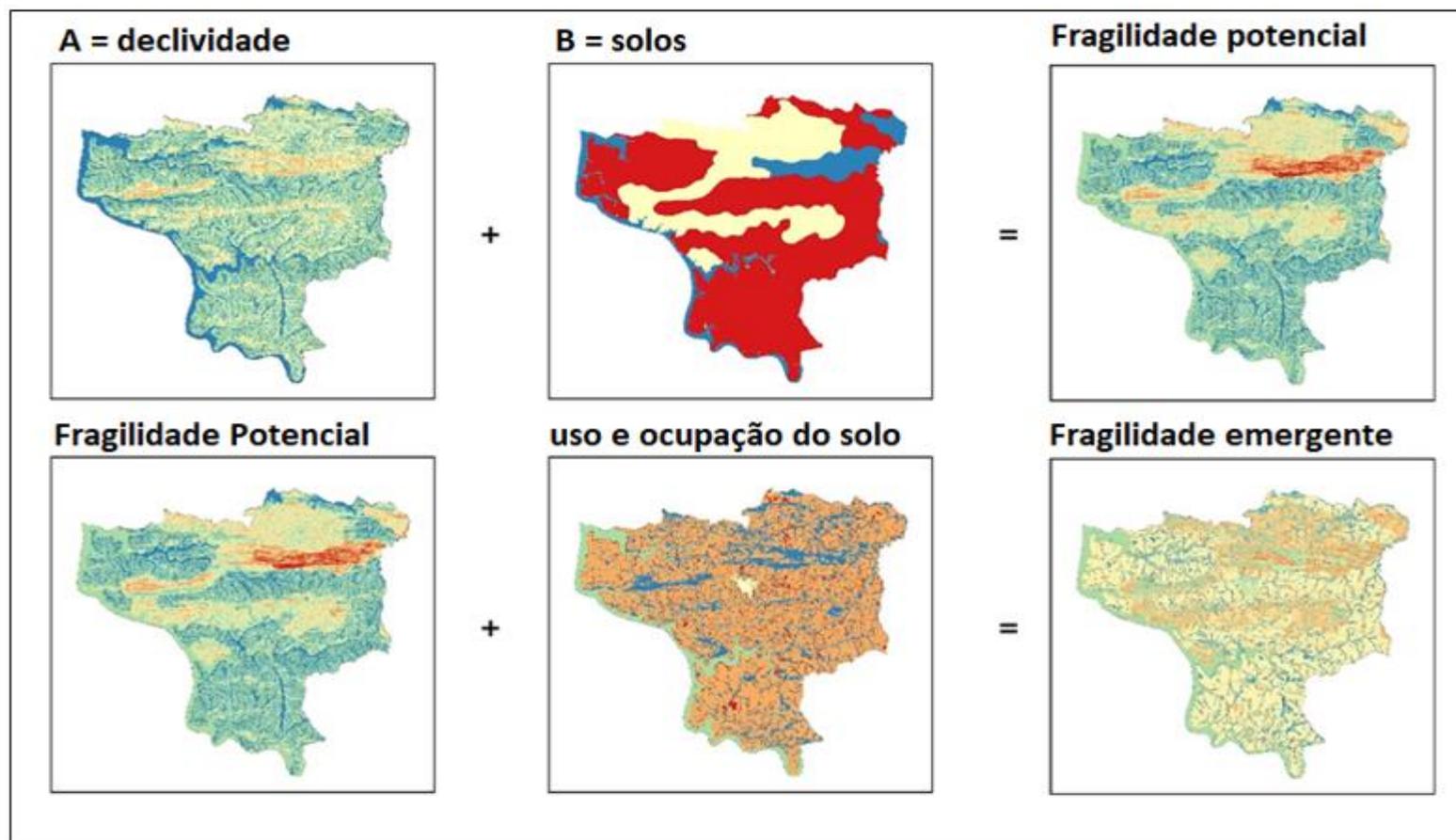
Figura 12 - Calculadora raster do software Quantum Gis versão 3.6.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 13 é possível observar o modelo esquemático representativo de sobreposição de planos de informações para o mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente. A sobreposição dos mapas de declividades e solos gerou o mapa de fragilidade ambiental potencial. Logo após, o mapa de fragilidade ambiental potencial gerado sobreposto ao de uso da terra e ocupação vegetal, geraram o mapa de fragilidade ambiental emergente.

Figura 13 - Modelo esquemático representativo de sobreposição de planos de informações para o mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 INTEGRAÇÃO DOS DADOS COM OS FATORES LS

A etapa seguinte a elaboração dos mapas de fragilidade ambiental potencial e emergente, foi integrá-los ao fator LS (Comprimento de vertente x declividade) utilizando como método a Análise Hierárquica de Processos, desenvolvida por Saaty (1980). O fator LS é indicado para estimar locais com sensibilidade ao meio físico suscetíveis a ocorrência de processos erosivos, principalmente em áreas onde predominam declives mais acentuados, como é o caso do município de Campos Gerais – MG.

O fator de comprimento de vertente (L), pode ser calculado a partir da equação 1 de Desmet & Govers (1996):

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} x_{i,j}^m (22,13)^m]} \quad (1)$$

Onde:

$L_{i,j}$: fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j);

$A_{i,j-in}$: área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m^2);

D: tamanho da grade de células (m);

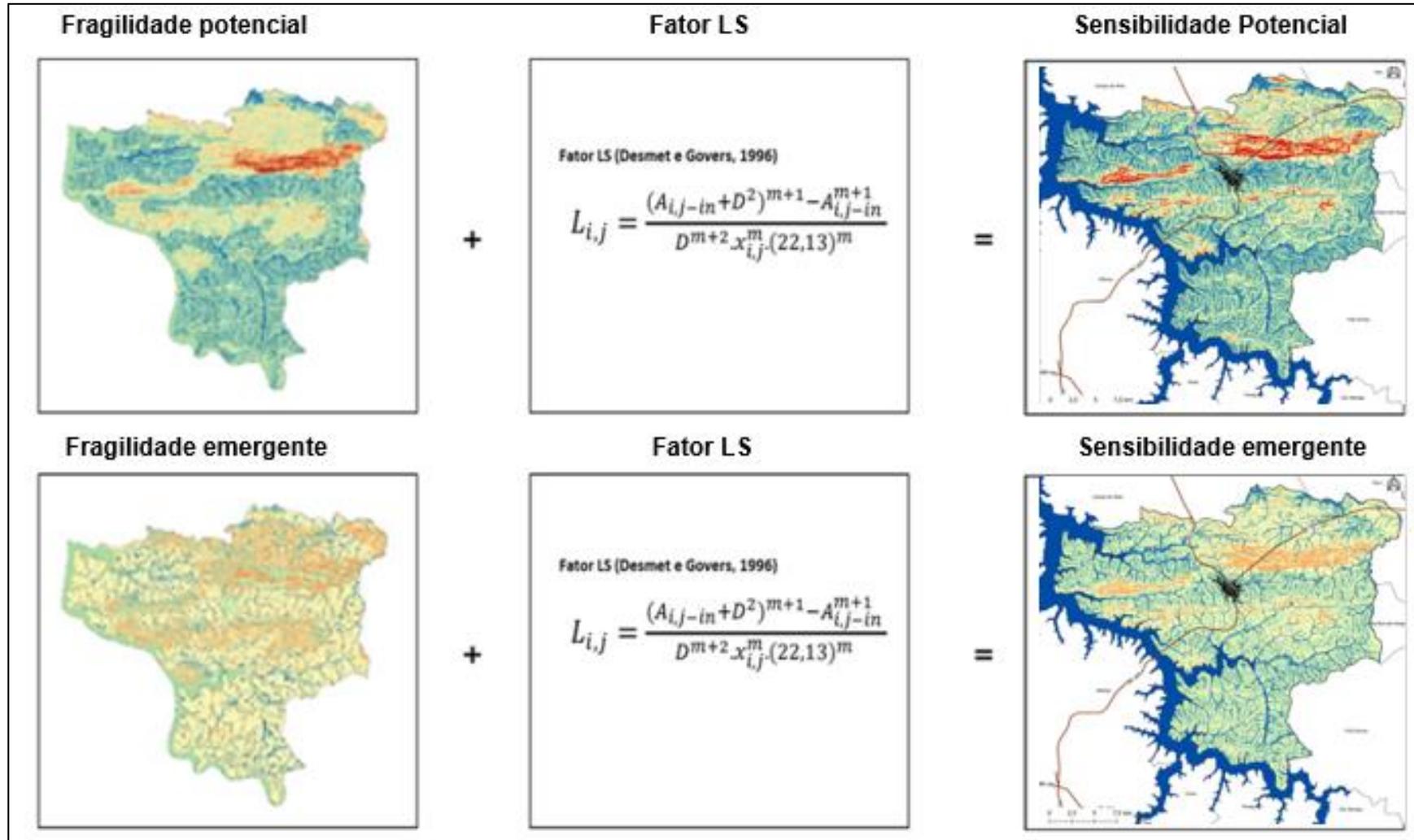
$x_{i,j}$: valor da direção do fluxo; e

m: coeficiente que assume os valores: 0,5, se $s \geq 5\%$ (s é o grau de declividade); 0,4, se $3\% \leq s < 5\%$; e 0,2, se $s < 3\%$.

Renard *et al.* (1997) discorre que o fator L representa uma dimensão linear que corresponde teoricamente a uma distância que vai do início da formação do escoamento) até um ponto onde esse encontra um canal ou uma condição que favoreça a deposição dos sedimentos. Segundo essa linhagem, Silva *et al.* (2004) relata que dentre os fatores topográficos, a declividade (S) de um terreno é um dos mais importantes no condicionamento da gênese e evolução do processo erosivo.

A integração do mapa de fragilidade ambiental potencial ao fator LS originou a carta de sensibilidade ambiental potencial (figura 14). Já a sobreposição entre o mapa de fragilidade ambiental emergente

Figura 14 - Modelo esquemático representativo de sobreposição de planos de informações para a geração das Cartas de Sensibilidade Ambiental Potencial e Emergente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

ao fator LS deu origem a carta de sensibilidade ambiental emergente. Essa etapa tornou-se crucial no desenvolvimento do trabalho, devido ao fato de que as cartas são o produto final da proposta metodológica.

5.6 TRABALHO DE CAMPO

Durante a elaboração da dissertação foram realizados trabalhos de campo para reconhecimento da área, além de análises realizadas *in loco*. Esse procedimento foi importante para conferência e validação de dados obtidos através da elaboração dos mapas. Essa etapa possibilitou uma maior confiabilidade das informações cartográficas confeccionadas durante a dissertação. Foram visitados 15 pontos em campo com o registro fotográfico e verificação das áreas de acordo com as classes de sensibilidade encontradas nos mapas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

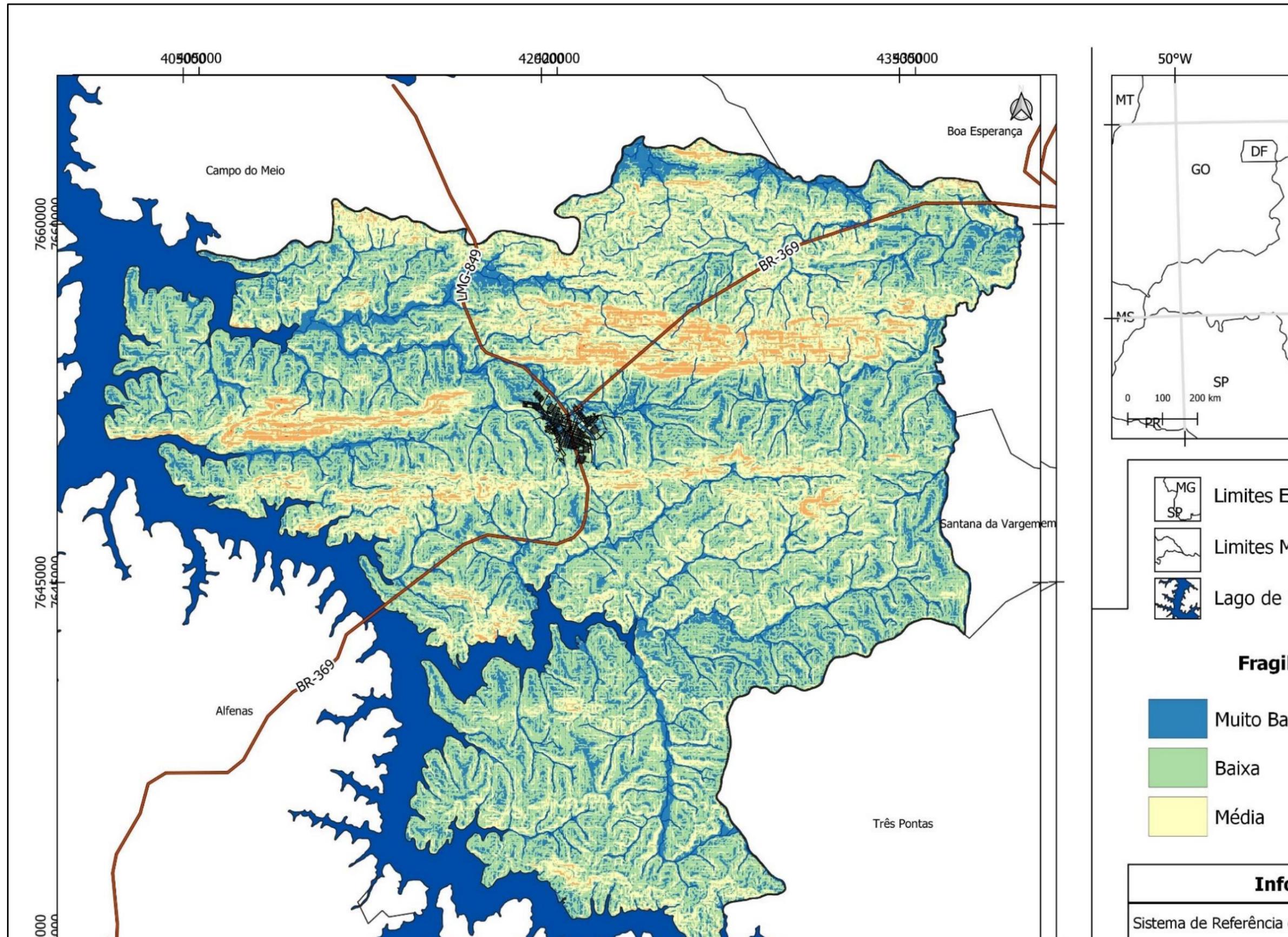
Este item apresenta os dados primários e secundários obtidos através dos procedimentos metodológicos e técnicos descritos no item Metodologia. Constitui-se, também, da interpretação, discussão e análise dos resultados obtidos no presente trabalho.

6.1 MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL PARA DECLIVIDADE

O mapa de fragilidade ambiental para a variável declividade (figura 15) fornece informações a respeito do comportamento da fragilidade ambiental do município. Neste sentido, é de grande valia para o planejamento de uso na área.

As áreas que apresentam baixa declividade se localizam na região sul do município. Essas áreas correspondem a planícies fluviais com superfícies relativamente planas. São relevos normalmente formados por acumulação de sedimentos, sendo desprovidos de grandes processos erosivos. Possuem áreas agrícolas, com predomínio de cultura cafeeira convencional, devido ao fato de a área possibilitar o cultivo e produção das lavouras por mecanização. Porém, o controle da erosão ainda assim é necessário. Áreas com declividade média

Figura 15 - Mapa de fragilidade ambiental para declividade do município de Campos Gerais – MG.



estão distribuídas em todo o território do município. São áreas cujo relevo apresentam ondulações suaves até morrotes e morros. São cobertas por culturas agrícolas, também com predomínio do café, e possuem fragilidade ambiental média, devido ao fato da não exposição direta do solo ao intemperismo. Essa forma de relevo requer maiores cuidados para a implementação de maquinários agrícolas, devido morfologia ondulada, sendo recomendado cultivos em curvas de nível, com cuidados especiais para o controle da erosão.

Já as áreas com altas declividades se localizam nos setores centro e norte do município. Nessas áreas estão localizadas as serras da Fortaleza e do Paraíso, que apresentam áreas com declividades acentuadas. Possuem fragilidade ambiental alta devido ao relevo extremamente declivoso. A exploração dessas áreas deve ser sustentada por cobertura de florestas, para evitar sérios problemas de erosão e instabilidade de vertentes, pois áreas fortemente inclinadas não devem ficar sem cobertura vegetal. Apesar disso, o solo é explorado para atividades agrícolas sem o manejo necessário.

6.2 MAPA DE SOLOS

Através do mapa pedológico do município de Campos Gerais, foi possível observar que as repartições dos solos estão estreitamente vinculadas às características geológicas e geomorfológicas da área em estudo.

As áreas elevadas, caracterizadas por rochas mecanicamente resistentes ao intemperismo, predominantemente quartzíticas – faixa central e zona norte da serra de Campos Gerais – são cobertas por Argissolo Vermelho- Amarelo eutrófico e Argissolo Vermelho distrófico, e cobrem 40,73% do relevo do município. As espessuras dos horizontes variam conforme o contexto do relevo, muitas vezes inferiores a 50 cm. O Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e Argissolo Vermelho distrófico normalmente ocupam na paisagem as áreas de relevo acidentado, com superfície pouco suave e áreas de relevo suave mais jovem (rebaixada). Quanto à sua fertilidade, ela varia de eutrófico a álico. As condições de relevo de certa forma dificultam o seu aproveitamento agrícola (PLANO DIRETOR DE CAMPOS GERAIS, 2007).

É possível observar solos expostos nas áreas de declividade acentuada, o que aumenta a fragilidade ambiental emergente, principalmente na serra da Fortaleza, onde ocorrem diversos processos de ravinamento e voçorocamento. Além disso, como é possível observar na figura 16, no sopé da mesma há um local onde ocorre extração e venda de areia realizada pelo proprietário do sítio.

Figura 16 - Extração de areia no município de Campos Gerais – MG.

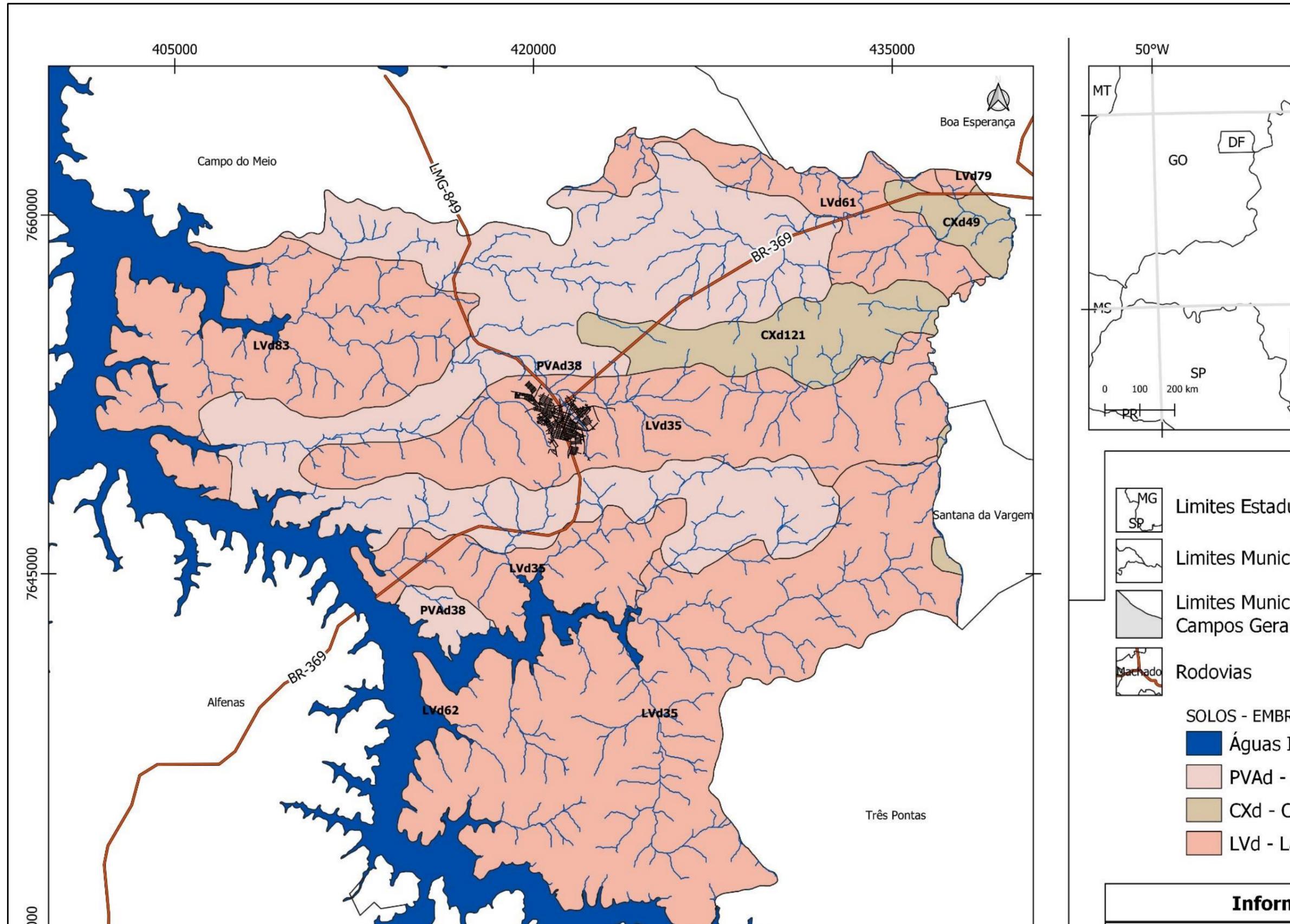


Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a declividade vai se tornando menos acentuada, mais intensas são as atividades agropecuárias desenvolvidas, pois os solos possuem profundidades médias. No setor norte e nordeste do município, há um predomínio de Argissolos vermelho amarelo especializados em áreas maiores, (figura 17).

Nas áreas de planícies e terraços, há a presença de Neossolo flúvico, com textura arenosa, e presença de regolito bem próximo da superfície. Em algumas partes no setor norte, esses solos se apresentam com grande concentração de pedregosidade na superfície. A geologia da área onde se encontram esses solos é composta por biotitas gnaisses, quartzitos, filitos, granitos, tonalitos e rochas metaultramáficas (CAMPOS, 2012).

Figura 17 - Mapa pedológico do município de Campos Gerais – MG.



6.3 MAPA DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETACIONAL

Os diversos processos atuantes sobre a superfície terrestre estão diretamente ligados à evolução das sociedades e como o homem se apropriou de meio, e o utiliza como forma de adquirir seu sustento e suas riquezas. O uso da terra se torna constante e assume papel intrínseco na dinâmica superficial da paisagem. A vegetação assume papel importante na proteção do solo, das nascentes e dos rios, evitando processos erosivos, exposição dos solos e assoreamento do canal de drenagem (CABRAL, 2018).

O uso da terra tem influência direta na qualidade da conservação dos solos. Ambientes cobertos por vegetação evitam que a água da chuva atinja diretamente o solo, pois grande parte dela fica retida nas copas e folhas das árvores, possibilitando uma infiltração mais lenta nas camadas subsuperficiais, e reduzindo o risco do escoamento concentrado na superfície.

Porém, conforme ilustrado no mapa da figura 18, apenas uma pequena parte do território do município de Campos Gerais ainda está coberta por remanescentes florestais. Florestas diminuem a fragilidade ambiental potencial do meio físico, realizando a cobertura do solo contra erosão, e fornecendo-o matéria orgânica e mantendo-o úmido. Além disso, os frutos das arvores servem de alimento para aves e animais silvestres, que são de suma importância para a manutenção da biodiversidade.

Figura 18 - Remanescentes de mata primária na Serra do Paraíso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando o mapa de uso e ocupação da terra juntamente com o mapa de declividade, é possível observar que as áreas de matas do município localizam-se em áreas de relevos íngremes (figura 21). Isso ocorre pelo fato de que áreas com declives acentuados não são passíveis de mecanização para a agricultura. Portanto, os remanescentes florestais estão localizados nas áreas de serra do município.

Por outro lado, as áreas destinadas às atividades rurais ocupam a maior parte do município (figura 19). Devido ao fato do município de Campos Gerais possuir poucas e pequenas indústrias e suas atividades econômicas serem majoritariamente do setor agropecuário, é de extrema importância a realização um manejo solo adequado por parte dos produtores. Áreas rurais em mau estado de conservação, causam a formação sulcos e ravinas, que posteriormente podem ser tornar voçorocas, como é apresentado na figura 19, onde é possível observar uma das voçorocas existentes no município. Portanto, o mau uso do solo acarreta prejuízos ambientais e econômicos.

Figura 19 - Plantio de café no município de Campos Gerais - MG, sendo possível observar uma voçoroca ao fundo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe café corresponde a maior parte do uso da terra do município. Essa cultura permanente é produzida desde pequenas propriedades familiares,

até fazendas altamente mecanizadas e com produção em grande escala. Na paisagem atual é comum encontrar a agricultura familiar de subsistência e lavouras para comercialização em todo território do município.

A classe pastagem também é observada em todo município, como apresenta a figura 20, porém, em menor escala que a anterior. A criação bovina é realizada para as atividades de cria, recria, engorda e leite. Esse tipo de produção requer maior atenção no que tange ao meio ambiente, pois devido à compactação do solo e trilhos criados nos nas propriedades onde são criados, a pastagem e o solo podem ser degradados.

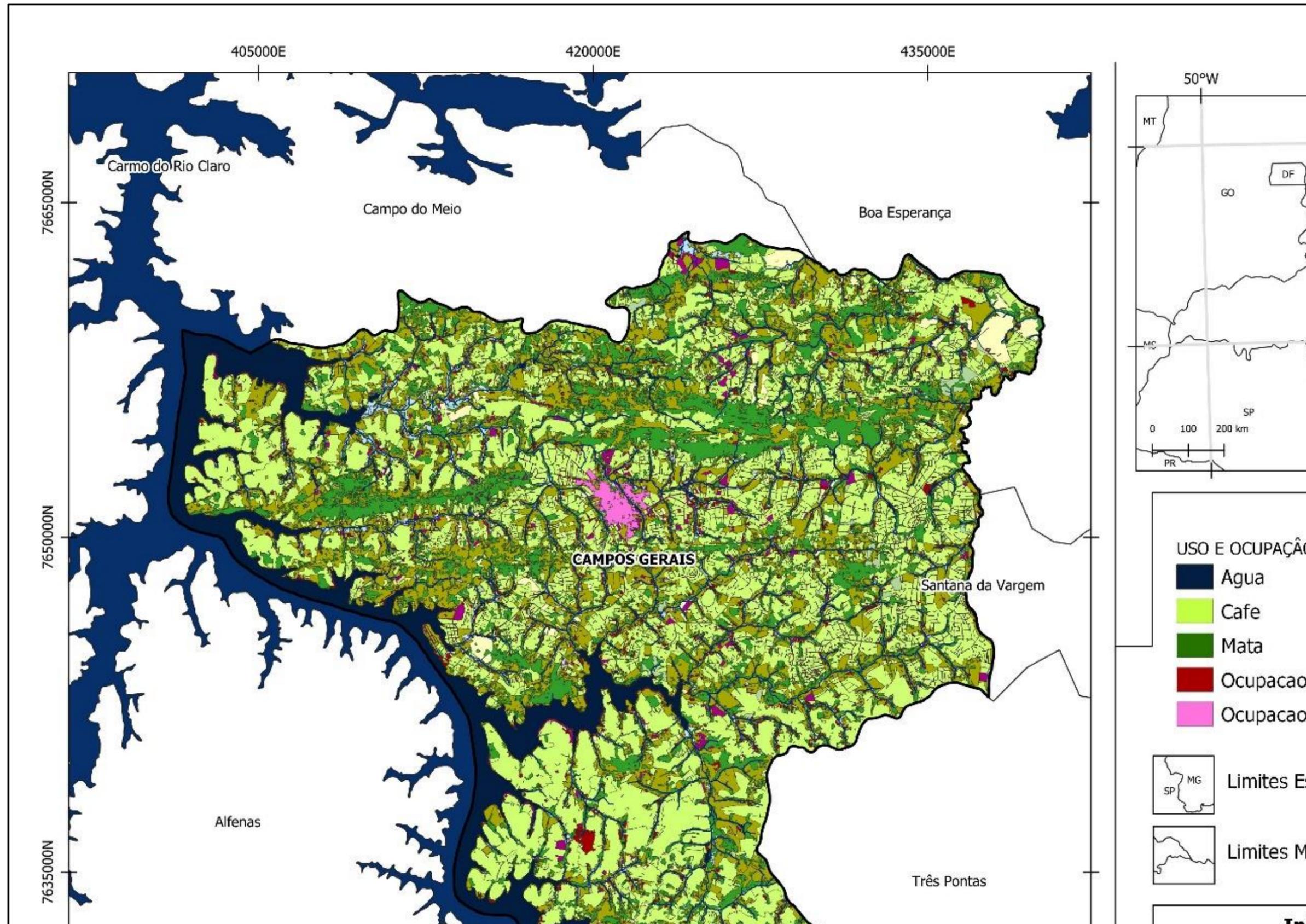
Figura 20 - Pastagem no município de Campo Gerais- MG



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Araújo (2010), a atividade pecuarista, causa impactos sobre o ambiente, dentre eles a degradação do solo e a perda da biodiversidade. As causas desses impactos têm origem na demanda de mercado e suas consequências implicam em custos ambientais e ecológicos de difícil mensuração. A produção animal interage com o meio ambiente de diversas formas, especialmente para dessedentação e alimentação. E os sistemas de exploração adotados (extensivo, semiextensivo e intensivo) exercem influências distintas, com níveis diferentes de degradação do meio ambiente.

Figura 21 - Mapa de uso da terra e cobertura vegetal do município de Campos Gerais – MG.



Já os corpos hídricos são representados principalmente pela represa de Furnas, que abrange uma área considerável do município (figura 22). A preservação de recursos hídricos é indispensável para a vida no meio ambiente. Sua disponibilidade é essencial para permitir a sobrevivência dos seres vivos, equilibrar e conservar a biodiversidade e regular o clima do planeta, dentre outros benefícios.

Os recursos hídricos, normalmente, devem estar disponíveis para qualquer tipo de uso de região ou bacia. O mau uso acarreta risco a vida de todos os seres vivos e afeta diretamente diversas atividades humanas. Além disso, as mudanças climáticas vêm alterando o ciclo hidrológico do planeta e, conseqüentemente, os padrões de chuvas nas cidades e no campo, agravando ainda mais a vida antropogênica. A ação do homem vem causando danos à preservação da água. Seja por contaminação de rios, lagos e represas, ou pelo uso irrestrito e desnecessário desse recurso.

Figura 22 - Margens da represa de Furnas no município de Campos Gerais – MG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL

O mapa de Fragilidade Ambiental Potencial expressa a paisagem do município de Campos Gerais - MG sem considerar a influência das atividades antrópicas e da cobertura vegetal. As classes de fragilidade potencial obtidas foram: muito baixa, baixa, média e alta e muito alta (figura 23).

As áreas classificadas como sendo de fragilidade potencial muito baixa estão associadas à Latossolos Vermelho Distrófico Típico, que apresentam textura argilosa e/ou média, sendo muito porosos, e conseqüentemente, bastante permeáveis e fortemente drenados, desenvolvidos em relevos planos sobre material litológico menos suscetível ao intemperismo.

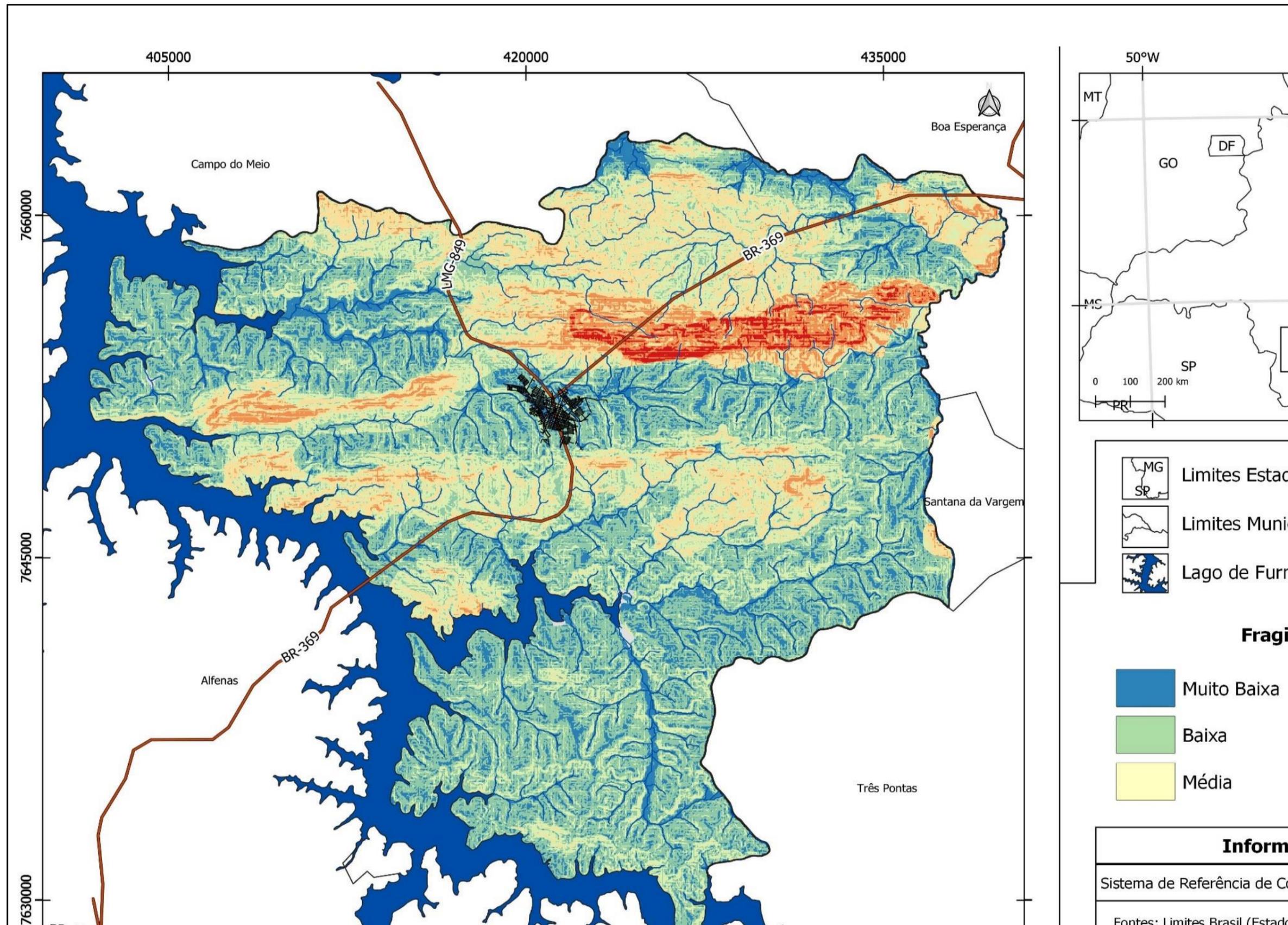
Segundo Naime (2012), planícies aluviais atuam na manutenção do equilíbrio hidrológico da bacia. Quando ocorrem cheias ou enchentes a bacia hidrográfica usa suas áreas de baixios, também conhecida por áreas de várzeas para extravasamento do excesso de água. As áreas de preservação dentro das áreas de várzeas ou baixios das bacias hidrográficas, são as áreas de matas ciliares que protegem os cursos principais de rios e arroios. As matas ciliares são refúgio de flora e fauna, estabilizam os taludes dos cursos de água, protegem e evitam erosões e assoreamentos, dentre outras funções.

A classe de fragilidade ambiental potencial média são áreas que apresentam relevo ondulado à colinoso, com predomínio de vertentes convexas, e com predomínio de solos altamente suscetíveis à ocorrência de processos erosivos (latossolos). Embora apresentem média fragilidade potencial, as atividades nela desenvolvidas devem ser bem planejadas.

As áreas onde ocorrem as classes de fragilidade ambiental potencial alta e muito alta estão nas porções mais elevadas da área mapeada onde o relevo tem maior declividade, geralmente com inclinações altas.

Áreas declivosas associadas a solos rasos (muitas vezes exposto) e vegetação rasteira, que não impede o contato direto entre as águas pluviais e o solo, são naturalmente locais suscetíveis à erosão hídrica. Essas correspondem

Figura 23 - Mapa de fragilidade ambiental potencial do município de Campos Gerais – MG.



a uma menor parte da área de estudos, sendo quase que coincidentes com as serras do Paraíso e Fortaleza.

6.5 MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE

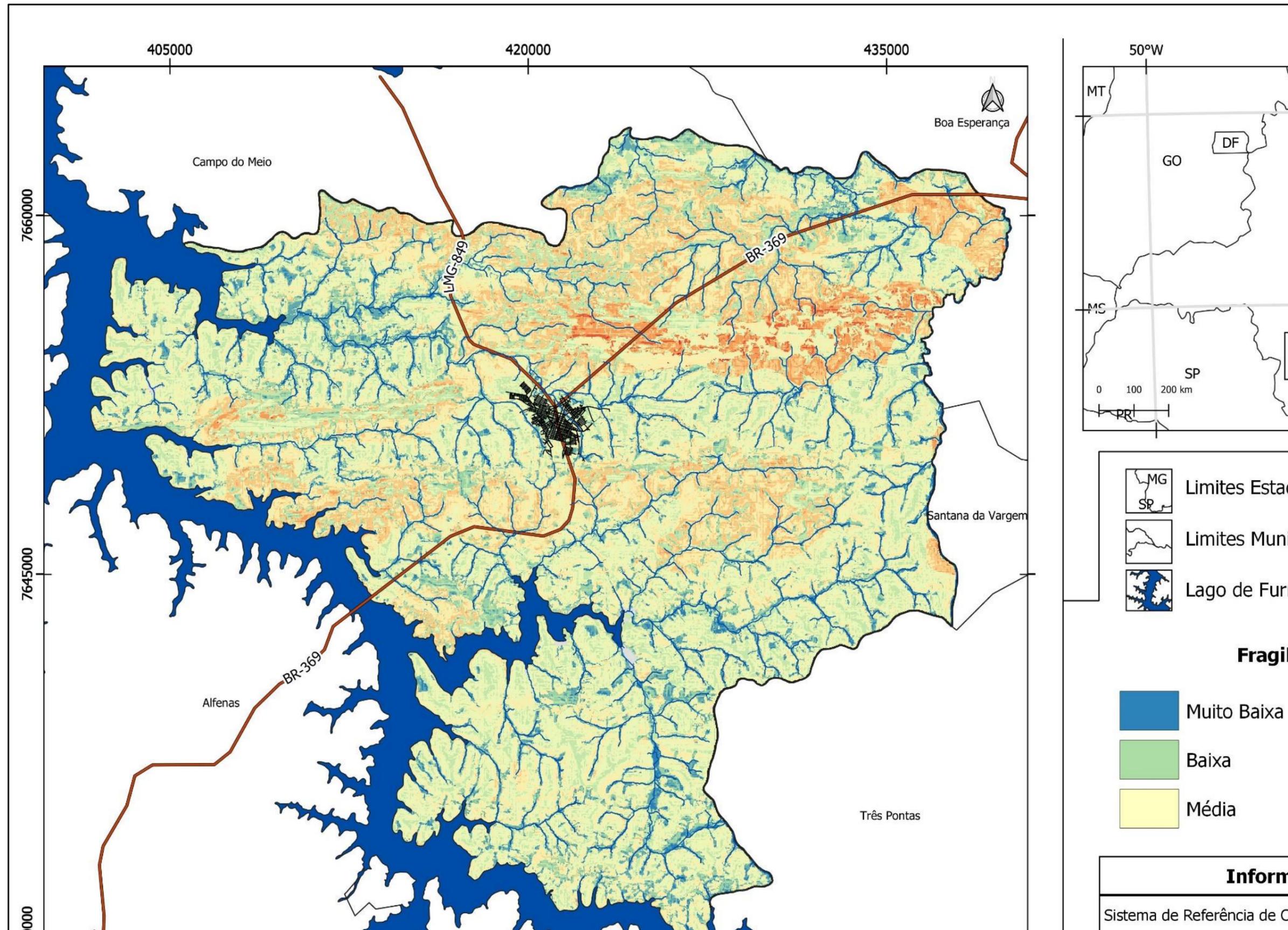
A fragilidade ambiental emergente considera a fragilidade potencial acrescida dos elementos antrópicos, que se caracteriza pelas suas intervenções no meio, representadas no mapa de uso do solo e cobertura vegetal. As classes de fragilidade ambiental emergente obtidas foram: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (figura 24).

A classe de fragilidade ambiental emergente muito baixa corresponde às áreas de fragilidade potencial muito baixa cobertas por remanescentes florestais. Esta classe ocupa uma área inferior a 10% do território do município. Remanescentes florestais reduzem a fragilidade ambiental do meio ambiente, protegendo o solo contra erosão, além de fertilizá-lo com matéria orgânica e umidade. Além disso, as copas das árvores diminuem atrito entre a chuva e o solo, possibilitando uma infiltração lenta, e preservando a biodiversidade local.

A classe de fragilidade ambiental emergente baixa é a de maior abrangência do município. Representa as áreas onde há associação de classes de fragilidade ambiental potencial baixa à média com coberturas vegetais tipo pastagem e remanescentes florestais. Pastagens com manejo de solo adequado ajudam a diminuir a fragilidade ambiental emergente. A arborização em pastagens, técnica que consiste no plantio de árvores junto com o cultivo do pasto, promove a diminuição de sua área exposta a erosão, além de facilitar a manutenção da diversidade de espécies.

A classe de média fragilidade ambiental emergente diz respeito às áreas que apresentam de baixa à média fragilidade potencial associadas a cultivos agrícolas. Enquanto as áreas de alta fragilidade ambiental emergente representam as áreas de alta fragilidade ambiental potencial em associação com áreas de pastagem e remanescente florestais; além de áreas de média fragilidade potencial associadas à solo exposto e manchas urbanas. Áreas próximas a malha urbana tem uma possibilidade maior de sofrerem degradação

Figura 24 - Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente do município de Campos Gerais – MG.



ambiental, devido à poluição e contaminação de rios e córregos, desmatamento, e redução dos recursos florísticos e faunísticos.

As áreas de fragilidade ambiental emergente muita alta é muito vulnerável à ocorrência de processos erosivos. Constitui-se por áreas classificadas como sendo de fragilidade potencial muito alta, e que possuem baixa densidade de vegetação, cultivos agrícolas e áreas de solo exposto.

Segundo Nascimento (2009), em áreas com baixa densidade de vegetação o solo fica mais exposto a agentes erosivos, ou seja, que o degradam lentamente, como a água das chuvas e dos rios. A erosão acaba provocando o desagregamento das partículas do solo, empobrecendo a quantidade de nutrientes e, por consequência, fazendo com que ele seja impróprio para a agricultura. A longo prazo e com proporções globais, a diminuição da vegetação provocadas pelas queimadas ainda contribui para o aumento de gás carbônico na atmosfera. Gás este que é um dos principais fatores para a ampliação do efeito estufa e consequentemente do aquecimento global.

Ribeiro (2015) relata que cultivos agrícolas extensivos causam a poluição em virtude da utilização de insumos agrícolas, como adubos químicos, corretores do solo, pesticidas (os chamados agrotóxicos) etc. Quando a lavoura recebe a chuva ou é irrigada, esses insumos podem escoar para os rios, contaminar os solos e o lençol freático. Processos erosivos também podem ser causados pela irrigação e manejo inadequado dos solos. A retirada da cobertura vegetal que protege o solo também contribui para que surjam erosões. Além disso, a retirada da mata ciliar para o plantio pode ocasionar o assoreamento dos rios.

No que tange a degradação ambiental causada pela falta de cobertura vegetal, Lopes (2006) relata que a maior exposição do solo favorece a incidência de processos erosivos, que transportam o material particulado para os cursos d'água, comprometendo sua qualidade devido ao aumento da turbidez nas encostas, podendo acarretar processos de assoreamento do leito.

6.6 CARTA DE SENSIBILIDADE POTENCIAL AO MEIO FÍSICO

A carta de sensibilidade potencial ao meio físico foi elaborada a partir da integração do mapa de fragilidade ambiental potencial com o fator LS (comprimento x declividade) através da AHP, e aponta a susceptibilidade ambiental da paisagem do município de Campos Gerais – MG sem considerar a influência antrópica e o uso da terra e cobertura vegetal. As classes de sensibilidade potencial obtidas foram: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (tabela 6).

Tabela 6 – Áreas das classes de sensibilidade ambiental potencial por km² e por proporções percentuais da área total.

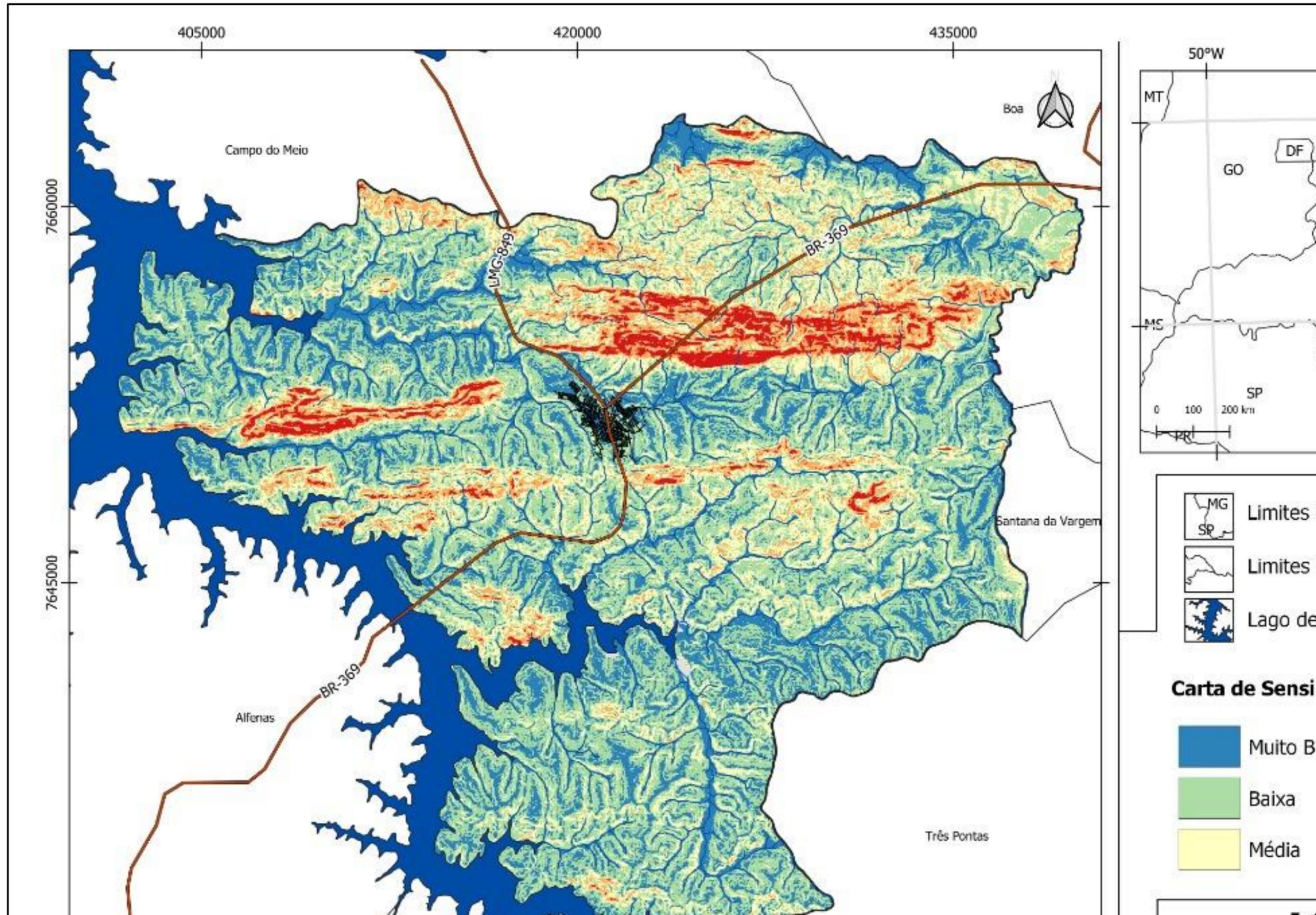
Sensibilidade Ambiental Potencial ao Meio Físico		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
Muito baixa	183,216	25,10
Baixa	320,418	43,90
Média	150,496	20,62
Alta	52,986	7,26
Muito Alta	22,992	3,42
TOTAL	729,794	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com o mapeamento (Figura 25) e com os dados apresentados na Tabela 6, as áreas classificadas como sendo de sensibilidade potencial ao meio físico muito baixa representam 25,10% do município, abrangendo uma área de 183,216 km². Estão associadas à Latossolos Vermelho, que apresentam textura argilosa e/ou média, sendo muito porosos, e conseqüentemente, bastante permeáveis e fortemente drenados, desenvolvidos em relevos planos sobre material litológico menos suscetível ao intemperismo. Estas áreas correspondem, principalmente, às planícies aluviais, e embora apresentem baixa sensibilidade potencial, são reivindicadas pelas águas fluviais nos períodos de cheia.

As áreas de baixa de sensibilidade potencial ao meio físico cobrem uma área de 320,418 km², que representa 43,90% da área do município. Assim como nas áreas de sensibilidade potencial ao meio físico muito baixa, as áreas de baixa fragilidade potencial também apresentam forte associação com Latossolo

Figura 25 - Carta de Sensibilidade Potencial ao Meio Físico.



Vermelho. São recortes espaciais mais propícios a serem utilizados por atividades agropastoris e expansão urbana.

A classe de sensibilidade potencial ao meio físico média abrange 20,62% do município, estendendo-se por uma área de 150,496 Km². São áreas que apresentam relevo ondulado e colinoso, com predomínio de vertentes convexas, e com predomínio de solos da classe Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho, que são suscetíveis à ocorrência de processos erosivos. Atividades desenvolvidas nessas áreas requerem atenção e devem ser planejadas.

As áreas onde ocorrem as classes de sensibilidade potencial ao meio físico alta estão nas porções elevadas da área mapeada onde o relevo tem maior declividade, associadas com as classes de solo Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho. Correspondem a 7,26% da área de estudo, com extensão de 52,986 Km², localizadas principalmente nas serras do município.

As áreas onde ocorrem a classe sensibilidade potencial ao meio físico muito alta estão nas porções mais elevadas da área mapeada, associadas a afloramentos rochosos e Cambissolos Haplicos e Latossolos Vermelhos. Áreas declivosas associadas a solos rasos são naturalmente locais suscetíveis à erosão hídrica. Essa classe ocupa 3,42% do município, abrangendo uma área de 22,992 Km².

6.7 CARTA DE SENSIBILIDADE EMERGENTE AO MEIO FÍSICO

A carta de sensibilidade ambiental emergente ao meio físico foi elaborada a partir da integração do mapa de fragilidade ambiental emergente com o fator LS (comprimento x declividade) através da AHP, e considera a sensibilidade potencial acrescida dos elementos humanos, caracterizado pelas suas intervenções no meio, representadas no mapa de uso do solo e cobertura vegetacional (figura 21). As classes de sensibilidade ambiental emergente obtidas foram: muito baixa, baixa, média e alta (tabela 7).

A classe de sensibilidade ambiental emergente ao meio físico muito baixa corresponde às áreas de sensibilidade potencial muito baixa cobertas por remanescentes florestais (figura 26). Esta classe ocupa uma área de 124,123 km², correspondendo a apenas 17,00% da área do município.

Figura 26 - Carta de Sensibilidade Emergente ao Meio Físico.

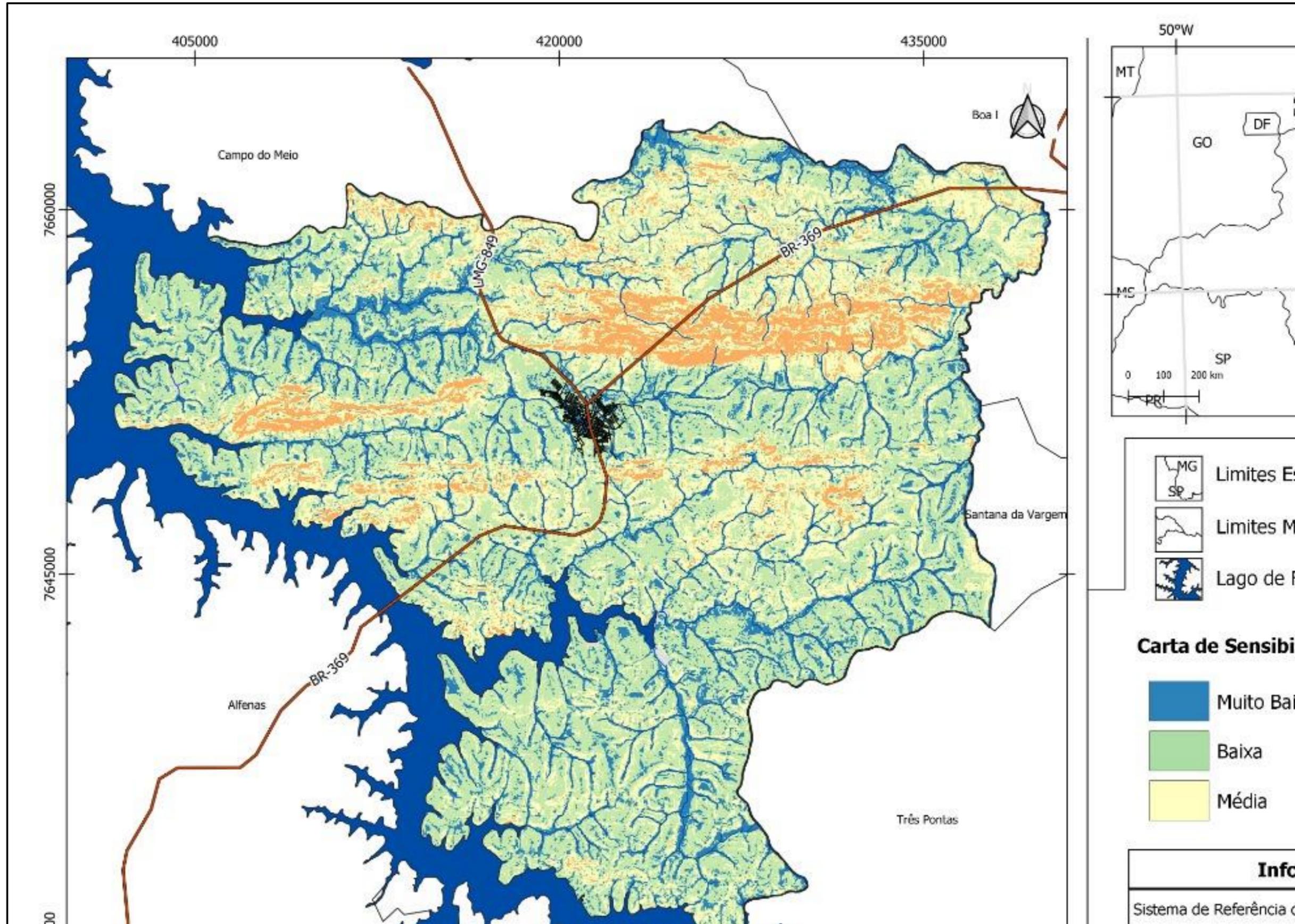


Tabela 7 - Áreas das classes de sensibilidade ambiental emergente por km² e por proporções percentuais da área total.

Sensibilidade Ambiental Emergente ao Meio Físico		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
Muito baixa	124,123	17,00
Baixa	353,605	48,45
Média	199,632	27,35
Alta	52,434	7,20
TOTAL	729,794	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe sensibilidade ambiental emergente ao meio físico baixa é a de maior abrangência, ocupando uma área de 353,605 km², abrangendo 48,45% do município. Representa as áreas onde há associação de classes de sensibilidade ambiental potencial baixa à média com coberturas vegetais tipo pastagem e cafeicultura.

Ocupando uma área de 199,632 km², a classe de sensibilidade ambiental emergente média diz respeito às áreas que apresentam sensibilidade potencial mediana, com relevos colinares associados a remanescentes florestais, pastagem e cafeicultura. Culturas com manejo do solo adequado o protegem de eventos erosivos, uma vez que não o deixam exposto a agentes modeladores do relevo. Essa classe ocupa 27,35% do território campos-geraiense.

Já as áreas de sensibilidade ambiental emergente ao meio físico alta ocupam apenas 7,20% da área do município, e são muito suscetíveis à ocorrência de processos erosivos. São recortes geográficos onde a sensibilidade ambiental potencial é de alta e muito alta, baixa densidade de vegetação, alta declividade e áreas de solo exposto. Estão presentes majoritariamente nas serras do município.

6.8 PONTOS ANALISADOS EM CAMPO

Após o cruzamento de dados utilizando o método AHP, foram geradas as cartas de sensibilidade ao meio físico, como foi descrito anteriormente. Após esse processo, foram feitos trabalhos de campo para a validação dos dados

inseridos no mapa. Foram verificados 15 pontos espalhados pelo município sendo 3 pontos para cada classe de sensibilidade ambiental potencial (figura 28).

6.8.1 Pontos com sensibilidade ambiental muito alta

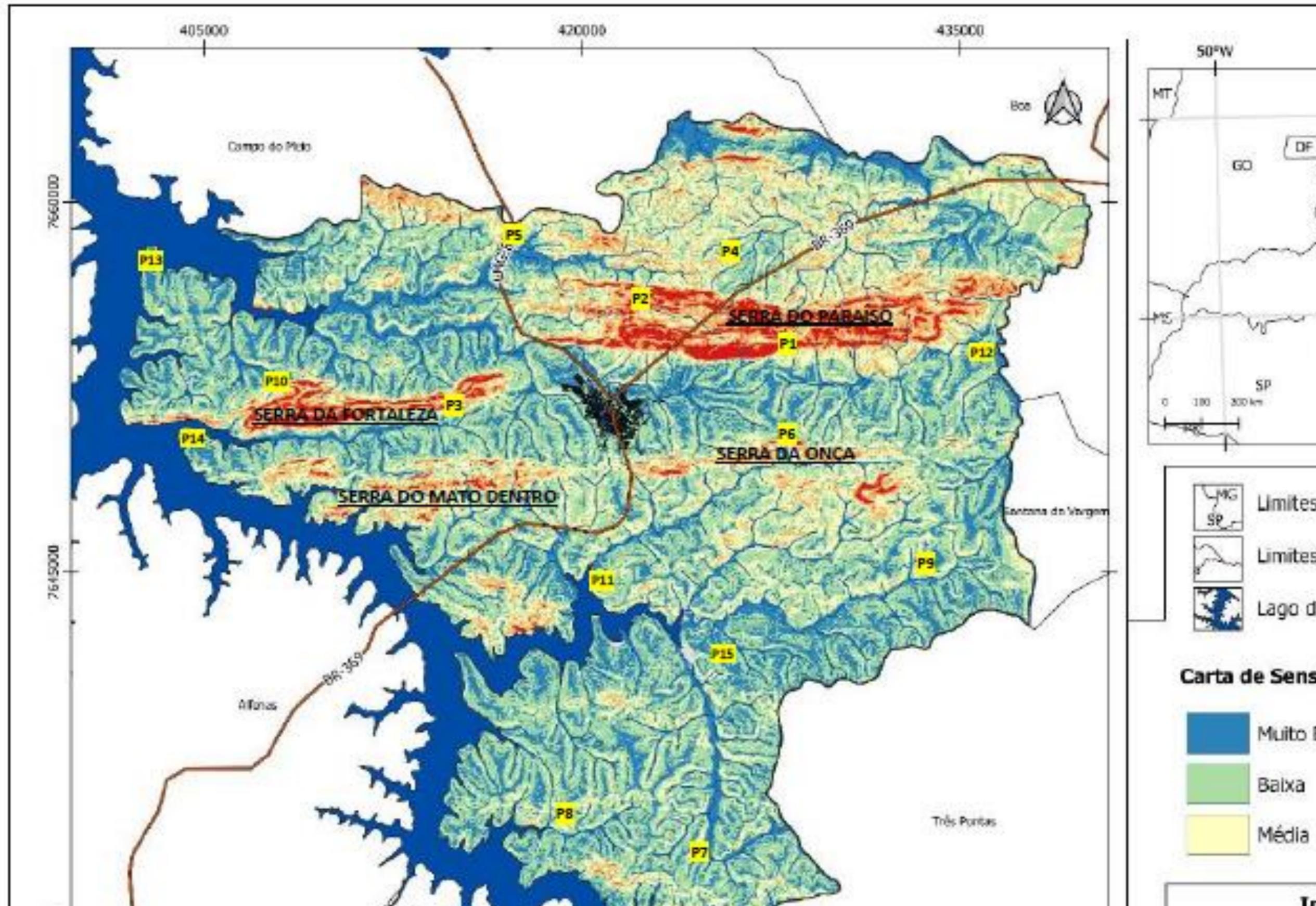
Os pontos 1, 2 e 3 referem-se a classe muito alta de sensibilidade ao meio físico. São áreas onde os fatores naturais juntamente com a ação antrópica possibilitam a ação erosiva do solo. O ponto 1 está localizado no sopé da Serra do Paraíso. A área já seria considerada de grande sensibilidade devido ao revelo acentuado existente, mas alguns fatores observados agravam a situação, conforme observado na figura 27. No local houve a tentativa de extração da rocha biotita gnaisse por uma mineradora, para sua utilização em obras de construção civil e pavimentação. Porém, a Serra possui grande beleza cênica e importância para a conservação da biodiversidade do município. Através de uma ação judicial, a prefeitura impediu a exploração mineral na área. No local não houve um trabalho de recuperação, e as rochas expostas sofrem ação do intemperismo.

Figura 27 - Área onde foi iniciada uma extração mineral no município.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 - Pontos do município visitados *in loco*.



O local também tem sido utilizado como caixa seca, recebendo e transportando águas pluviais. As caixas secas são reservatórios construídos com maquinários nas margens de estradas para captar as águas de chuva. A técnica diminui a velocidade da água das chuvas, evitando enxurradas, erosão, assoreamento dos rios e depredação das estradas pela chuva. Do mesmo ponto também é possível observar uma plantação de café sobre o solo com pedregulhos. A inserção da cultura aflorou rochas que estavam sob o solo, agravando a sensibilidade ambiental.

O ponto 2 também se localiza na Serra do Paraíso, porém em outra área de sua extensão. O local apresenta relevo íngreme, com grandes porções sem cobertura vegetal. Faz-se necessário pontuar uma lavoura de café que há no local, provavelmente plantada a pouco tempo, como mostra a figura 29. A cultura está em más condições de manejo, havendo até um processo de ravinamento entre as plantas.

Figura 29 - Processo de ravinamento em uma lavoura de café.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A declividade acentuada, o solo arenoso em exposição e a falta de manejo aumentam gradativamente a sensibilidade física do recorte territorial analisado. Além da cafeicultura, também é possível observar remanescentes florestais e pastagem, esta última em grande extensão.

O ponto 3 está localizado no sopé da Serra da Fortaleza, onde há uma voçoroca (figura 30) oriunda da exploração desordenada de cascalho para a construção de vias de transporte. A voçoroca está com seu interior em formato de “U”, ou seja, já sofreu erosão até se conectar ao lençol freático. Devido às chuvas irregulares na região e ao uso da água pela agricultura, o volume do lençol diminuiu, havendo uma desconexão atual com a voçoroca.

Figura 30 - Voçoroca no sopé da Serra da Fortaleza.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 28 é possível observar que a rede de drenagem da sub bacia do Ribeirão do Cervo está muito próxima da área onde se localiza a voçoroca. Isto se torna um fator agravante do ponto de vista ambiental, tendo em vista que todo material erodido da voçoroca é transportado por ação hídrica e depositado no leito do ribeirão, ocasionando a assoreamento da drenagem fluvial local.

Algumas ramificações da voçoroca estão em processo de estabilização natural, formando corredores ecológicos em seu interior. Porém, a maior parte de sua extensão contém solo arenoso e exposto a agentes modificadores da paisagem. A área não é cercada e há prática de motocross constante ao seu redor, formando trilhos e aumentando o escoamento concentrado, aumentando a degradação. O recorte territorial não somente possui o meio físico frágil, como já está em um longo processo de degradação.

6.8.2 Pontos com sensibilidade ambiental alta

O ponto 4 localiza-se em uma área também ao norte do município, próximo a Serra do Paraíso. A área está em um local de alta sensibilidade ao meio físico, e possui uma grande extensão de solo exposto, devido ao preparo dos solos para receber uma plantação de café. As mudas são pequenas e foram introduzidas no solo recentemente (figura 31). Ainda que o relevo apresente baixa declividade, o solo com características arenosas não deve ficar exposto às ações do intemperismo.

Figura 31 - Solo arenoso exposto em uma plantação de café.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como a pluviosidade ocorre no município em maior volume no verão, seus grãos são facilmente desagregados, carreados e depositados em canais fluviais

próximo ao local, causando a perda de qualidade pedológica e aumento do assoreamento.

O ponto 5 localiza-se em uma área na região norte do município e está em um local de alta sensibilidade ao meio físico. Apesar do relevo possuir declividade mediana, o solo tem características arenosas, aumentando sua susceptibilidade à erosão. A pastagem, que possui manejo inadequado (figura 32), é a principal forma de uso da terra no local. O recorte espacial só está em condições menos desfavoráveis devido à grande quantidade de chuvas que vem ocorrendo no local, fazendo com que a pastagem cresça e cubra áreas em exposição ao intemperismo. O manuseio inadequado dos animais causa compactação do solo e surgimento de feições ravinares nos trilhos onde eles passam com frequência. A falta de fertilização e separação do pasto em piquetes, também colabora para o aumento da sensibilidade ao meio físico. Do local também é possível observar uma Serra que pertence ao município de Campo do Meio.

Figura 32 - Pastagem com más condições de manejo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ponto localiza-se na Serra da Onça, possuindo alta sensibilidade ao meio físico. O local necessita de atenção do ponto de vista ambiental, pois

apresenta um relevo íngreme associado a monocultura do café, que não é indicado em áreas com essas características. O solo raso associado à plantação aumenta a susceptibilidade à erosão, devido a sua maior exposição a agentes erosivos. É possível observar o solo arenoso em exposição, que pode vir a erodir, causando degradação do meio ambiente, e desvalorização da área do produtor (figura 33). O manejo adequado do solo é de suma importância na prevenção de futuras erosões.

Figura 33 - Plantação de café sobre uma área íngreme com solo exposto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.8.3 Pontos com sensibilidade ambiental média

O ponto 7 está localizado na porção sul do município e próximo ao distrito de Córrego do Ouro. Apresenta média sensibilidade ao meio físico, e conforme a figura 34, há presença de uma lavoura de café. As plantas foram podadas a cerca de 40 centímetros da superfície, devido à intensa geada que assolou a região em julho de 2021, e danificou os pés dessa cultura perene. Entre as ruas de café, é possível observar que o mato está cobrindo seu meio. Isso é uma

característica positiva em relação a sensibilidade ao meio, pois evita o contato direto entre as gotas de chuva e o solo, diminui erosão e mantém a umidade local. Porém, é indispensável a atenção com áreas de solo exposto, para que feições erosivas não surjam com chuvas torrenciais.

Figura 34 - Plantação de café cortada devido à geadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ponto 8 também se localiza na região sul do município e apresenta uma média sensibilidade ao meio físico. De acordo com a figura 35, o relevo possui baixa declividade e há uma plantação de soja no local. Na altura e na densidade que a soja se encontra, o solo não está exposto e isso ajudar a conter possíveis erosões. Porém, é necessário um manejo minucioso da área, para que fatores erosivos não ocorram após a colheita, período em que normalmente o solo fica exposto aos fatores climáticos. Uma pequena falta de manejo adequada é o suficiente para que esse processo ocorra.

Figura 35 - Plantação de soja ao sul do município de Campos Gerais –MG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ponto 9 localiza-se na região centro-leste do município, e possui sensibilidade média ao meio físico. No local também foram podados os pés de café devido à forte geada que ocorrera em 2021 (figura 36). Porém, não há vegetação rasteira entre as ruas da lavoura, o que facilitaria uma possível ação erosiva. No local também há uma pequena plantação de milho e fragmentos de mata secundária. A estrada rural que passa próxima a plantação está formando pequenas feições erosivas devido à velocidade das enxurradas que passam em seu interior.

Figura 36 - Plantações de milho e café ao sul do município de Campos gerais – MG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.8.4 Pontos com sensibilidade ambiental baixa

O ponto 10 localiza-se na porção noroeste do município, e apresenta baixa sensibilidade ao meio físico. Não há solo em exposição no local, pois a área possui pastagem com uma pequena mata secundária a sua volta (figura 37). Como o local é de baixa altitude, situado próximo ao sopé da serra, é notório a acumulação de água das chuvas. Não há indícios de futuras erosões no recorte analisado.

Figura 37 - Área de pastagem sem indícios de feições erosivas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ponto 11 localiza-se na região centro-sul do município e apresenta baixa sensibilidade ao meio físico. A área é coberta por pastagem em boas condições de manejo, e não há solo exposto a agente modeladores do relevo. A braquiária com altura média evita que ocorra feições erosivas no local, pois evita a ocorrência de contato direto entre a água das chuvas e solo. Suas raízes profundas também contribuem para que este fato não ocorra. Ao fundo da pastagem é possível observar alguns remanescentes florestais e uma lavoura de café em condições de manejo adequadas (figura 38).

Figura 38 - Pastagem em boas condições de manejo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ponto 12 localiza-se na região leste no município e também apresenta baixa sensibilidade do meio físico. A área é de baixa altitude está próxima aos cursos d'água da região (figura 39). Assim como no ponto anterior, a pastagem com manejo adequado diminui a susceptibilidade a erosão. No local também há uma construção rural, mas que não ameaça o risco de aumentar a sensibilidade ao meio físico.

Figura 39 - Área com baixa sensibilidade ao meio físico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.8.5 Pontos com sensibilidade ambiental muito baixa

O ponto 13 localiza-se na região noroeste do município e apresenta sensibilidade ao meio físico muito baixa. A área faz parte da planície de inundação da Usina Hidrelétrica de Furnas (figura 40). O local onde a foto foi registrada, se a represa estivesse em seu nível elevado, estaria encoberto pela água. Apesar de não apresentar vegetação, o solo úmido apresenta-se conciso e resistente, não apresentando sinais de erosão acelerada, e confirma as informações contidas no mapa de sensibilidade ao meio físico.

Figura 40 - Local de sensibilidade ambiental muito baixa, próximo a Usina Hidrelétrica de Furnas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ponto 14 localiza-se na região centro-oeste do município e também apresenta sensibilidade ao meio físico muito baixa. A área está próxima a Usina Hidrelétrica de Furnas e ao seu redor é possível ver remanescentes florestais e lavouras de café em boas condições de manejo (figura 41).

Essas características do uso da terra evita o surgimento de feições erosivas, uma vez que o solo está protegido por camadas vegetacionais. Contudo, é necessária atenção especial na utilização de agrotóxicos em locais com essas características, visto que a água da represa pode ser facilmente contaminada caso não haja conscientização.

O ponto 15 localiza-se na região centro-sul do município e apresenta sensibilidade ao meio físico muito baixa. No local é possível uma paisagem dividida entre pastagem e remanescentes florestais. Independente do grau de declividade, matas e florestas são as principais formas de prevenir e evitar de fatores pluviométricos desencadeiem erosão no meio ambiente. As folhas e galhos das árvores absorvem o impacto das gotas de chuva, o que com que a água chegue lentamente ao solo, minimizando a erosão (figura 42).

Figura 41 - Área de inundação da Usina Hidrelétrica de Furnas próximo a remanescentes florestais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pastagens em boas condições de manejo também exercem essa função, mas não com a excelência de locais fortemente arborizados. O meio ambiente com mata primária remanescente normalmente possui características que inviabilizam o surgimento de feições erosivas.

Figura 42 - Área com baixa sensibilidade física ao meio ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação à fragilidade potencial, é possível concluir que, como a vegetação é um fator preponderante para a proteção dos solos, o mapa se mostrou eficaz para detectar áreas frágeis à erosão devido às suas características físicas.

Associando-se o mapa de fragilidade potencial ao uso do solo e cobertura vegetal, tem-se a fragilidade emergente, a qual considera as alterações do homem no espaço. Desta forma, o mapa de fragilidade ambiental emergente se mostrou eficiente na caracterização de diferentes graus de risco à erosão, já que as áreas com fragilidade emergente alta e muito alta são justamente locais onde não há vegetação nativa, associado a solos menos resistentes a erosão e implantação de atividades antrópicas. O município de Campos Gerais apresenta alta variabilidade em suas características geoambientais, resultando em diferentes graus de fragilidade ambiental.

Com base nas análises desenvolvidas, foi possível obter informações relevantes da área de estudo. Através dos mapas elaborados, foram descobertas características dos solos do município, direção e fluxo da rede de drenagem, e os diversos usos da terra presentes no recorte geográfico analisado. Outras informações relevantes dizem respeito à fragilidade ambiental potencial do município.

Analisando criteriosamente o mapa de fragilidade ambiental potencial, foi plausível a descoberta de áreas suscetíveis a erosão hídrica natural, apenas devido às características e condições ambientais desfavoráveis. Associando a informação descrita ao uso da terra, foi possível gerar o mapa de fragilidade ambiental emergente do município. Suas informações apontam áreas que devido à suas características naturais aliadas à intervenção antrópica, são passíveis de ocorrência de erosão hídrica.

Para a finalização da proposta metodológica, foi utilizado a influência do fator LS na análise (Comprimento de rampa x declividade) por meio do algoritmo de Desmet e Govers (1996) recomendado para áreas onde predominam declives mais movimentados, como é o caso do município de Campos Gerais - MG. Os mapas finais foram a ponderação AHP dos mapas de fragilidade potencial e

emergente juntamente com os mapas do fator LS, que derivaram nas Carta de sensibilidade do meio físico - emergente e potencial.

As cartas de sensibilidade ao meio físico se mostraram eficientes para solucionar as dúvidas e inquietações que surgiram ao longo da dissertação. Através da produção cartográfica foi possível cruzar informações de variáveis distintas e identificar áreas do município susceptíveis a erosão devido a sua declividade, tipo de solo, uso terra e ocupação vegetacional, além de ações antrópicas que aceleram a degradação ambiental.

Os resultados também permitiram quantificar as áreas de sensibilidade ao meio físico, evidenciando a extensão de cada classe em Km², e sua porcentagem em relação a área total do município. Em suma, os resultados produziram informações valiosas sobre a área de estudo, realizando um prognóstico do meio físico, e evidenciando áreas com potenciais erosivos, o que pode contribuir substancialmente para o planejamento ambiental do município.

O trabalho tem como pretensão integrar o resultado final com a Secretaria de Meio Ambiente, Conselho Municipal de Defesa, Conservação e Desenvolvimento Ambiental e com Prefeitura Municipal de Campos Gerais -MG e demais órgãos, para disponibilizá-lo enquanto produto como subsídio para reformulação do Plano Diretor do município. Além disso, o trabalho buscar servir para tomadas de decisão ambiental entre produtores rurais e suas devidas associações.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL – MG.

REFERÊNCIAS

- AB´SÁBER, A. N. **Formas de relevo: texto básico**. São Paulo: EDART, 1975. 80 p.
- AB´SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço de pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, p. 01-20, 1969.
- ABREU, A. A. A Teoria geomorfológica e sua edificação: análise crítica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 2, p. 51-67, 2003.
- ALBUQUERQUE, J. **Erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do rio Apeú, região nordeste do estado do Pará**. 2013. 70f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2013.
- ALCÂNTARA, E. H.; SOUZA, A. Produção de sedimentos na Zona Costeira da Bahia - Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p. 199-205, 2010.
- APRÍGIO, P. O.; BRANDÃO, J. L. B. Modelos hidrológicos de simulação da poluição Difusa. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. [**Anais ...**], Maceió: INPE, 2011.
- ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P. Avaliação espaço temporal do uso do solo na área da bacia do rio Japarutuba - Sergipe através de imagens LANDSAT. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. [**Anais ...**]. Natal: INPE, 2009. v. 1, p. 1231-1238.
- ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 322 p.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1998.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de Mapas e suas Aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. Tese de Doutorado. São José dos Campos, São Paulo, 1997.
- BARBOSA, C. C. F. *et al.* Operadores zonais em álgebra de mapas e sua aplicação a zoneamento ecológico-econômico". *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. [**Anais ...**]. Santos: INPE, 1998. Um CD-ROM.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1977. 351 p.
- BORGES, M. P. *et al.* Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,

João Pessoa, 17., 2015. João Pessoa. [**Anais...**], João Pessoa: INPE, 2015. p. 5897- 5903.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Dados vetoriais de rodovias estaduais, 2019**. Brasília, 2020. Disponível em: <http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>. Acesso em: 10/maio/2021.

CABRAL, A. E. **Estudo geotécnico e ambiental da voçoroca da Serra da Fortaleza em Campos Gerais, Sul de Minas Gerais**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Instituto de Ciências da Natureza, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2013.

CABRAL, A. E. **O Sistema geomorfológico de Campos Gerais: aspectos dinâmicos e estruturais na evolução do relevo regional**. 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2018.

CABRAL, J. B. P. *et al.* A. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO): utilizando técnicas de geoprocessamento”. **GeoFocus**, n. 11, p. 51-69, 2011.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2. ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998. 159 p.

CAMPOS, L. G.; CARDOSO, S. P. Cálculo de Fator LS da Equação Universal de Perdas de Solo. **Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista**. São Paulo, 2004.

CAMPOS, M. T. **Mapeamento Geológico 1: 100.000 da região de Alfenas, sul de Minas Gerais**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Bacharelado em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CHANDIO, I. A. *et al.* GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review. **Arabian Journal of Geosciences**. v. 6, n. 8, p. 3059-66, ago. 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-012-0568-8>. Acesso em: 19/Aug. /2021.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a systems approach**. London: Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blucher, 1999. 236 p.

COSTA, C. D. O. **Perdas de solo e deposição de sedimentos em duas sub-bacias hidrográficas no entorno da usina hidrelétrica de Ilha Solteira-SP**. 2013. 151f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CREPANI, E. *et al.* Curso de sensoriamento remoto aplicados ao zoneamento ecológico-econômico. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*. Salvador, 1996. [**Anais....**] São Paulo: Imagem Multimídia, 1996.

CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F; RODRIGUES, S. C. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, n.3, p. 505-516, 2010.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **Geographical Journal**. London, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

DE ROO, A. P. J. *et al.* a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: theory, input and output. **Hydrological Processes**, v. 10, p.1107-1117, 1996.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento**. Campinas, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>. Acesso em: 11/maio/2021.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Agricultura e preservação ambiental: uma análise do cadastro ambiental rural**. Campinas, 2017. Disponível em: www.embrapa.br/car. Acesso em: 12/maio/2021.

ERHART, H. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, n. 11, p. 51-58, 1966.

FIGUEIREDO, M. C. B. *et al.* Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Artigos Técnicos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

FURIAN, P. H. **Portfólio de fotos e imagens stock**. 2020. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/image-vector/electromagnetic-spectrum-144068875>. Acesso em: 10/jul./2020.

GATTO, L. C. S. *et al.* **Geomorfologia. In BRASIL**. Ministério das Minas e Energia. Secretária Geral. Projeto RADAMBRASIL: levantamento de recursos naturais (v. 32), Folhas SF. 23/24 – Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: 1983. 775 p.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GUTERRES, D.C. Geoprocessamento ambiental, o que é? **AGROPÓS**, 2020. Disponível em: <https://agropos.com.br/geoprocessamento-ambiental/#:~:text=O%20Geoprocessamento%20Ambiental%20%C3%A9%20uma,%C3%A1rea%20ou%20regi%C3%A3o%20em%20estudo>. Acesso em: 19/ago. /2020.

HACK, J. T. Dynamic equilibrium and landscape evolution. *In: MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C. (Ed.). Theories of landform development*. London: Allen & Unwin, 1975. p. 87-102.

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

INAMASU, R. Y. *et al.* **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2012. 334 p.

IBGE. **Cartas topográficas de 1:50.000**. Rio de Janeiro, 1970. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa16320>. Acesso em: 20/maio/2020.

IBGE. **Censo Agropecuário, 2017**. Rio de Janeiro, 1970. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em: 18/maio/2020.

IBGE. **Limites Brasil (Estados e Municípios) – Represa de Furnas, 2010**. Rio de Janeiro, 1970. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 19/maio/2020.

IBGE. **Manual técnico da vegetação do Brasil**. 2. ed, Rio de Janeiro, 2012.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Monitoramento e Qualidade das Águas**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/>. Acesso em: 20/dez./2021.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago de Furnas**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/>. Acesso em: 20/dez./2021.

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 18, p. 147 – 265, 1956.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics**, v. 33 n. 2, p. 363–374, 1977.

LOPES, E. S. S. **Modelagem espacial dinâmica aplicado ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala de 1:10.000**. 2006. 276f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2006.

LOPES, F.W.A.; LOUZADA, R.O.; OLIVEIRA, C. Valéria de. Impactos ambientais de projetos de loteamentos em Nova Serrana-MG. *In*: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. [Anais...] Viçosa: SBCS, 2006.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Revista Geografia**, Londrina, v. 17, n. 2, Jul./dez. /2008.

MASSEY D. Space-time, 'science' and the relationship between physical geography and human geography. **Transactions of the Institute of British Geographers** n. 24, p. 261–276, 1999.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; RUHOFF, A. L. Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 34, p. 1455-1462, 2010.

MINAS GERAIS. **Departamento Estadual de Estradas de Rodagem. Mapa Rodoviário do Estado de Minas Gerais. Escala 1: 720.000.** Belo Horizonte, 2017.

MIRANDA, N. M. G. **Análise espacial da suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lipa**, Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001, 208 p.

MORIN, E. **O Método 1: a natureza da natureza.** São Paulo: Publicações Europa-América, 1977.

NASA. **Earth Science Applications Directorate-MrSid Image Server.** Washington, 2020. Disponível em <https://www.nasa.gov/>. Acesso em: 10/June/2020.

NASCIMENTO, M. D., 2009. **Fragilidade ambiental e expansão urbana da região administrativa nordeste da sede do Município de Santa Maria – RS.** Dissertação de Mestrado (Programa de Pós – Graduação em Geografia – UFS – MRS), Santa Maria, 2009.

NOVO, E. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

OUMA, Y. O.; TATEISHI, R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated Multi-Parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. **Rev. Water**, v. 6, p. 1515 – 1545, 2014.

PAVLICKOVA, K.; VYSKUPOVA, M. A method proposal for cumulative environmental impact assessment based on the landscape vulnerability evaluation. **Environmental Impact Assessment Review**, v.50, p.74-84, 2015.

PENCK, W. **Morphological analysis of land forms: a contribution to physical geology.** London: Macmillan, 1953. 429 p.

PEREIRA, R. V. **Análise da fragilidade ambiental a processos erosivos no município de Campos Gerais – MG.** 2014. 109 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

PEREIRA, R. V. **Diagnostico Físico-ambiental do Município de Campos Gerais – MG, A Partir da Elaboração de Mapas Temáticos.** Relatório Final apresentado à Pró-Reitoria de Pós-graduação e Pesquisa, por exigência do

término da Bolsa de Iniciação Científica, referente ao período de agosto de 2009 a julho de 2010.

PISANI, R. J. **Modelagem espacial dinâmica para o monitoramento do aporte de sedimentos na sub-bacia do rio Capivara, município de Botucatu-SP**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2013.

PLYUSNIN, L. M.; KOTYTNY, L. M. The 55th anniversary of the V. B. Sotchava Institute of Geography SB RAS. **Geography and Natural Resources** v. 33, n. 4, p. 5 – 12, 2012.

Prefeitura Municipal de Campos Gerais. **Plano Diretor Participativo**. Campos Gerais: UFMG, 2007.

QIU, B.; LI, H.; ZHOU, M.; ZHANG, L. Vulnerability of ecosystem services provisioning to urbanization: A case of China. **Ecological Indicators**, v. 57, p. 505- 513, 2015.

RENARD, K.G. et al. **Predicting soil erosion by water: guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: US Gov. Print Office, 1997. 404 p.

RENARD, K.G. *et al.* **Predicting soil erosion by water – A guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: US Gov. Print Office, 1997.

RIBEIRO, A. "**Agricultura intensiva e meio ambiente**"; Brasil Escola, 2015. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/agricultura-intensiva-meio-ambiente.htm>. Acesso em: 12/jan./2022.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora - MG: Edição do Autor, 2000.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74,1994.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-76, 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>. Acesso em: 19/Aug./2021.

SAATY, T. L. A Scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Math Psychology**, v. 15, 234-281, 1977.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, Jan. 2005.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>. Acesso em: 19/Aug./2021.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. *In*: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. (Ed.). **Multiple criteria decision analysis: state of the art - surveys**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2005. cap. 9.

SAATY, T. L. **The Analytic hierarchy processes**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SEMENOV, Y. M.; SNYTKO, V. A. The 50th Anniversary of the Appearance of V. B. Sotchava's First Article on the Geosystem. **Geography and Natural Resources**, v. 34, n. 3, p. 5-8, 2013.

SERRA, A.; RATABONNA, L. **As massas de ar da América do Sul**. Rio de Janeiro: Editora do Serviço de Meteorologia, 1942.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2004, p. 140.

SISTEMA para o monitoramento agro-energético da cultura do café. Guaxupé: SISMET, 2021. Disponível em: <http://sismet.cooxupe.com.br:9000/>. Acesso em: 18/ago./2021.

SOARES FILHO, B. S. S.; CARMO, V. A.; NOGUEIRA, W. J. Metodologia de elaboração da carta do potencial erosivo da bacia do rio das Velhas - MG. **Geonomos**, v. 6, n. 2, p. 45-54, 1998.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo dos geossistemas. Métodos em questão**. USPIGEO, São Paulo, n. 16, 1977.

SOUZA, V. N. **Aplicações de sistemas de informação geográfica (SIG) ao meio rural**. Monografia (Especialista em Gestão Ambiental) - Polo UAB do Município de Modalidade de Ensino a Distância, Universidade Tecnológica Federal do UTFPR - Câmpus Medianeira. MEDIANEIRA, 2015.

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39-49, 2004.

STACCIARINI, J. H. S; **Os caminhos do pensamento geográfico: da antiguidade ao século XXI**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

TANSLEY, Arthur G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. **Ecology**, v. 16, n. 3, p. 284-307, 1935.

TAVARES, P. A. *et al.* Processo analítico hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **Artigos- Interações**, Campo Grande, v. 20, n. 2, abr./jun. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/czmJyn93szNcX5jfXjpPR8M/?lang=pt>. Acesso em 19/ago./2021.

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

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**. Washington: US Department of Agriculture, n. 537, 1978.

WOOLHISER, D. A.; SMITH, R. E.; GOODRICH, D.C. (1990). KINEROS: A kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. U. S. **Department of Agriculture, Agricultural Research Service**, ARS-77, 1990.

XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. **SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: Uma Proposta Metodológica**. *In*: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA. 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4., São Paulo, 1993. [**Anais...**], São Paulo: EDUSP, 1993.

YOUNG, R. A. Agricultural Nonpoint Source Pollution Model: A Watershed Analysis Tool. **Agriculture Research Service**, U.S. Department of Agriculture, Morris, (1986).