

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

MARCELO DA SILVA VIEIRA

**ESTUDO SISTEMÁTICO DOS GEOSISTEMAS DO MUNICÍPIO DE
CALDAS – MG COM VISTAS AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL.**

Alfenas/MG

2024

MARCELO DA SILVA VIEIRA

**ESTUDO SISTEMÁTICO DOS GEOSSISTEMAS DO MUNICÍPIO DE
CALDAS – MG COM VISTAS AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Dinâmica dos Sistemas Físico Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Thomaz Alvisi de Oliveira

Alfenas/MG

2024

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

Vieira, Marcelo da Silva.

Estudo sistemático dos geossistemas do município de Caldas – MG com vistas ao planejamento territorial. / Marcelo da Silva Vieira. - Alfenas, MG, 2024.
141 f. : il. -

Orientador: Prof. Dr. Thomaz Alvisi de Oliveira.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2024.

Bibliografia.

1. Geossistemas. 2. Estudos da Paisagem. 3. Fragilidade Ambiental. 4. Capacidade de uso da terra. 5. Planejamento do Território. I. Oliveira, Prof. Dr. Thomaz Alvisi de, orient. II. Título.

MARCELO DA SILVA VIEIRA

ESTUDO SISTEMÁTICO DOS GEOSISTEMAS DO MUNICÍPIO DE CALDAS - MG COM VISTAS AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da 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: 25 de março de 2024

Prof. Dr. Thomaz Alvisi de Oliveira

Presidente da Banca Examinadora

Instituição: Instituto Federal do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS/Poços de Caldas

Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco - UFPE/PE

Prof. Dr. Roberto Marques Neto

Instituição: Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF/MG



Documento assinado eletronicamente por **Thomaz Alvisi de Oliveira, Usuário Externo**, em 07/05/2024, às 10:41, 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.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1246108** e o código CRC **83F4C59A**.

À Fabiana

Grande amor da minha vida que enche os meus dias de felicidade e ternura. É com profundo carinho e admiração que dedico este trabalho a você, como uma singela forma de expressar o quanto sua presença é fundamental em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Thomaz Alvisi de Oliveira, pela excelente orientação, disponibilidade, confiança e exemplo de profissionalismo. Minha eterna gratidão.

Ao Programa de Pós – Graduação em Geografia – PPGEO da Universidade Federal de Alfenas, por oportunizar todo o conhecimento adquirido.

Ao meu pai e minha família, por todo o apoio e incentivo aos meus estudos.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti e Prof. Dr. Roberto Marques Neto pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001"

Um bom lugar para entender o presente e fazer perguntas sobre o futuro é no chão, viajando o mais devagar possível.

(KAPLAN, 2013, prefácio. xiii)

RESUMO

Geossistemas são sistemas complexos compostos por elementos naturais e sociais interconectados. Esses sistemas são caracterizados por interações dinâmicas e interdependências entre seus elementos, que moldam a paisagem e influenciam seu funcionamento. A ciência dedicada ao estudo das paisagens busca compreender os fenômenos e processos que nelas ocorrem, especialmente sua dinâmica, gerando conhecimento integrado e sistêmico sobre as áreas investigadas. Isso, por sua vez, auxilia na elaboração de planos ambientais que buscam equilibrar o potencial de uso dessas áreas com sua utilização efetiva. Nesse contexto, este trabalho consiste em um estudo detalhado dos geossistemas do município de Caldas, localizado no Sul do estado de Minas Gerais, Brasil. Amparado na proposta metodológica de Sochava (1971, 1977, 1978) para estudo das unidades geoambientais definidas como geossistemas, objetivou-se compreender as características dessas unidades e identificar e analisar sua estrutura e dinâmica funcional. Para tanto a área de estudo foi caracterizada a partir de seus aspectos físico-naturais e socioeconômicos, o que incluiu a compartimentação geomorfológica, o estudo da fragilidade ambiental, da capacidade de uso da terra e o mapeamento das unidades geossistêmicas. Os resultados revelam as principais interferências antrópicas nos geossistemas, sendo discutidos os desafios ambientais enfrentados pelo município de Caldas. Os resultados também incluem, além da produção cartográfica temática, um quadro síntese contendo o diagnóstico ambiental e orientações voltadas à conservação das unidades geossistêmicas em nível de classe de fácies e grupos de fácies, no qual são sugeridas medidas de conservação e manejo do território para mitigar impactos de forma a promover a conservação e melhor aproveitamento dos potenciais da paisagem. O estudo afirma a importância da compreensão dos geossistemas para a conservação do meio ambiente, considerando a necessidade de aprofundamento do conhecimento sobre o meio físico como subsídio ao planejamento territorial.

Palavras-chave: geossistemas; estudos da paisagem; fragilidade ambiental; capacidade de uso da terra; planejamento territorial.

ABSTRACT

Geosystems are complex systems composed of interconnected natural and social elements. These systems are characterized by dynamic interactions and interdependencies among their elements, which shape the landscape and influence its functioning. The science dedicated to the study of landscapes seeks to understand the phenomena and processes that occur within them, especially their dynamics, generating integrated and systemic knowledge about the areas under investigation. This, in turn, assists in the development of environmental plans that aim to balance the potential use of these areas with their effective utilization. In this context, this work consists of a detailed study of the geosystems of the municipality of Caldas, located in the South of the state of Minas Gerais, Brazil. Based on the methodological proposal of Sochava (1971, 1977, 1978) for the study of geo-environmental units defined as geosystems, the objective was to understand the characteristics of these units and to identify and analyse their structure and functional dynamics. For this purpose, the study area was characterized based on its physical-natural and socio-economic aspects, which included geomorphological compartmentalization, the study of environmental fragility, land use capacity, and mapping of geosystemic units. The results reveal the main anthropic interferences in the geosystems, discussing the environmental challenges faced by the municipality of Caldas, such as soil erosion, loss of biodiversity, and degradation of water resources. The results also include, in addition to thematic cartographic production, a synthesis table containing the environmental diagnosis and guidelines aimed at the conservation of geosystemic units at the facies class and facies group levels, suggesting conservation measures and land management to mitigate impacts in order to promote the conservation and better use of landscape potentials. The study emphasizes the importance of understanding geosystems for environmental conservation, considering the need for further knowledge about the physical environment as a subsidy to territorial planning.

Keywords: geosystems; landscape studies; environmental fragility; land use capacity; territorial planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ordens dos geossistemas e subdivisões topológicas da paisagem	24
Figura 2 - Sistema taxonômico proposto por Bertrand (1968).....	28
Figura 3 - Fluxograma simplificado da organização das atividades em etapas de trabalho	37
Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo: Município de Caldas - MG	69
Figura 5 - Mapa Geológico do Município de Caldas - MG.....	75
Figura 6 - Mapa de Solos do Município de Caldas - MG	77
Figura 7 - Mapa da cobertura vegetal nativa do Município de Caldas - MG.....	79
Figura 8 - Mapa Hipsométrico do Município de Caldas – MG	81
Figura 9 - Mapa de Declividades do Município de Caldas – MG.....	82
Figura 10 - Mapa de Orientação das Vertentes do Município de Caldas - MG	83
Figura 11 - Mapa de Compartimentos Geomorfológicos do Município de Caldas - MG	87
Figura 12 - Mapa Hidrográfico do Município de Caldas - MG.....	88
Figura 13 - Mapa da Fragilidade Potencial de Caldas - MG.....	91
Figura 14 - Mapa da Fragilidade Ambiental Emergente de Caldas – MG	94
Figura 15 - Mapa de uso da terra do município de Caldas - MG.....	96
Figura 16 - Mapa da Capacidade de uso da terra Município de Caldas - MG.....	103
Figura 17 - Mapa das Classes do uso atual da terra do Município de Caldas - MG	105
Figura 18 - Mapa do uso excedente no Município de Caldas - MG.....	106
Figura 19 - Fragmento do mapa dos geossistemas do município de Caldas – MG	109
Figura 20 - Cristas sieníticas de topo aguçado sob uso atual de pastagens e urbano.....	112
Figura 21 - Cristas fonolíticas sob uso atual de pastagem e, em menor grau, urbano.....	113
Figura 22 - Morros intermontanos sob uso atual agrícola e de pastagem.....	114
Figura 23 - Planaltos sob uso atual de agricultura, silvicultura e pastagens.	115
Figura 24 - Planícies e terraços sob uso atual agrícola.....	116
Figura 25 - Cristas graníticas sob uso atual de pastagem.	118
Figura 26 - Morrarias altimontanas sob uso atual de pastagem no limite urbano. ..	119
Figura 27 - Morros alongados sob uso atual de pastagem e agricultura.	120
Figura 28 - Morros e morrotes sob uso atual de pastagens e agricultura.	121
Figura 29 - Morros e colinas sob uso atual de pastagem e agricultura.	122

Figura 30 - Pontões sob uso atual de pastagem e agricultura.	123
Figura 31 - Vales estruturais sob uso atual de pastagem e agricultura.	124
Figura 32 - Planícies e terraços sob uso atual de pastagem e agricultura.	125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro geral da classificação bilateral proposto por Sochava (1971). ...	25
Quadro 2 - Fragilidades dos solos.....	49
Quadro 3 - Fragilidade / Interferência do comportamento pluviométrico.....	52
Quadro 4 - Proteção / Fragilidade dos solos pela cobertura vegetal e usos da terra	59
Quadro 5 - Grupos e classes de capacidade de uso.....	63
Quadro 6 - Registro fotográfico dos modelados do relevo.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes dos níveis de saturação superficial de umidade.....	43
Tabela 2 - Classes dos níveis de potencial erosivo.....	43
Tabela 3 - Pesos atribuídos às classes de Declividade, Curvatura do terreno, Índice Topográfico de Umidade e Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos.	44
Tabela 4 - Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo.....	48
Tabela 5 - Classificação da Fragilidade Geológica.....	50
Tabela 6 - Valores de precipitação média mensal para o município de Caldas - MG.....	54
Tabela 7 - Classificação de Fragilidade do Comportamento Pluviométrico.....	55
Tabela 8 - Matriz de confusão.....	58
Tabela 9 - Níveis de Desempenho da Classificação Conforme índice Kappa.....	59
Tabela 10 - Matriz das classes de fragilidades para integração cartográfica.....	61
Tabela 11 - Matriz de capacidade de uso e aptidão.....	64
Tabela 12 - Percentual de área das classes de fragilidade potencial do município de Caldas - MG.....	90
Tabela 13 - Percentual de área das classes de fragilidade ambiental emergente do município de Caldas - MG.....	93
Tabela 14 - Percentual de área do uso da terra no município de Caldas - MG.....	95
Tabela 15 - Percentual de área do uso da terra nas classes de fragilidade potencial.....	97
Tabela 16 - Percentual de alteração de área das classes de fragilidade potencial do município de Caldas - MG.....	99
Tabela 17 - Percentual de área do uso da terra nas classes de fragilidade ambiental emergente.....	100
Tabela 18 - Percentual de área conforme classes de capacidade de uso da terra.....	102
Tabela 19 - Percentual de área conforme classes de capacidade do uso atual da terra.....	103
Tabela 20 - Percentual de área conforme número de classes do uso excedente...	105
Tabela 21 - Percentual do uso atual em cada classe de Potencial/Capacidade de uso da terra.....	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GeoPDF	PDF Georreferenciado
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
PIB	Produto Interno Bruto
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	17
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Objetivo geral	19
1.1.2	Objetivos específicos	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	A TEORIA GEOSISTÊMICA	21
2.2	FRAGILIDADE AMBIENTAL E CAPACIDADE DE USO DA TERRA.....	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1	MATERIAIS	35
3.2	MÉTODOS	36
3.2.1	O Nível compilatório	37
3.2.1.1	Aspectos demográficos e econômicos	38
3.2.1.2	Aspectos físicos.....	38
3.2.1.2.1	<i>Localização</i>	38
3.2.1.2.2	<i>Geologia</i>	38
3.2.1.2.3	<i>Clima</i>	39
3.2.1.2.4	<i>Vegetação</i>	39
3.2.1.2.5	<i>Geomorfologia</i>	39
3.2.1.2.6	<i>Hidrografia</i>	40
3.2.1.2.7	<i>Hipsometria e topografia</i>	40
3.2.1.2.8	<i>Declividade</i>	41
3.2.1.2.9	<i>Orientação das vertentes</i>	41
3.2.1.2.10	<i>Solos</i>	41
3.2.2	O Nível correlatório	45
3.2.3	O Nível Semântico	45
3.2.3.1	Fragilidade Ambiental.....	45

3.2.3.2	Capacidade de uso da terra	62
3.2.3.3	Mapeamento dos geossistemas	66
3.2.4	O Nível normativo.....	67
4	RESULTADOS E DISCUSSOES.....	68
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	68
4.1.1	Localização	68
4.1.2	O município de Caldas	69
4.1.3	Aspectos demográficos e econômicos	71
4.1.4	Aspectos físicos	72
4.1.4.1	Geologia	72
4.1.4.2	Solos	76
4.1.4.3	Clima	78
4.1.4.4	Vegetação	78
4.1.4.5	Hipsometria, declividade e orientação das vertentes	80
4.1.4.6	Geomorfologia	84
4.1.4.7	Hidrografia	88
4.2	FRAGILIDADE AMBIENTAL	89
4.2.1	Fragilidade Ambiental Potencial	89
4.2.2	Fragilidade Ambiental Emergente.....	92
4.2.3	Uso da terra e impactos	95
4.3	CAPACIDADE DE USO DA TERRA	101
4.3.1	Classes de capacidade do uso da terra	101
4.3.2	Classes de capacidade do uso atual da terra	103
4.3.3	Uso excedente da terra	105
4.3.4	Uso atual da terra em cada classe de capacidade de uso	107
4.4	GEOSSISTEMAS DO MUNICÍPIO DE CALDAS.....	108

4.4.1	Geossistemas do Complexo Alcalino do Planalto de Poços de Caldas.....	110
4.4.1.1	Cristas sieníticas	110
4.4.1.2	Cristas fonolíticas	112
4.4.1.3	Morros intermontanos.....	113
4.4.1.4	Planaltos.....	114
4.4.1.5	Planícies e Terraços.....	116
4.4.2	Geossistemas do Planalto de São Pedro de Caldas	117
4.4.2.1	Cristas graníticas.....	117
4.4.2.2	Morrarias altimontanas	118
4.4.2.3	Morros alongados.....	119
4.4.2.4	Morros e morrotes	120
4.4.2.5	Morros e colinas	121
4.4.2.6	Pontões	122
4.4.2.7	Vales estruturais.....	123
4.4.2.8	Planícies e terraços	124
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
	REFERÊNCIAS.....	130
	APÊNDICES.....	136

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Conforme as reflexões apresentadas por Tricart (1977), a forma como o ser humano reproduz sua vida é notadamente um paradigma entre o atendimento de sua necessidade política, econômica, social e o respeito a espectros de cunho ambiental. Por vezes, tal reprodução não é precedida do devido conhecimento acerca das consequências de suas ações ou mesmo de um planejamento adequado que permita evitar a produção de fragilidades ou mesmo mitigá-las.

Tricart (1977) considera que o avanço do desequilíbrio ambiental é constante e suas proporções são, em grande parte, ignoradas diante a pressões socioeconômicas, seja pela ilusória impressão de crescimento econômico amparado na extração desenfreada de recursos, seja pela condição da falta de um melhor conhecimento científico das relações com o meio que sustente o devido planejamento responsável e consciente.

Sendo assim, a avaliação do meio físico-natural para fins de otimização dos diferentes tipos de usos aos quais está sujeito é uma necessidade inerente a qualquer estudo que almeje o planejamento do território. Tal investigação deve englobar um inventário geral sobre as características da área a ser estudada, suas fragilidades potenciais e emergentes, a capacidade de sustentação de diferentes tipos de usos e orientações/considerações voltadas a minimizar ou evitar impactos ambientais advindos dessa relação, não raro conflituosa, entre a sociedade e a natureza.

Dentre as áreas científicas entretidas com estudos com esse caráter, a Geografia se destaca por conter preceitos teórico-metodológicos que oferecem embasamento sólido para o pensar espacial, onde a superfície do planeta é o palco da atuação integrada de sistemas representantes dos meios biótico e abiótico, resultando em mosaicos de paisagens configurados das mais diversas formas a partir dessa integração, dada por fluxos de matéria e energia.

A preocupação científica acerca do estudo das paisagens procura descortinar e elucidar os fenômenos e processos entretidos, principalmente, no seu dinamismo, produzindo os saberes a respeito das áreas estudadas de forma integrada e sistêmica, logo, contribuindo e subsidiando a elaboração de planos ambientais que visem o equilíbrio entre o potencial de uso inerente e o uso efetivo dado a elas.

Nesse sentido, a Geografia desempenha um papel fundamental ao oferecer ferramentas e abordagens metodológicas adequadas à compreensão da dinâmica dos sistemas naturais em interação com as atividades humanas. Ao considerar a capacidade de resiliência do meio ambiente e os limiares que podem afetar seu funcionamento, busca não apenas analisar as paisagens existentes, mas também fornecer subsídios para um plano de uso dos terrenos a elas correlatos.

De acordo com De Carlo (2006), parte considerável dos municípios brasileiros são carentes de um planejamento territorial adequado, tendo sua espacialização territorial pautada em necessidades exclusivamente econômicas, desconsiderando impactos ambientais e sociais que podem, inclusive, evoluir a quadros avançados de degradação não reversíveis ou de difícil reparação.

Sob esse aspecto, pode-se considerar que o estudo aqui desenvolvido, justifica-se diante da necessidade dos municípios em planejar seus territórios a partir de diagnósticos e prognósticos embasados pela pesquisa científica e orientados pela adoção de metodologias integradoras que consigam identificar quais são os principais sistemas físico-naturais que, em contato com o uso antrópico, exibem a dinâmica das paisagens a partir dos processos advindos das relações, quase sempre conflituosas, entre a sociedade e a natureza.

Dentre estes tantos municípios, carentes de um planejamento territorial que vislumbre o “equilíbrio” na relação “sociedade x natureza”, figura-se Caldas. Posicionado no sul do estado de Minas Gerais, é apresentado aqui como o recorte em área para estudo geossistêmico voltado à análise e planejamento dos mosaicos de paisagem inseridos em seu território.

Sustentado por uma topografia caracterizada por relevo montanhoso e “movimentado” e com grande vigor cinético, atreladas ao estudo, comprovam-se justificativas específicas definidas pela presença, na área territorial do município de: altos declives e amplitudes altimétricas geradores de fragilidade potencial; de enclaves de vegetação herbácea-arbustiva representados por campos nativos; de aptidões e restrições aos diversos tipos de usos em ambientes montanhosos; e de possíveis elementos de geodiversidade e geopatrimônio, entre outras.

Nesse âmbito, cabe ainda destacar que o desenvolvimento do estudo justificou-se também pelo fato do município ser detentor de áreas de preservação ambiental como as Reservas Particulares do Patrimônio Natural da Mata Atlântica (RPPN) da Pedra Branca, que na atualidade “abriga” uma mineradora de extração de rochas

ornamentais junto às suas imediações e a Reserva do Morro Grande, abrigo do assentamento da comunidade indígena, a Xucuru Kariri, além de uma unidade das Indústrias Nucleares do Brasil – INB, em cuja área encontram-se depositados rejeitos da atividade mineradora de urânio.

Estas são fragilidades que têm recebido alguma atenção, no entanto, as problemáticas que se apresentam indagam se: 1) O panorama geoambiental do município de Caldas - MG está ajustado aos potenciais de uso que paisagem oferta? 2) Há incongruências ambientais presentes, relacionadas ao uso indevido ou excedente da terra no município?

A hipótese aqui assumida é de que relevos montanhosos são altamente frágeis e têm características específicas que exigem um manejo cuidadoso, o que motiva a elaboração de um plano de uso sistemático baseado no reconhecimento das características ambientais da área (diagnóstico) e em orientações para adequar os usos da terra (prognóstico).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo geral identificar, interpretar, classificar, mapear e caracterizar as unidades de paisagem dos geossistemas no município de Caldas - MG com vistas ao planejamento territorial do município de Caldas-MG em nível de classes de fácies/Topogeócoro.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- a) realizar um diagnóstico ambiental do município com base na caracterização dos principais elementos físico-naturais e socioeconômicos e a relação entre eles, embasados pela produção de uma coleção de mapas temáticos;
- b) estruturar a interpretação integrada entre compartimentos geomorfológicos;
- c) analisar a capacidade de uso da terra;

- d) aplicar a proposta metodológica de Sochava (1971, 1977, 1978) para mapeamento dos geossistemas em consonância com as conexões de âmbito socioeconômico apontado por Christofolletti (1999);
- e) analisar as fragilidades do terreno como subsídio à interpretação da dinâmica dos geossistemas;
- f) classificar os geossistemas a partir de suas integridades homogêneas dos tipos de paisagens (geômeros) e heterogêneas dos indivíduos geográficos (geócoros);
- g) apresentar um quadro síntese contendo a relação das unidades geossistêmicas analisadas e o diagnóstico e o prognóstico ambiental a elas correlatos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Christofolletti (1983), o geossistema abrange a descrição dos sistemas ecológicos naturais, que são o cerne dos estudos da Geografia Física. Esta ciência procura desvendar a organização espacial desses geossistemas, a fim de compreender a interação entre a sociedade e o meio ambiente. Dada a complexidade dessas relações, a pesquisa em ciência geográfica se concentra na análise de categorias como Espaço geográfico, Região, Paisagem, Lugar e Território. Nesse contexto e com esses propósitos, este estudo enfatiza a categoria da análise da Paisagem.

2.1 A TEORIA GEOSSISTÊMICA

O estudo da paisagem, dentro da geografia e de outras ciências, passou por várias mudanças conceituais ao longo dos séculos. A compreensão de paisagem se expandiu significativamente desde a sua concepção inicial como um mero conjunto de formas físicas até a sua atual definição como um sistema integrado de elementos naturais e humanos em interação. Neste contexto, as contribuições de vários pesquisadores ao longo do tempo foram fundamentais para a evolução deste conceito.

Segundo Passos (1996), foi no século XIX que o termo paisagem ganhou destaque nos estudos geográficos na Alemanha, sob a denominação de "Landschaft". Inicialmente, a paisagem era concebida como um conjunto de formas que caracterizavam um setor específico da superfície terrestre, permitindo a distinção de heterogeneidades e homogeneidades e a análise de elementos quanto a formas e magnitudes.

Passos (1996) destaca que a concepção de paisagem se ampliou através de sua própria análise, levando a reflexões cada vez mais profundas sobre a estrutura e organização da superfície terrestre.

Conforme apontam Rodriguez e Silva (2002), vários pesquisadores trouxeram importantes contribuições científicas ao dedicarem-se aos estudos da paisagem, almejando um entendimento totalizador das interações entre sociedade e natureza. Exemplificando, temos os precursores naturalistas, como o alemão Alexander Von Humboldt (1769 - 1859), desenvolvendo a noção de paisagem com termo *Landschaft*, seguido pelo russo Vasily Dokuchaev (1846 - 1903), assim como por Siegfried

Passarge (1867 - 1958) e Lev Semionovich Berg (1876 - 1950), os quais primaram por estudos no âmbito da totalidade funcional amparada nessas interações. Tais ideias perpassam pelos pensamentos de Karl Ritter (1779 - 1859) e também pelo raciocínio de outros pensadores que salientaram a ideia da interação dos elementos naturais.

A concepção da interação entre todos os componentes naturais e um dado espaço físico como conceito integrador expressava a nova visão da Geografia Física, avançando para uma concepção sobre a paisagem como uma totalidade dialética de base natural, sendo desenvolvida na ex-União Soviética impulsionada pelas necessidades do planejamento estatal. (Rodriguez; Silva, 2002).

Ainda segundo Rodriguez e Silva (2002), o avanço epistemológico foi fortalecido a partir da concepção da “Teoria Geral dos Sistemas”, uma outra visão oriunda da Biologia, apresentada em 1937 por Ludwig Von Bertalanffy pautado nos estudos do funcionamento de sistemas ecológicos, com princípios relacionais do meio ambiente e organismos bem como seus fluxos de energia e matéria.

Neste contexto, a escola russo-soviética, a partir do que é proposto por Sochava na década de 1960, compila uma visão de análise sistêmica e integradora da paisagem,

[...] Ele interpretou essa herança sob uma visão da Teoria Geral de Sistemas. Isso significava que o conceito de *Landschaft* (paisagem natural) foi considerado como sinônimo da noção de geossistema. Assim, a paisagem era considerada como uma formação sistêmica, formada por cinco atributos sistêmicos fundamentais: estrutura, funcionamento, dinâmica, evolução e informação. Pela primeira vez, a análise espacial (própria da Geografia Física) articulava-se com a análise funcional (próprio da Ecológica Biológica). (Rodrigues, J.M.M.; Silva, E.V, 2002, p. 96).

Sochava (1971) amparou-se na ideia de que os princípios conceituais de Dokuchayev para o estudo do ambiente natural poderiam ser aplicáveis à Geografia da paisagem considerando que estudos nesse sentido contribuiriam para a origem de uma nova área de pesquisa denominada por Troll na década de 1930 de *Ecologia da paisagem*.

Sochava (1971) explica que buscou com esta junção de abordagens da Geografia e da Ecologia, justamente, dar atenção ao ambiente geográfico como hierarquia em um tipo particular de sistemas, os geossistemas, considerando que o

geossistema como conceito, por ser dotado de profundas relações com a ciência das paisagens, é o que converge os interesses de ambas as ciências.

Sochava (1971, 1977, 1978) define o geossistema como um sistema de formação natural existente na esfera geográfica (Yefremov, 1964), inerente aos sistemas abertos, cujo desenvolvimento está atrelado aos fluxos de energia e matéria que atuam em seus componentes.

Importante salientar que embora os geossistemas sejam formações naturais, estão expostos às interferências ocasionadas por fatores socioeconômicos e os efeitos destes sobre a dinâmica e fluxos devem ser levados em consideração quando de seus estudos. (Sochava, 1977, p. 6).

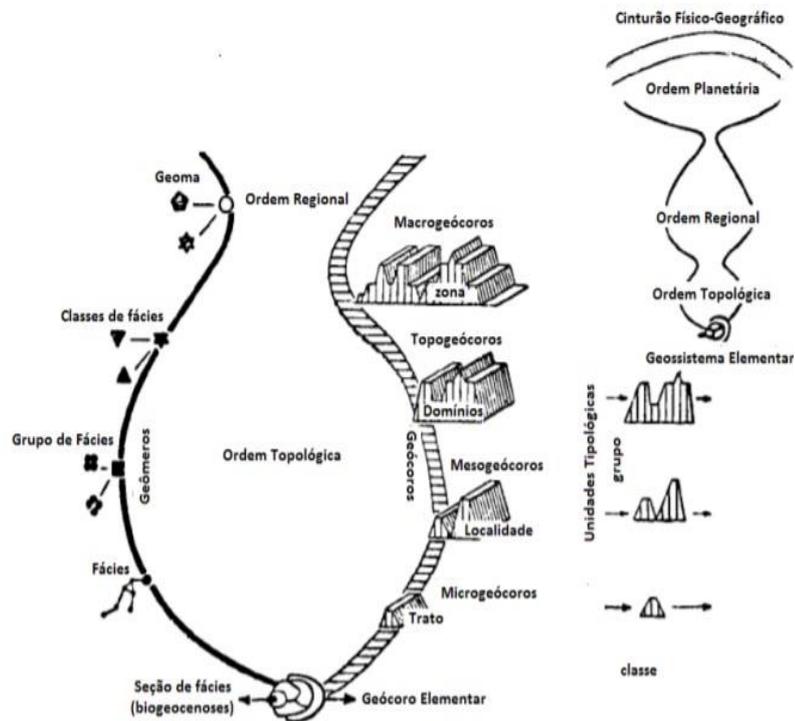
Amparado nestes fundamentos, Sochava (1971, 1977, 1978) apresenta os pressupostos da abordagem geossistêmica, propondo o estudo das conexões entre componentes alinhados ao encontro da compreensão de sua dinâmica, da estrutura funcional entre outros aspectos e de forma não isolada, logo, dotada de uma análise macrossistêmica associada ao planejamento racional do uso de recursos e ocupação do território.

Os princípios conceituais desta forma de análise englobam a atenção sobre a circulação dos fluxos energéticos e de materiais que ocorrem no meio geográfico e que por sua vez, através de dinâmicas específicas, moldam na organização espacial manifestações na paisagem. Portanto, ao se tratar de um estudo integrado da paisagem o conceito de geossistemas em muito agrega como abordagem sistêmica para a Geografia no estudo das relações do ser humano e a natureza. (Sochava, 1977, p. 2).

Para Sochava (1971, 1977, 1978), as relações entre componentes naturais do meio físico a exemplo da topografia, o clima, os solos, a vegetação e a hidrografia, com ou sem interferências determinadas por fatores antrópicos, se manifestam em conexões cuja organização espacial se dá em níveis hierárquicos, primeiramente em divisões escalares que englobam o planetário, o regional e o topológico.

Visando esclarecer as grandezas escalares de sua proposta, Sochava (1971) ilustrou sua classificação conforme podemos observar na Figura 1.

Figura 1 - Ordens dos geossistemas e subdivisões topológicas da paisagem.



Fonte: Sochava (1971).

Sochava (1971) classifica as ordens de grandeza escalar em uma divisão bilateral: a ordem dos *Geômeros*, cujas características estruturais são homogêneas, dividindo os níveis do meio natural em subdivisões de geomias (nível superior) e de seção de fácies (nível local); e a ordem dos *Geócoros*, com características estruturais heterogêneas, abrangendo os níveis do cinturão físico-geográfico das escalas Planetária à Topológica. Essa última ordem hierarquiza-se em Macrogeócoros, Topogeócoros, Mesogeócoros, Microgeócoros e geócoros elementares, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Quadro geral da classificação bilateral proposto por Sochava (1971).

FILEIRA DOS GEÔMEROS	ORDEM DIMENSIONAL	FILEIRA DOS GEÓCOROS	
Perspectiva dos tipos do meio natural (perspective dos tipos "landshafts")	PLANETÁRIO	Zona físico-geográfica	
Tipos do meio natural (tipos de landshafts)		Grupo de regiões físico-geográficas	
		Subcontinentes	
Classe de geomas	REGIONAL	Regiões físico-geográficas	
Subclasse dos geomas		Com latitudes zonais	Com zoneamento vertical
Grupo dos geomas		Subzona natural	Província
Subgrupo dos geomas		Província	
Geoma		Distrito (orkrug) (macrogeócoro)	
Classe de fácies	TOPOLÓGICO	Topogeócoro (zonas)	
Grupo de Fácies		Mesogeócoro (zonas)	
Fácies		Microgeócoro (grupos determinados)	
Áreas homogêneas elementares (biogeocenose)		Áreas diversificadas elementares	

Fonte: Sochava (1978).

Importante ressaltar que Sochava (1971) considera os geossistemas como conjuntos de elementos naturais que são inter-relacionados e ao mesmo tempo, em certos limites, autônomos. Portanto, não se tratando de um agrupamento simplesmente, as unidades de geômeros que compõem mosaicos na superfície e de geócoros compostos no nível elementar pelas diferenciações, variam requisitos em seu reconhecimento conforme a grandeza escalar, como pode-se observar no apontamento feito por Oliveira (2013),

É preciso ressaltar que um geócoro, não se “cria” simplesmente pela união de geômeros. Ao que parece, na medida em que a escala de abordagem sobe hierarquicamente na ordem apresentada por Sochava (1971,1978), outros elementos passam a ser considerados como requisitos para o reconhecimento de unidades geocóricas, dando a entender que, entre um geômero e outro pode haver uma região de interdígito, reconhecida pela presença de estruturas reliquiares ou dinâmicas, que coexistem e são mapeáveis, mas pertencentes a geômeros diferenciados. (Oliveira, 2013, p. 48).

Sochava (1971) afirma que identificar os geossistemas, com a devida consideração pelo seu conteúdo ecológico, buscando-se a compreensão acerca de invariantes (potencial básico) e variáveis (derivações), é essencial para o conhecimento de suas estruturas, para relacionar estados variáveis de uma paisagem, para estabelecer o mecanismo de interação entre seus componentes, bem como é também essencial quando se trata do planejamento que considere a conservação, a renovação de recursos e o uso otimizado da superfície terrestre. Geômeros e geócoros, portanto, representam ordens definidas que podem ser usados para analisar o potencial da paisagem. (Sochava, 1971, p. 281 – 282).

Uma das possibilidades apontadas por Sochava (1977) diz respeito à flexibilidade das concepções científicas como característica de sua viabilidade. Nesse sentido, observa-se uma proposta de adaptação para que a abordagem sistêmica integrada possa ser melhor aplicada em estudos que versem variações escalares conforme objetivos específicos.

Marques Neto, Perez Filho e Oliveira (2014), após observações em Sochava (1977, 1978) comunicam que a manifestação da paisagem é melhor compreendida na transição entre as ordens dimensionais topológica e regional, sendo o macrogeócoro o nível de análise mais adequado para a visualização da paisagem e suas complexidades. Em observações a Demek (1978), Marques Neto, Perez Filho e Oliveira (2014) indicam os geomos como as diferenciações territoriais no âmbito das paisagens desdobrando-se em zonas, geossistemas e geócoros, respectivamente, e propõem uma adaptação desta concepção para a aplicação em território brasileiro no âmbito da escala regional,

A classificação tipológica e a representação cartográfica dos geossistemas discernidos foram ações que se deram mediante a seleção dos seguintes descritores fundamentais: (1) tipo de relevo; (2) vegetação; (3) tipo de solo e textura predominantes; (4) uso e ocupação da terra. Nesse aspecto em específico, procedeu-se de forma similar a Cavalcanti *et al.* (2010), propondo-se as adaptações necessárias para

a confecção do mapa em consonância aos atributos humanos e naturais da área de estudo e aos materiais disponíveis e procedimentos adotados. (Marques Neto; Perez Filho; Oliveira, 2014, p. 323).

Assim, Marques Neto, Perez Filho e Oliveira (2014) afirmam que a escala de análise de 1:250.000 é mais adequada para interpretar a paisagem em seus aspectos evolutivos, enquanto escalas maiores são mais apropriadas para analisar suas dinâmicas. Os autores versam ainda que as adaptações realizadas se mostraram perfeitamente exequíveis e alinhadas aos princípios fundamentais da abordagem geossistêmica original, sugerindo sua aplicação em regiões com terrenos cristalinos, a exemplo do sudeste do Brasil.

Na França, Bertrand (1968, 1972, 2004) também se ocupou dos estudos da paisagem e veio a apresentar uma proposta de abordagem geossistêmica para análise da paisagem.

Bertrand (1968, p. 249) salienta que a paisagem para além do natural é um total que integra todas as implicações da ação antrópica.

Amparado em uma definição de paisagem que se apresenta em função de escalas variadas, Bertrand (1968) propõe a apreensão, ou síntese da paisagem, a partir de uma delimitação das discontinuidades objetivas, de forma que se identifique composições de unidades elementares, sendo classificada sua taxonomia em ordens escalares na perspectiva do tempo e espaço.

O sistema taxonômico elaborado por Bertrand (1968) compõe-se de unidades superiores que comportam elementos climáticos e estruturais e, unidades inferiores que comportam elementos biogeográficos e antrópicos como pode-se observar na Figura 2.

Figura 2 - Sistema taxonômico proposto por Bertrand (1968).

UNIDADES DA PAISAGEM	ESCALA TEMPORO-ESPACIAL (A. CAILEUX J. TRICART)	EXEMPLO TOMADO NUMA MESMA SÉRIE DE PAISAGEM	UNIDADES ELEMENTARES				
			RELEVO (1)	CLIMA (2)	BOTÂNICA	BIOGEOGRAFIA	UNIDADE TRABALHADA PELO HOMEM (3)
ZONA	G I grandeza G. I	Temperada		Zonal		Bioma	Zona
DOMÍNIO	G. II	Cantábrico	Domínio estrutural	Regional			Domínio Região
REGIÃO NATURAL	G. III-IV	Picos da Europa	Região estrutural		Andar Série		Quarteirão rural ou urbano
GEOSSISTEMA	G. IV-V	Atlântico Montanhês (calcário sombreado com faixa higrófila a <i>Asperula odorata</i> em "terra fusca")	Unidade estrutural	local		Zona equipotencial	
GEOFÁCIES	G. VI	Prado de ceifa com <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> em solo lixiviado hidromórfico formado em depósito morainico			Estádio Agrupamento		Exploração ou quarteirão parcelado (pequena ilha ou cidade)
GEÓTOPO	G. VII	"Lapiés" de dissolução com <i>Aspidium lonchitis</i> em microsolo úmido carbonatado em bolsas		Microclima		Biótopo Biocenose	Parcela (casa em cidade)

Fonte: Bertrand (1968).

Totalizando seis níveis ou ordens de grandeza, o sistema de classificação apresentado por Bertrand (1968) é definido por três unidades superiores, a zona, o domínio e a região e, três unidades inferiores que correspondem ao geossistema, ao geofácies e ao geótopo.

O geossistema para Bertrand (1968, 1972, 2004) é justamente uma unidade determinada espacialmente e encontrada entre a 4^a e a 5^a ordem de grandeza,

O geossistema [SIC] situa-se entre a 4^a e a 5^a grandeza temporo-espacial. Trata-se, portanto, de uma unidade dimensional compreendida entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados. (Bertrand, 1972, p. 6).

Bertrand (1972) limita a unidade espacial correspondente ao geossistema atrelando-o a um nível taxonômico cuja ênfase é dada em função de escalas temporal e espacial, portanto, resultado ao longo do tempo entre interações entre o potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica.

Para Bertrand (1968, 1972, 2004), uma dinâmica comum se faz presente aos elementos que constituem a paisagem, no entanto cada elemento pode ter uma dinâmica específica de evolução quando tratados isoladamente em cada nível taxonômico.

Inspirado pela teoria dos “sistemas de erosão” apresentada por Cholley no ano de 1951 e, em atenção à busca pelos mecanismos gerais da paisagem e compreensão evolutiva da mesma, Bertrand (1968, 1972, 2004) propõe a aplicação de um “sistema geral de evolução” da paisagem. A aplicação do sistema segmenta-se em três conjuntos, o *geomorfogenético*, a *dinâmica biológica* e a *exploração antrópica*, considerando para análise todas as formas de energia e suas reações dialéticas inerentes a uma unidade de paisagem que venham a determinar sua evolução.

Amparado na teoria de bioresistasia de Henri Erhart apresentada em 1966 e pelo sistema taxonômico de Tricart (1965), Bertrand (1968, 1972, 2004) propõe uma classificação tipológica do geossistema a partir de sua evolução em que são considerados três elementos, o sistema evolutivo, o estágio de evolução e o sentido dinâmico entre progressivo, regressivo ou estável.

Bertrand (1968, 1972, 2004) fez distinção de seis tipos de geossistemas e os agrupou em dois grupos, sendo o primeiro o dos *geossistemas em biostasia* composto de quatro tipos de geossistemas e, o segundo o dos *geossistemas em resistasia* composto por dois tipos de geossistemas.

Uma vez dada a atenção à síntese, dinâmica e tipologia da paisagem, Bertrand (1968, 1972, 2004) fez considerações quanto a cartografia para análise dos geossistemas, recomendando a organização de inventário acerca das informações e seu tratamento a ser realizado no âmbito de escalas médias entre 1:100.000 e 1:200.000, que segundo o autor, permite uma melhor representação cartográfica dos geossistemas.

Beroutchachvili e Bertrand (1978) reconsideraram em suas reflexões a abordagem geossistêmica amparada nas relações manifestadas em estruturas espaciais verticais e horizontais, apontando como coerente ser realizada desta forma, o que se aproxima do que é posto por Sochava.

Beroutchachvili e Bertrand (1978) fazem outras considerações, como apontar a composição do geossistema dada pelos elementos bióticos, abióticos e antrópicos cuja interação relacional e evolução manifestam-se no âmbito morfológico, dinâmico e na exploração biológica. Os autores pautam a estrutura vertical dos geossistemas em geohorizontes, por sua vez, caracterizados pela distribuição da fisionomia, massas e energia e, sua estrutura horizontal na composição dos mosaicos de geofácies que correspondem às interações dos geohorizontes a um dado momento.

É importante destacar que a abordagem geossistêmica proposta por Bertrand (1968,1978), embora contenha pressupostos aproximados à proposta apresentada por Sochava (1971, 1977, 1978), não é similar à esta.

Em princípio Sochava (1971, 1977, 1978), define o geossistema como resultado de uma formação natural na esfera geográfica atrelado aos fluxos de energia e matéria que atuam em seus componentes expostos às interferências antrópicas, definido em função de sua dinâmica. Bertrand (1968,1978) conceitua algo distinto de Sochava, faz referência à manifestação de um sistema natural, homogêneo, estável e atrelado a uma porção específica do território sendo, portanto, uma unidade da paisagem definida em função de sua escala.

Sochava (1971, 1977, 1978) compreende o geossistema como uma manifestação natural flexibilizada entre a menor e a maior dimensão da superfície terrestre, Bertrand (1968), por sua vez, afirma o geossistema como uma manifestação limitada a uma das escalas temporo-espaciais que pode ter *“alguns quilômetros quadrados a algumas centenas de quilômetros quadrados”* (Bertrand, 1968). Esta proposição é revista por Beroutchachvili e Bertrand (1978) passando a adotar o termo *geocomplexo* em substituição à unidade taxonômica, ampliando sua abrangência para níveis local, regional e global, concebendo o geossistema como entidade natural que sofre impactos da ação antrópica, aproximando-se assim do que é posto por Sochava.

Apesar da abordagem geossistêmica ter como principais expoentes Sochava (1971, 1977, 1978) e Bertrand (1968, 1972), no que diz respeito às abordagens integradas, não se limitou a estes apenas e outros pesquisadores cujas contribuições se fazem importantes, são destaque.

Ab'Sáber (1967) ao propor sua teoria a respeito dos “domínios morfoclimáticos” lançou mão da análise integrada como recurso metodológico, bem como em estudos posteriores ao tratar da compartimentação, estrutura superficial e fisiologia da paisagem. (Monteiro, 2001, p. 27).

Tricart (1977) teceu proposições a respeito da paisagem analisando fluxos de energia, integração dos fatores e características e intensidade de processos morfogenéticos.

Christofolletti (1980,1999) amparou-se na abordagem de análise integrada ao realizar os estudos dos sistemas geomorfológicos para compreensão das formas do relevo, considerando a integração de matéria, energia e estrutura, com especial atenção na análise de tamanho, correlação e causalidade dos sistemas geológico,

climático, biogeográfico e antrópico, considerando estes como controladores de atuação recíproca ao sistema geomorfológico.

Ross (1994) faz importantes considerações quanto a importância de se elencar a Fragilidade Ambiental nas análises integradas do ambiente natural para obtenção de sua dinâmica funcional.

O Professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro teve relevante papel na introdução da abordagem geossistêmica no Brasil, teve contato com Victor Sochava, mediu publicações do autor e dedicou boa parte de seus estudos ao aperfeiçoamento de modelizações amparadas na abordagem geossistêmica. Monteiro (2001) apresentou importante obra com foco no aperfeiçoamento do planejamento territorial subsidiado pelo estudo das paisagens.

Outros trabalhos de pesquisadores brasileiros também podem ser elencados como o mapeamento dos geossistemas em São Paulo realizado por Helmut Troppmair (2000) que também desenvolveu outros estudos relacionados à abordagem geossistêmica; os trabalhos de Marques Neto (2008, 2012, 2022) que apresentam considerações a respeito do uso da paisagem como recurso metodológico à Geografia Física; o trabalho realizado por Oliveira (2013) acerca da dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do rio Lourenço Velho, no Sul de Minas Gerais; o estudo realizado por Marques Neto, Perez Filho e Oliveira (2014) propondo adaptações na escala de análise para o mapeamento de sistemas ambientais físicos em escala regional; os estudos de Cavalcanti *et al.* (2010) a respeito de técnicas de campo para mapeamento de geossistemas e Cavalcanti (2017) sobre os geossistemas de Curaçá, Bahia, entre outros.

É importante salientar nesse contexto, o trabalho de Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), apresentado com a publicação da obra “Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental” em que tratam com robustez fundamentos teóricos, metodológicos, conceitos e a análise da paisagem sob os pressupostos geossistêmicos. Soma-se a este rol de publicações, a recente publicação de Marques Neto (2022) intitulada “Paisagem e geossistemas: bases teórico-metodológicas da Geografia Física aplicada” onde aborda a base teórica, conceitos e métodos no cerne da matriz epistemológica russo-soviética discutindo também a importância de sua aplicação.

O referencial apresentado contextualiza a abordagem geossistêmica na qual ampara-se este trabalho com o intuito de aplicar seus pressupostos, em específico,

elencou-se a abordagem proposta por Sochava (1971, 1977, 1978), cuja ênfase se dá pela apreensão dos geossistemas amparada a partir da dinâmica funcional entre seus componentes e pela flexibilidade escalar de sua manifestação, o que em nossa compreensão, atende as necessidades e características que se pressupõe para a realização deste estudo.

2.2 FRAGILIDADE AMBIENTAL E CAPACIDADE DE USO DA TERRA

Conforme apontado por Sochava (1971, 1977, 1978), a abordagem geossistêmica direciona-se ao subsídio do planejamento racional da utilização de recursos e ocupação territorial. Nesse sentido, informações sobre a fragilidade ambiental e da capacidade de uso da terra contribuem para uma compreensão mais abrangente sobre as dinâmicas existentes nos geossistemas estudados.

As metodologias para a análise da fragilidade ambiental propostas por Ross (1994) e por Crepani *et al.* (2001) permitem, inclusive a partir de algumas adaptações, a expressão de um maior detalhamento da realidade ambiental do município.

Ross (1994) pautou o desenvolvimento de sua proposta considerando a necessidade do conhecimento das características e da dinâmica do ambiente natural e do meio socioeconômico. Elaborou a metodologia considerando a funcionalidade, as alterações ocasionadas pelas práticas antrópicas, bem como o fluxo energético que flui pelo ambiente natural, culminando, portanto, em uma proposta de estudo integrado para levantamento das fragilidades ambientais.

Ross (1994) pondera ainda que sua proposta acerca das fragilidades do ambiente é amparada no conceito de Unidades Ecodinâmicas formulada por Tricart (1977), uma abordagem sistêmica que leva em consideração a energia e matéria quanto aos seus fluxos e trocas nas relações de equilíbrio ou desequilíbrio dinâmico, conformando-se como Unidades Ecodinâmicas Estáveis que é referenciada pelo autor como Instabilidade Potencial e Unidades Ecodinâmicas Instáveis sendo referenciada como Instabilidade Emergente.

Segundo Ross (1994; 2006), os procedimentos para a análise da fragilidade ambiental englobam o levantamento de dados e produção de produtos cartográficos intermediários de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia, uso da terra e vegetação pautados em critérios de classificação que deverão ser analisados e integrados para a geração da carta de fragilidades.

Para a análise da fragilidade em escalas médias e pequenas entre 1:50.000 e 1:250.000, Ross (1994) propõe como base de informações a utilização das cartas temáticas de Índice de Dissecação do Relevo – IDR (Geomorfologia), Geologia, Solos, Clima, Uso da terra e Cobertura vegetal, já tratadas e reclassificadas individualmente em cinco categorias hierárquicas que variam entre “Muito Fraca” à “Muito Forte” e, a integração destas cartas (Planos de Informação) a partir do cruzamento dos dados resultando em uma carta síntese da fragilidade ou através de uma associação numérica resultando nas cartas de fragilidade potencial e fragilidade emergente.

Uma metodologia amplamente utilizada para o estudo da capacidade de uso da terra é a elaborada por Lepsch *et al.* (1991).

A proposta de Lepsch *et al.* (1991) para avaliar a capacidade de uso da terra considera diferentes componentes e interações presentes no contexto geográfico e trata-se, conforme apontado pelo autor, de uma adaptação metodológica de uma abordagem sistêmica e integrada desenvolvida a princípio no Estados Unidos da América por Klingebiel & Montgomery em 1961.

Segundo Lepsch *et al.* (1991), a determinação da capacidade de uso da terra é uma abordagem sistemática que busca avaliar e classificar as terras com base em suas características físicas, socioeconômicas e ambientais subsidiando o planejamento e manejo adequado do solo, principalmente aquele direcionado às práticas agrícolas levando em consideração suas potencialidades e limitações.

A análise da fragilidade ambiental e da capacidade de uso da terra associada à abordagem geossistêmica contribui significativamente para o planejamento e a gestão adequada dos recursos naturais.

A abordagem de Ross (1994) para a análise da fragilidade ambiental, baseada em unidades ecodinâmicas e na integração de diversas cartas temáticas, oferece uma estrutura sólida para a compreensão das dinâmicas ambientais e identificação de áreas suscetíveis a processos de degradação.

Por outro lado, a metodologia proposta por Lepsch *et al.* (1991) para avaliação da capacidade de uso da terra considera não apenas as características físicas do solo, mas também aspectos socioeconômicos e ambientais. Isso possibilita uma análise mais abrangente das terras, levando em conta não apenas sua aptidão agrícola, mas também sua importância para a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

Ao integrar essas duas abordagens, é possível identificar áreas onde a fragilidade ambiental é alta e a capacidade de uso da terra é significativa, indicando a necessidade de medidas de conservação e recuperação. Da mesma forma, áreas com baixa fragilidade ambiental e alta capacidade de uso da terra podem ser priorizadas para atividades econômicas sustentáveis, como agricultura ou turismo consciente.

A análise conjunta acerca das informações da fragilidade ambiental, da capacidade de uso da terra e dos geossistemas ampara significativamente o subsídio de informações relevantes ao planejamento territorial, conciliando desenvolvimento socioeconômico com a conservação ambiental, o que é fundamental para garantir um futuro sustentável para as gerações presentes e futuras.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo, um conjunto diverso de dados e métodos foram utilizados para investigar a área de estudo localizada no município de Caldas, Minas Gerais. O objetivo foi a realização um mapeamento abrangente dos geossistemas, considerando vários aspectos. Para isso, foram empregadas diferentes técnicas para a coleta, organização, tratamento, análise e interpretação de dados que envolvem os aspectos socioeconômicos e físicos, a fim de identificar padrões e relações entre os diferentes aspectos do ambiente estudado. Essas análises foram integradas e sintetizadas cartograficamente na escala 1:100.000.

3.1 MATERIAIS

A seguir são apresentados os materiais empregados para a análise da área de estudo, incluindo imagens SRTM, arquivos shapefile de temática diversa, imagens do satélite CBERS4A e folhas topográficas.

Imagens do tipo Shuttle Radar Topography Mission - SRTM acerca dos dados geomorfométricos foram utilizadas para a caracterização dos aspectos físicos da área de estudo. A fonte das imagens foi o banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, do qual se obteve o acesso ao Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado na plataforma Mapa índice TOPODATA - INPE da respectiva zona em que se localiza o município de Caldas (23k) correspondendo às folhas 21S465 e 22S465, com resolução espacial correspondente a 30x30 metros.

Arquivo do tipo *shapefile* acerca dos dados geológicos da área de estudo foi disponibilizado pelo Projeto Fronteiras de Minas Gerais (2015) através do Programa de mapeamento geológico do Estado De Minas Gerais - CODEMIG/UFMG (2015), correspondendo à articulação das folhas Caldas SF.23-V-D-IV, Poços de Caldas SF.23-V-C-VI e Ouro Fino SF.23-Y-B-I.

Arquivo do tipo *shapefile* dos dados que concernem aos tipos de solos da área de estudo que foi gratuitamente obtido a partir do Mapa de solos do Estado de Minas Gerais (2010) na escala de 1:650.000, estudo realizado e disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa através de seu Departamento de Solos, referentes a articulação da Folha 3.

Arquivo *shapefile* dos dados referentes aos solos da área em análise, obtido a partir do Mapa de solos do Brasil (2021) na escala de 1:250.000 gratuitamente disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Arquivo do tipo *shapefile* dos dados referentes à hidrografia da área de estudo sendo obtido a partir das bases de dados disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH.

Arquivo *shapefile* referente aos dados acerca da vegetação, extraído do Mapeamento de Recursos Naturais (2018) disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Arquivo de composição de imagens da câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) do satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres CBERS4A, bandas espectrais P: 0,45 - 0,90 μm (PAN), B1: 0,45 - 0,52 μm (B), B2: 0,52 - 0,59 μm (G), B3: 0,63 - 0,69 μm (R), B4: 0,77 - 0,89 μm (NIR), resolução espacial de 2x2 metros (PAN) e de 8X8 metros (B1, B2, B3, B4), que concernem aos dados necessários para o levantamento do uso e ocupação da terra e também da fragilidade ambiental, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Folhas topográficas na escala de 1:50.000 disponibilizadas pelo IBGE, especificamente as folhas Poços de Caldas SF-23-V-C-VI-4, Caldas SF-23-V-D-IV-3 e Santa Rita de Caldas SF-23-Y-B- I-1, sendo seus dados necessários para a caracterização da área de estudo.

A extração, articulação e processamento dos dados obtidos foram realizados com o auxílio do *software* gratuito Q-GIS 3.14 Pi.

3.2 MÉTODOS

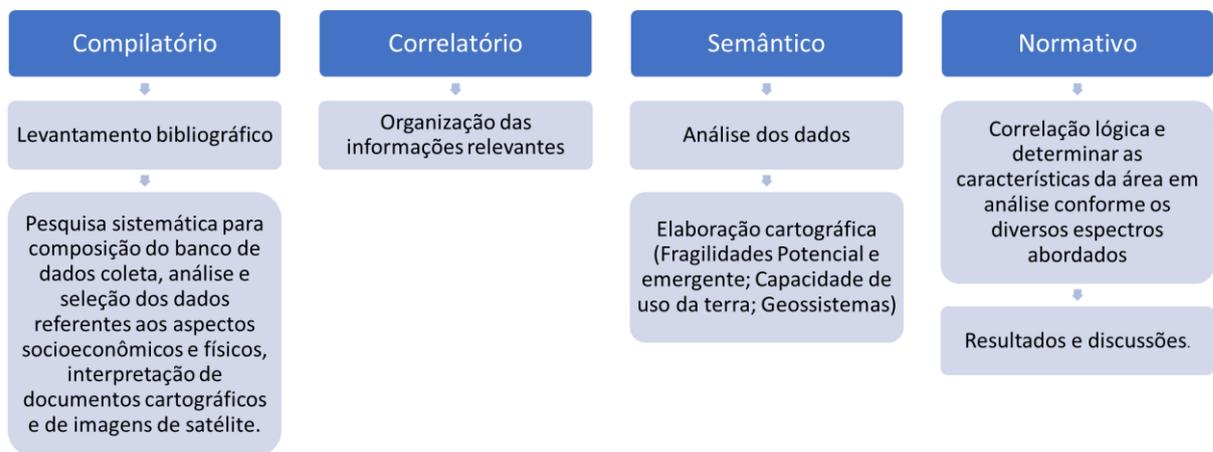
A metodologia empregada fundamenta-se na proposta de Sochava (1971,1977, 1978) para mapeamento dos geossistemas pautado na análise macro sistêmica associada ao planejamento racional do uso de recursos e ocupação do território, conforme suas conexões estabelecidas no âmbito socioeconômico (Christofolletti,1999). Considera que tais conexões se apresentam em níveis hierárquicos em escala local, regional e planetário com classificação amparada no princípio bilateral entre geômeros (estrutura homogênea) e geócoros (estrutura heterogênea), de acordo com os pressupostos apresentados por Sochava (1977, 1978),

Assim, para a realização desse estudo, utilizou-se da abordagem metodológica supracitada, balizada na escala regional, seguindo o fluxo de execução proposto por Libault (1971), referente aos quatro níveis da pesquisa em geografia, sendo eles: nível compilatório, nível correlatório, nível semântico e nível normativo.

A utilização desses parâmetros para organização e sistematização de atividades da pesquisa em Geografia Física pautada em análises integradas é recomendada por Oliveira e Riedel (2012), permitindo a organização em etapas que dinamizam, dão fluidez aos trabalhos e maior qualidade da informação no âmbito dos estudos ambientais, portanto sendo o mais adequado para a obtenção do conhecimento a ser adquirido nesse caso.

O fluxo geral de execução simplificado das atividades pode ser observado no fluxograma representado pela Figura 3 e, o Apêndice I apresenta o fluxograma completo das etapas do trabalho.

Figura 3 - Fluxograma simplificado da organização das atividades em etapas de trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

3.2.1 O Nível compilatório

No primeiro nível do fluxo de execução (Compilatório), o foco principal foi garantir uma abordagem diligente do tema, realizando um levantamento bibliográfico para obter conhecimento teórico relevante. Tal procedimento foi realizado por meio da pesquisa sistemática de artigos, publicações e bases cartográficas que abordassem o conteúdo necessário.

Assim, nesse nível foram coletados, analisados e selecionados os dados referentes a caracterização da área de estudo, incluindo informações a respeito dos aspectos demográficos, econômicos, aspectos físicos da geologia, pedologia, clima, vegetação, geomorfologia, hidrografia, hipsometria, topografia, declividade e orientação das vertentes, compondo o banco de dados utilizado no projeto e apresentados no tópico de caracterização da área de estudo. Também foi acoplado a esse nível os trabalhos de interpretação de documentos cartográficos e de imagens de satélite.

3.2.1.1 Aspectos demográficos e econômicos

As informações históricas da constituição do município foram obtidas a partir da Enciclopédia dos Municípios Brasileiros disponibilizada pelo IBGE (1958).

Os dados que concernem aos aspectos demográficos e econômicos municipais foram obtidos a partir da compilação da Enciclopédia dos Municípios Brasileiros – IBGE, do Censo Demográfico 2010 e dos estudos disponíveis no IBGE Cidades disponibilizados pelo IBGE (1958, 2010, 2022).

3.2.1.2 Aspectos físicos

3.2.1.2.1 Localização

O mapa de localização do município de Caldas foi elaborado a partir da compilação do *shapefile* da malha municipal de Minas Gerais extraído da base de dados disponibilizada pelo IBGE (2021), sendo adaptado ao recorte da área de estudo através do software Q-GIS.

3.2.1.2.2 Geologia

A cartografia de base geológica foi elaborada a partir da compilação do *shapefile* da estrutura litológica extraído da base de dados disponibilizada pelo Projeto Fronteiras de Minas - CODEMIG/UFMG (2015), sendo adaptado ao recorte da área de estudo através do software Q-GIS.

3.2.1.2.3 *Clima*

As informações referentes à caracterização do clima foram obtidas a partir da produção textual de autores que discutiram as características climáticas da área em que se encontra o município de Caldas.

3.2.1.2.4 *Vegetação*

As informações que concernem à vegetação nativa foram obtidas através do tratamento no software Q-GIS do *shapefile* com dados referentes à vegetação da área de estudo contidos no Mapeamento de Recursos Naturais – IBGE (2018), realizando-se o efetivo recorte e elaboração da cartografia de base.

3.2.1.2.5 *Geomorfologia*

A compartimentação geomorfológica foi amparada pelo sistema de táxons proposto por Tricart (1965), em uma classificação tipológica da área em análise a partir de um estudo morfométrico aplicado a uma composição de sobreposições dos mapas hipsométrico, topográfico, hidrográfico, geológico e folhas topográficas devidamente georreferenciadas. Em seguida foi realizada a classificação supervisionada da morfologia e declividades por meio da ferramenta “*r.slope.aspect*”, assim discernindo a compartimentação em tipos morfológicos agradacionais e denudacionais.

Após a realização da classificação supervisionada dos tipos morfológicos, o mapeamento foi confrontado com as informações apontadas em estudos anteriormente produzidos que fazem referência ao relevo da área em que o município de Caldas está inserido.

Essas informações em muito auxiliaram nas observações realizadas no procedimento seguinte, as campanhas de atividades em campo.

O estudo da compartimentação geomorfológica contou com um extenso trabalho de campo, com um total de doze incursões na área de estudo. As atividades em campo foram fundamentais para a obtenção de um maior conhecimento da área, bem como para verificar e validar as informações processadas em gabinete referentes às formas do relevo dos compartimentos geomorfológicos e embasar os transectos mais representativos para a elaboração dos perfis topográficos.

Além disso, as incursões em campo permitiram o registro fotográfico da paisagem característica de cada compartimento, bem como a observação e coleta de

informações pertinentes à cobertura vegetal, tipos de uso da terra, altitude, coordenadas geográficas, orientação das vertentes e o estado de conservação ou degradação da área. Também foram coletadas informações relacionadas à dinâmica ambiental e à interferência das atividades antrópicas.

A coleta de dados em campo foi realizada com o auxílio do aplicativo Avenza Maps, no qual foi previamente incluso o mapeamento dos compartimentos e o mapa topográfico, ambos em formato de PDF Georreferenciado (GeoPDF), norteando os deslocamentos para observação em campo.

3.2.1.2.6 Hidrografia

A composição do mapa hidrográfico foi efetivada com o tratamento no QGIS do arquivo *shapefile* dos dados referentes à hidrografia disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH.

3.2.1.2.7 Hipsometria e topografia

Os dados altimétricos foram obtidos a partir de imagens do tipo SRTM compilados no arquivo Modelo Digital de Elevação (MDE) da área mapeada e tratados no *software* QGIS versão 3.14 “Pi” para a realização da conversão de imagem em mapa hipsométrico e topográfico. Essa etapa consistiu em efetuar a execução da ferramenta de reclassificar mapas raster categóricos “*r.reclass*” disponível no *software* QGIS. O procedimento foi realizado com a parametrização de oito classes altimétricas com intervalos de 100m, sendo definidos os parâmetros a partir da menor altitude contida no arquivo raster (944m), especificando-se classes altimétricas até o alcance da maior altitude registrada (1705m). Esse procedimento teve como objetivo assegurar uma representação abrangente de todas as diferenças altimétricas manifestadas no relevo da área em análise. Após a realização dos procedimentos acima, foram executadas as configurações nas propriedades de simbologia, definindo-se nomenclatura e padrão de cores para representação do mapa hipsométrico. Uma vez realizada a conversão hipsométrica, foi executada a criação das curvas de nível das cotas estipuladas, sendo utilizada a ferramenta de tratamento raster “extrair contorno” de todas as cotas resultando no mapa topográfico da área de estudo.

3.2.1.2.8 Declividade

A elaboração do mapa de declividades foi efetivada a partir da execução da ferramenta *Declividade* do software QGIS para a geração da escala de declividade seguida da aplicação da ferramenta de reclassificar mapas raster categóricos “*r.reclass*” no arquivo do Modelo Digital de Elevação (MDE). Foi necessária a parametrização das classes de declividade a partir das orientações de Franco *et al.* (2012), especificando-se seis classes de declividade com amplitude clinográfica estabelecida em uma crescente de 5%, 12%, 25%, 30% nos intervalos entre a classe de relevo “Plano”, menos declivosa, e a classe de relevo “Escarpado”, mais declivosa.

A configuração dessa amplitude entre as classes visou dar maior acurácia à representação das características específicas do relevo do município de Caldas.

3.2.1.2.9 Orientação das vertentes

O mapa de orientação das vertentes foi obtido com a utilização da ferramenta *Orientação* disponível no software QGIS aplicada ao MDE, seguida da reclassificação dos valores obtidos em consonância com os quadrantes dos azimutes Norte (0°), Nordeste (45°), Leste (90°), Sudeste (135°), Sul (180°), Sudoeste (225°), Oeste (270°) e Noroeste (315°) e, aplicadas as configurações de simbologia e padrão de cores para melhor visualização.

3.2.1.2.10 Solos

O Mapa Digital de Solos (MDS) foi obtido a partir das orientações metodológicas organizadas por Silva *et al.* (2018) referentes às técnicas de pedometria para predição da distribuição espacial dos solos nas paisagens.

O método em questão fundamenta-se na relação entre declividade e Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos (ICTS), associada à relação entre curvatura do terreno e o Índice Topográfico de Umidade (ITU). A declividade e a curvatura do terreno estão relacionadas à velocidade dos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais que influenciam a formação dos solos, o ICTS aponta porções ligadas ao rejuvenescimento do solo (Silveira, 2010) e o ITU discerne zonas de saturação superficial de umidade. (Moore *et al.*, 1993; Silveira, 2010; Nowatzki, 2013).

Conforme orientam Silva *et al.* (2018), a integração e elaboração do MDS são obtidas com a álgebra dos Planos de informações topográficas relativos à declividade,

Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos (ICTS), Curvatura do terreno e Índice Topográfico de Umidade (ITU), seguida da associação das unidades de solos obtidas às classes de solos advindas do Mapeamento Convencional de Solos (MCS) disponível.

Planos de informação de declividade e curvatura do terreno

As informações referentes à declividade foram obtidas do mapa de declividades elaborado conforme os procedimentos já citados em etapa anterior, sendo mantidas as classes de declividade a partir do que é orientado por Franco et. al (2012).

Os dados referentes à curvatura do terreno foram obtidos a partir das imagens SRTM disponibilizadas na plataforma Mapa índice TOPODATA – INPE. Com o uso da ferramenta “*r.reclass*” do QGIS foram estabelecidas as classes a partir do que é orientado por Valeriano (2008).

Planos de informação dos índices ICTS e ITU

Para a realização dos cálculos referentes ao ICTS e ao ITU foi necessária a extração da acumulação de fluxo a partir da imagem SRMT com o uso da ferramenta “Flow Accumulation” correspondendo à área de contribuição de fluxos.

O Índice Topográfico de Umidade (ITU) foi obtido a partir da relação entre a área de contribuição (acumulação de fluxo) e a declividade expressa em radianos através da ferramenta “Calculadora raster” do QGIS mediante a aplicação da fórmula (1). (Sirtoli *et al.*, 2008; Silveira, 2010).

$$ITU = \left(\frac{As}{\tan\beta} \right) \quad (1)$$

Em que:

ITU = Índice Topográfico de Umidade

As = Área de contribuição de fluxos

Tan β = Declividade expressa em radianos

Os valores obtidos foram reclassificados conforme os níveis de saturação superficial de umidade a partir das classes estabelecidas nos intervalos de ITU propostos por Silva *et al.* (2018), dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes dos níveis de saturação superficial de umidade.

Valor de ITU	Classe temática	Indicativo
< 4.290	ITU 1	Menor acúmulo hídrico
4.290 a 8.305	ITU 2	Menor acúmulo hídrico
> 8.305	ITU 3	Maior acúmulo hídrico

Fonte: Silva *et al.* (2018).

O Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos foi obtido mediante o uso da ferramenta “Calculadora raster” do QGIS com a aplicação da fórmula (2) conforme os pressupostos de Silveira (2010).

$$ICTS = \left[\left(\frac{As}{22.13} \right)^{0.6} \right] \times \left[\left(\frac{\text{sen}\beta}{0.0896} \right)^{1.3} \right] \quad (2)$$

Em que:

As = Área de contribuição de fluxos

Senβ = Declividade expressa em radianos

Os valores obtidos foram reclassificados considerando seu potencial erosivo a partir das classes estabelecidas nos intervalos de ICTS propostos por Silva *et al.* (2018) conforme disposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Classes dos níveis de potencial erosivo.

Valor de ICTS	Classe temática	Indicativo
< 1.238	ICTS 1	Menor potencial erosivo
1.238 a 3.405	ICTS 2	Menor potencial erosivo
>3.405	ICTS 3	Maior potencial erosivo

Fonte: Silva *et al.* (2018).

Cruzamento dos Planos de informação

Após a execução dos procedimentos citados anteriormente, conforme orientam Silva *et al.* (2018), foram atribuídos pesos a cada classe dos Planos de informação considerando seu potencial de atuação da morfogênese e pedogênese (Silveira, 2010). Os pesos estão estabelecidos em uma escala de 1 a 3 pautada nas interações das características das superfícies e os processos relativos à gênese dos solos

conforme a prevalência entre geomorfogênese e pedogênese, sendo apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Pesos atribuídos às classes de Declividade, Curvatura do terreno, Índice Topográfico de Umidade e Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos.

Declividade		Curvatura do terreno	
Classes	Peso ¹	Classes ²	Peso
< 3%	1	C-Cv	3
3 - 8 %	2	C-R	3
8 - 20%	2	C-Cx	3
> 20%	3	R-Cv	3
ITU		R-R	1
Classes	Peso	R-Cx	1
ITU 1	3	D-Cv	1
ITU 2	2	D-R	1
ITU 3	1	D-Cx	1
ICTS			
Classes	Peso		
ICTS 1	1		
ICTS 2	2		
ICTS 3	3		

¹ Pesos estabelecidos entre a relação pedogênese (Pesos 1 e 2) / Morfogênese (Peso 3).

² D-Cv: Divergente-Côncavo; D-R: Divergente-Retilíneo; D-Cx: Divergente-Convexo; R-Cv: Retilíneo-Côncavo; R-R: Retilíneo-Retilíneo; R-Cx: Retilíneo-Convexo; C-Cv: Convergente-Côncavo; C-R: Convergente-Retilíneo; C-Cx: Convergente-Convexo.

Fonte: Silva *et al.* (2018).

Uma vez atribuído os pesos inerentes à cada classe, os Planos de informações relativos à Declividade, Curvatura do terreno, ITU e ao ICTS foram integrados com o cruzamento de seus dados utilizando-se a álgebra de mapas através da ferramenta “Calculadora raster” disponível no QGIS, aplicando-se a fórmula (3).

$$MDS = (D \times ICTS) \times (C \times ITU) \quad (3)$$

Em que:

MDS = Modelo Digital de Solos

D = Plano de informações de declividade

ICTS = Plano de informações do Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos

C = Plano de informações da Curvatura do terreno

O raster obtido a partir do procedimento descrito acima corresponde ao MDS, no qual foram discernidas sete unidades de mapeamento, cujos valores foram associados às classes de solos advindas dos mapeamentos convencionais de solos disponíveis para a área em análise, neste caso, o Mapa de solos do Estado de Minas Gerais (2010) e o Mapa de solos do Brasil – IBGE (2021).

3.2.2 O Nível correlatório

O segundo nível (Correlatório) consistiu na devida organização de informações necessárias e relevantes à execução dos trabalhos da pesquisa.

3.2.3 O Nível Semântico

No terceiro nível (Semântico), atendendo as premissas do método adotado, os parâmetros de pesquisa foram fundamentados na obtenção dos mapas de Fragilidade Potencial e Fragilidade Ambiental Emergente que, por sua vez, envolveu a análise do relevo, do solo, da litologia, do clima, do uso da terra e vegetação e, na obtenção dos mapas referentes à Capacidade de uso da terra, cuja análise envolveu os aspectos do solo, declividade e uso da terra, seguida da integração e elaboração das respectivas produções cartográficas em escala de 1:100.000.

3.2.3.1 Fragilidade Ambiental

O levantamento acerca das informações que concernem a fragilidade ambiental bem como a elaboração das cartas das Fragilidades Ambientais, Potencial e Emergente, foi subsidiada pelas metodologias propostas por Ross (1994) e por Crepani *et al.* (2001), visando a sobreposição destas ao mapeamento dos geossistemas do município de Caldas e proporcionando uma análise mais assertiva das possíveis degradações presentes nos mesmos.

Portanto, partindo dos pressupostos indicados por Ross (1994), foram elaborados os Planos de Informação temáticos necessários a aplicação do método para a obtenção da carta de fragilidades.

Classes de Fragilidade da Dissecação do Relevo

Os procedimentos operacionais para a extração dos dados morfométricos relativos à Dissecação Horizontal e a Dissecação Vertical seguiram as orientações

propostas por Guimarães *et al.* (2017) a partir de um arquivo modelo digital de elevação MDE- SRTM, adaptadas aos recursos disponíveis no software QGIS.

A obtenção dos valores referentes à Dissecação Vertical consistiu em realizar uma correção em possíveis falhas (depressões) nos pixels do arquivo MDE que eventualmente possam ter ocorrido durante a obtenção do modelo pelo sensor orbital, esse procedimento visou impedir distorções nos dados a serem utilizados no cálculo de sua extração.

Para a referida correção, foi utilizada a aplicação da ferramenta de tratamento raster “*r.fill.dir (Fill)*”, definida a partir do parâmetro “sem depressões” para a identificação, análise e correção dos possíveis pixels defeituosos contidos no MDE.

Após a correção, foi realizada a inversão dos valores contidos no MDE visando a inversão da topografia da área representada para a delimitação das bases do relevo. Esse procedimento foi realizado com o uso da ferramenta *Calculadora raster* aplicando-se a fórmula (4):

$$MDE * -1 \quad (4)$$

Realizada a inversão, foram obtidas as direções de fluxos através da aplicação da ferramenta de tratamento raster “*r.fill.dir (Fill)*” seguida da correção de preenchimento de pixels sem dados com o uso da ferramenta “GDAL” parametrizada com a opção “*preencher sem dados*”, atribuindo a estes pixels valores médios calculados a partir dos valores dos pixels vizinhos.

A sequência procedimental deu-se com a obtenção das dimensões das bacias hidrográficas realizada com o uso da ferramenta de extração “*r.watershed*” com parâmetros para “*half-basins*” de extensão mínima 300m. Após a extração, o arquivo foi vetorizado automaticamente com a aplicação da ferramenta de tratamento raster “Poligonizar Raster para Vetor” e o arquivo resultante foi denominado “Half_Basins”.

Para a obtenção dos dados altimétricos, foram atribuídas ao vetor “Half_Basins” as informações altimétricas do MDE corrigido (sem depressões) utilizando-se da ferramenta “Estatísticas zonais”, o procedimento criou uma tabela de atributos no vetor “Half_Basins” com os valores contidos no MDE em um campo específico “_range” que, calculado automaticamente pela ferramenta, extraiu as informações referentes à amplitude do relevo correspondentes à Dissecação Vertical. As demais

informações contidas na tabela ampararam os cálculos posteriores para a obtenção da Dissecação Horizontal.

A partir dos dados contidos na tabela de atributos do vetor “Half_Basins” foram executados os cálculos com a utilização da ferramenta “Calculadora de campo” amparados nas orientações indicadas por Christofolletti (1970, 1974) para a obtenção dos valores de Dissecação Horizontal que corresponde à largura média da bacia, realizou-se a extração dos valores da geometria dos interflúvios, sendo criados na tabela de atributos os campos “Área” e “Perímetro” e, atribuídos a estes, os valores resultantes dos cálculos na “Calculadora de campo” através das funções “\$area” e “\$perimeter” respectivamente.

Para a obtenção dos valores referentes ao comprimento das bacias contidas no vetor, foi criado na tabela de atributos o campo “CompBac” atribuindo-lhe os valores resultantes da fórmula (5):

$$CB = \frac{Pr}{2} \quad (5)$$

Em que:

CB = Comprimento da bacia

Pr = Perímetro da bacia

Para a obtenção dos valores referentes a largura média das bacias, cujos valores correspondem à Dissecação Horizontal, foi criado o campo “LargMedB” e a ele atribuído os valores resultantes da fórmula (6):

$$LMB = \frac{Ar}{CB} \quad (6)$$

Em que:

LMB = Largura média da bacia

Ar = Área da bacia

CB = Comprimento da bacia

Após os cálculos, foram criados na tabela de atributos do vetor “Half_Basin” os campos “DV” (Dissecação Vertical) e “DH” (Dissecação Horizontal) atribuindo-lhes a correspondência dos valores contidos nos campos “_range” e “LargMedB” de forma a evitar equívocos na execução dos cálculos posteriores.

Este procedimento visou a reclassificação dos valores referentes aos campos “DV” (Dissecação Vertical) e “DH” (Dissecação Horizontal) contidos na tabela de atributos do vetor “Half_Basin” que, por sua vez, compõem-se de variáveis contínuas.

A referida reclassificação foi obtida com a aplicação de uma matriz de índice de dissecação do relevo elaborada a partir das propostas de Ross (1992, 1994, 2006), Nunes *et al.* (1994) e Guimarães *et al.* (2017), com adaptações que flexibilizaram os intervalos referentes à dimensão interfluvial média e do grau de entalhamento dos vales, além de ajustes referentes à combinação de classificação dos intervalos conforme apresentado na Tabela 4. Os intervalos propostos foram estabelecidos em proporção aos valores máximos e mínimos identificados na variação da amplitude altimétrica e na dimensão interfluvial, os quais foram derivados dos cálculos morfométricos realizados na área de estudo e descritos nas etapas anteriores. As adaptações mencionadas permitiram representar de forma mais aproximada da realidade as características de entalhamento do relevo específicas da área em análise.

Tabela 4 - Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo

Grau de Entalhamento dos Vales	Dimensão Interfluvial Média				
	Muito Pequena (5) ≤ 300m	Pequena (4) 300m † 400m	Média (3) 400m † 500m	Grande (2) 500m † 600m	Muito Grande (1) >600m
(1) Muito Fraco < 50m	15	14	13	12	11
(2) Fraco 50m † 100m	25	24	23	22	21
(3) Médio 100m † 200m	35	34	33	32	31
(4) Forte 200m † 400m	45	44	43	42	41
(5) Muito Forte > 4000m	55	54	53	52	51

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Para a reclassificação, foram criados na tabela de atributos do vetor os campos “DH” e “DV” que armazenaram os novos valores reclassificados a partir de cálculos automatizados e executados na ferramenta “Calculadora de campo”.

Uma vez reclassificados os dados, procedeu-se ao cálculo do Índice de Dissecação do Relevo, descrito na etapa seguinte.

Conforme a metodologia proposta por Guimarães *et al.* (2017), foi criado na tabela de atributos do vetor “Half_Basin” o campo “IDR” para armazenamento dos

valores do Índice de Dissecação do Relevo que foram obtidos com a junção dos valores referentes a Dissecação Horizontal e dos valores referentes a Dissecação Vertical através da execução na ferramenta “Calculadora de campo” aplicando-se a fórmula (7):

$$IDR = DV + DH \quad (7)$$

Em que:

IDR = Índice de Dissecação do Relevo DH = Dissecação Horizontal

DV = Dissecação Vertical

Obtidos os valores referentes ao IDR, realizou-se a conversão do arquivo vetor “Half_Basin” para arquivo do tipo raster com o uso da ferramenta “Converter Vetor para Raster” parametrizado com base no campo “IDR”, com Unidades georreferenciadas e resolução 30m X 30m e em seguida aplicadas às propriedades do arquivo a simbologia de cores e legenda resultando no Plano de Informações acerca da fragilidade do relevo.

Classes de Fragilidade dos Tipos de Solos

As informações relativas aos tipos de solos encontrados no município de Caldas foram extraídas do vetor referente ao Mapa Digital de Solos elaborado conforme descrito nas etapas anteriores.

O procedimento foi realizado com o armazenamento, na tabela de atributos do vetor, das informações de classificação da fragilidade de cada tipo de solo conforme as classes de fragilidade dos tipos de solos proposta por Ross (1994; 2006) descritas no Quadro 2.

Quadro 2 - Fragilidades dos solos

Classes de Fragilidades	Tipos de Solos
1 – Muito Fraca	Latossolo vermelho; latossolo vermelho-amarelo com textura argilosa
2 – Fraca	Latossolo amarelo e vermelho-amarelo com textura média/argilosa
3 – Média	Latossolo vermelho-amarelo; Nitossolos
4 – Forte	Luvissolos; Cambissolos
5 – Muito Forte	Argissolos; Neossolos

Fonte: Ross (1994).

Identificada a classe de fragilidade de cada tipo de solo, foi realizada a conversão do arquivo vetor para arquivo do tipo raster com o uso da ferramenta “Converter Vetor para Raster” parametrizado a partir das classes de fragilidade dos tipos de solos, com unidades georreferenciadas e resolução 30m X 30m, compondo este resultado o Plano de Informações da fragilidade dos solos.

Classes de Fragilidade da Geologia

Ross (1994; 2006) elencou a possibilidade do uso da carta temática de geologia, porém, não definiu classes hierárquicas de fragilidade para a mesma. Portanto, considerando a ausência de classificação para a fragilidade dos tipos litológicos nos pressupostos metodológicos de Ross (1994; 2006) e, pressupondo a necessidade e importância de inclusão dessa variável para a obtenção de um levantamento mais abrangente das fragilidades potencial e emergente, foi adaptada e aplicada a escala de vulnerabilidade das rochas proposta por Crepani *et al.* (2001).

A escala proposta por Crepani *et al.* (2001) é estruturada em uma crescente de valores decimais que partem de 1,0 e seguem até o valor 3,0 e, para a adaptação proposta, o intervalo entre 1,0 e 3,0 foi dividido em cinco partes de forma a corresponderem à classificação hierárquica de cinco classes de fragilidades da proposta metodológica de Ross (1994; 2006) obtendo-se os seguintes valores para as classes expressas na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação da Fragilidade Geológica

(continua)

Rochas mais comuns (Litologia)	Escala de Vulnerabilidade Crepani <i>et al.</i> (2001)	Correspondência das Classes de Fragilidade Ross (1994)
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	
Riólito, granito, dacito	1,1	
Granodiorito, quartzo diorito, granulitos	1,2	1 – Muito Fraca
Migmatitos, gnaisses	1,3	
Fonólito, nefelina sienito, traquito, sienito	1,4	
Andesito, diorito, basalto	1,5	
Anortosito, gabro, Peridotito	1,6	
Milonitos, quartzo muscovita, biotita, clorita xisto	1,7	2 - Fraca
Piroxenito, anfíbolito kimberlito, dunito	1,8	

Tabela 5 – Classificação da Fragilidade Geológica (conclusão)

Rochas mais comuns (Litologia)	Escala de Vulnerabilidade Crepani <i>et al.</i> (2001)	Correspondência das Classes de Fragilidade Ross (1994)
Hornblenda, tremolita, actinolita xisto	1,9	
Estauroлита xisto, xistos granatíferos	2,0	
Filito, metassilito	2,1	3 - Média
Ardósia, metargilito	2,2	
Mármore	2,3	
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4	
Conglomerados, subgrauvacas	2,5	4 - Forte
Grauvacas, arcózios	2,6	
Siltitos, argilitos	2,7	
Folhelhos	2,8	
Calcários, dolomitos, margas, evaporitos	2,9	5 – Muito Forte
Sedimentos inconsolidados, aluviões, colúvios	3,0	

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001) e Ross (1994).

As informações relativas aos dados geológicos que abrangem o município de Caldas foram extraídas do arquivo vetor referente ao mapeamento geológico do Estado de Minas Gerais disponibilizado pelo Projeto Fronteiras de Minas (2015).

O recorte do arquivo vetorizado para a área correspondente ao município de Caldas foi executado através da ferramenta “Recortar” do QGIS e renomeado o vetor para “Geologia_Caldas”, seguido da criação do campo “FG_GEOL” na tabela de atributos do vetor para armazenamento das informações de classificação da fragilidade de cada tipo litológico conforme as classes de fragilidade descritas na Tabela 5.

Após identificadas e classificadas as fragilidades para cada tipo litológico, foi realizada a conversão do arquivo vetor para arquivo do tipo raster com o uso da ferramenta *Converter Vetor para Raster* sendo parametrizado com base no campo “FG_GEOL”, com unidades georreferenciadas e resolução 30m X 30m, sendo este produto intermediário o Plano de Informações da fragilidade da geologia.

Classes de Fragilidade do Comportamento Pluviométrico

Para a inferência da fragilidade do clima os dados utilizados foram extraídos da base de dados do INMET. Foram selecionadas a partir do critério de proximidade quatro estações meteorológicas com coleta automática que cobrem a área do município de Caldas, correspondendo às estações A530 Caldas, A567 Machado,

A738 Casa Branca e A739 Itapira contendo as informações de número de dias com precipitação pluvial mensal e a precipitação total mensal.

Para a análise foram selecionados os dados referentes ao período de registro histórico no intervalo entre os anos de 2008 e 2022 e, verificada a consistência quanto a existência de falhas na coleta que pudessem comprometer os cálculos. As lacunas existentes nos dados foram tratadas conforme indicado por Crepani *et al.* (2004), sendo atribuídos os valores médios dos períodos equivalentes.

Visando um maior detalhamento à classificação de fragilidade duas possibilidades foram elencadas para o tratamento dos dados pluviométricos. A primeira tratou do que foi proposto por Spörl (2001) em que se atribui a partir da caracterização geral do comportamento pluviométrico uma classificação de fragilidade conforme exposto no Quadro 3. (Ross, 2000, *apud* Spörl, 2001, p.84). A aplicação desta classificação de fragilidade é aplicada em estudo semelhante realizado por Massa e Ross (2012) em que os autores destacam a importância da influência pluviométrica ao regular o regime hídrico e impactar diretamente na formação do relevo dada por intemperismo e erosão pluvial e fluvial.

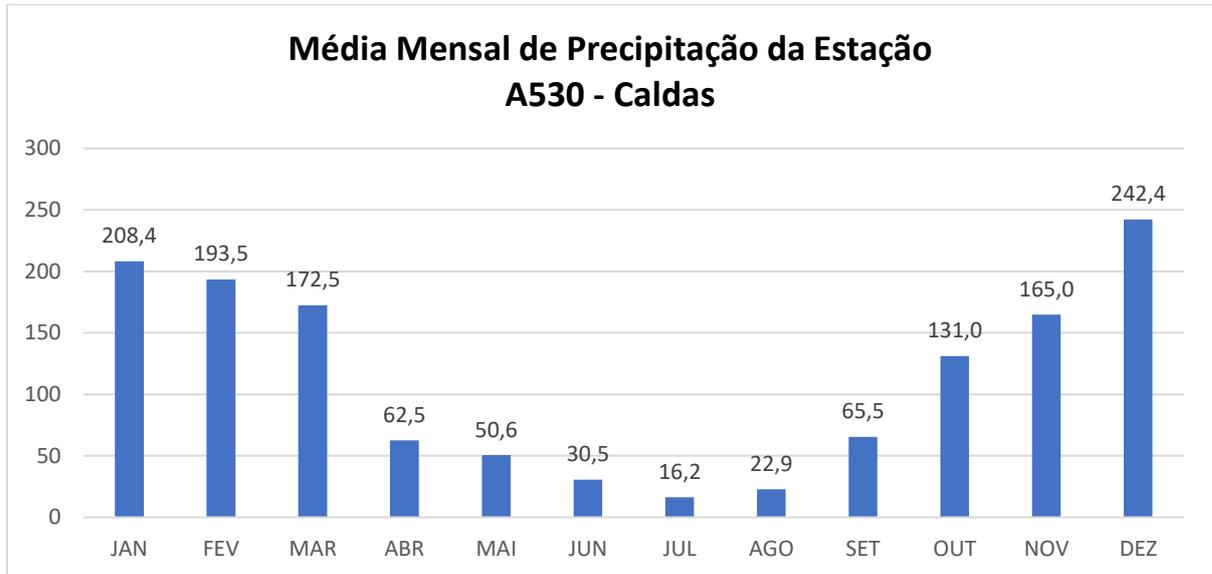
Quadro 3 - Fragilidade / Interferência do Comportamento Pluviométrico

Grau de Fragilidade/Interferência	Características pluviométricas
1 – Muito Fraca	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ ano.
2 – Fraca	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano.
3 – Média	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.
4 – Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas.
5 – Muito Forte	Situação pluviométrica com distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900mm/ano (semiárido).

Fonte: Ross (2000) *apud* SPÖRL (2001); Massa e Ross (2012).

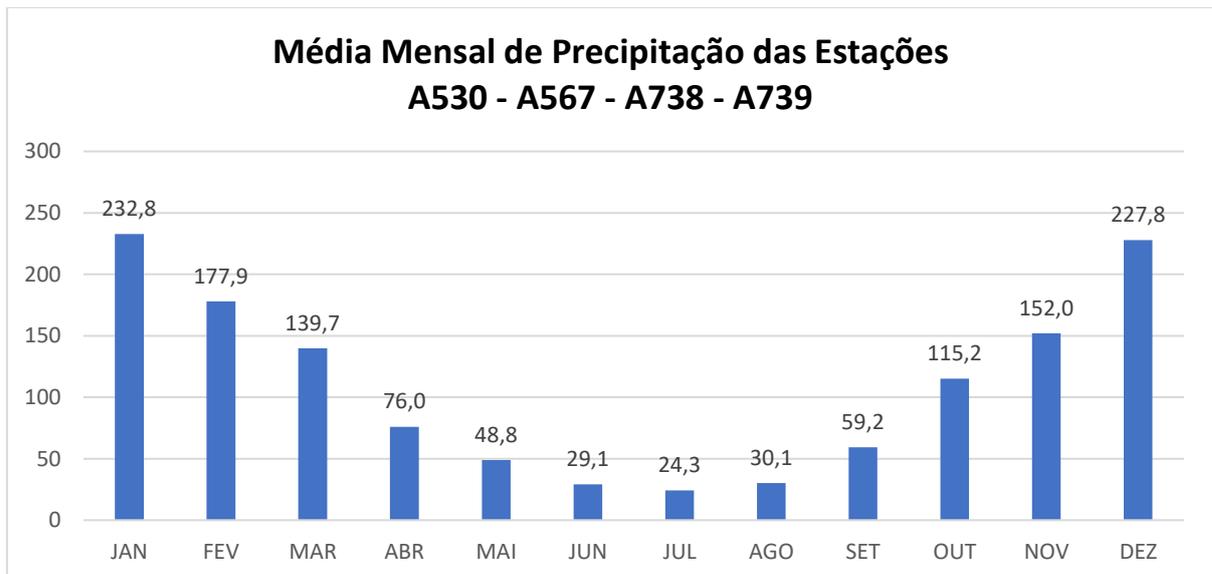
Nesta classificação, foram considerados os valores médios mensais entre 2008 e 2022 conforme apresentado nos gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 - Médias Mensais de Precipitação do Município de Caldas – 2008 a 2022



Fonte: BDMEP – INMET, 2023. Organizado pelo autor.

Gráfico 2 - Médias Mensais de Precipitação Regional – 2008 a 2022



Fonte: BDMEP – INMET, 2023. Organizado pelo autor.

Após a análise das características de distribuição pluviométrica, observou-se que a situação do comportamento pluviométrico para o município de Caldas e região, enquadra-se no que é exposto para o grau de fragilidade / interferência classificada como média.

A segunda forma utilizada para o tratamento dos dados foi o método para a classificação proposto por Crepani *et al.* (2004).

Crepani *et al.* (2004) propõe a obtenção do grau de fragilidade ocasionado pelo comportamento pluviométrico a partir da inferência da Intensidade Pluviométrica, dado, principalmente, por estar diretamente relacionada ao processo de denudação em que, uma maior disponibilidade de água correlacionada à duração de sua distribuição pode acometer aos processos morfogenéticos uma maior capacidade erosiva em sua atuação sobre rochas e solos.

Para a obtenção do grau de fragilidade foram realizados os cálculos para aquisição dos valores médios de precipitação mensal, de precipitação média anual e contados o número de dias com chuva para cada estação referente ao período selecionado conforme apresentado na Tabela 6. Esses dados foram submetidos à aplicação da fórmula (8) sugerida por Crepani *et al.* (2004) para obtenção do valor referente à Intensidade Pluviométrica descrita logo abaixo.

$$I.P = \frac{Pma}{\left(\frac{Ndc}{30}\right)} \quad (8)$$

Em que:

I.P = Intensidade Pluviométrica

Pma = Precipitação média anual

Ndc = Número de dias com chuva

Tabela 6 - Valores de precipitação média mensal para o município de Caldas - MG

Est.	Precipitação Média Mensal 2008 - 2022												P.M.A	NDC	I.P_Z
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ			
A530	208,4	193,5	172,5	62,5	50,6	30,5	16,2	22,9	65,5	131	165	242,4	1361,1	190	214
A567	224,8	232,4	113,3	44,1	51,3	17,7	7	22	61,2	112,5	135,8	262,8	1284,9	133	289
A738	192,2	128,5	111,4	113,6	38	37,8	39,5	33,1	39	100,3	143,4	190	1166,8	135	260
A739	305,7	157,2	161,6	83,6	55,3	30,4	34,6	42,6	71,2	117	163,8	216	1419,2	149	286

Fonte: BDMEP – INMET, 2023. Organizado pelo autor.

Obtidos os valores da Intensidade Pluviométrica para cada estação, realizou-se a tabulação de todas as informações acompanhadas das coordenadas geográficas de cada estação em um arquivo do tipo (.csv) seguida da interpolação parametrizada pelo valor de intensidade pluviométrica como valor de “coordenada Z”, que foi realizada através da ferramenta “Interpolação IDW” disponível no software QGIS.

O arquivo do tipo raster gerado pelo processo de interpolação foi reclassificado conforme proposto por Crepani *et al.* (2001) com a adaptação de normalização desta classificação exposta na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação de Fragilidade do Comportamento Pluviométrico

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Correspondência do Grau de Fragilidade/Interferência
< 50	1,0	
50 – 75	1,1	
75 – 100	1,2	1 - Muito Baixa
100 – 125	1,3	
125 – 150	1,4	
150 – 175	1,5	
175 – 200	1,6	2 - Baixa
200 – 225	1,7	
225 – 250	1,8	
250 – 275	1,9	
275 – 300	2,0	3 - Média
300 - 325	2,1	
325 – 350	2,2	
350 – 375	2,3	
375 – 400	2,4	4 – Alta
400 – 425	2,5	
425 – 450	2,6	
450 – 475	2,7	
475 – 500	2,8	5 - Muito Alta
500 – 525	2,9	
> 525	3,0	

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

Conforme os valores obtidos para a intensidade pluviométrica, que variam entre 214 a 289 mm/mês, observou-se que a situação do comportamento pluviométrico para o município de Caldas, enquadra-se no que é exposto para o grau de fragilidade / interferência classificada como fraca a média. Após identificadas e classificadas as fragilidades, foi elaborado o mapa temático de comportamento pluviométrico, sendo este produto intermediário o Plano de Informações da fragilidade do clima.

Classes de Fragilidades do uso da terra e de cobertura vegetal

Para a análise da fragilidade do uso da terra foi elaborado um mapa de uso da terra com a aplicação de uma classificação supervisionada em um conjunto unificado de arquivos de imagem de satélite, com resolução espacial de 2x2 metros (PAN) e de 8X8 metros (B1, B2, B3, B4), do tipo Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) do satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres CBERS4A correspondente a área do município de Caldas, sendo disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. A classificação supervisionada foi realizada utilizando-se o plugin Dzetsaka disponível como recurso no software QGIS.

Primeiramente, efetuou-se no software QGIS o tratamento das imagens raster com resolução de 8X8 metros referentes às bandas B1, B2, B3, B4, sendo realizada a mesclagem do conjunto de imagens através da aplicação da ferramenta “Mesclar”, seguida da unificação da resolução de 2X2 metros da imagem Pancromática através da ferramenta “Pansharpening”. O procedimento de unificação das resoluções espaciais das imagens melhorou significativamente a qualidade da imagem raster a ser analisada no processo de classificação supervisionada, permitindo uma identificação mais assertiva dos elementos classificados.

A próxima etapa consistiu no recorte do arquivo raster de forma a corresponder à área limítrofe do município de Caldas seguido da configuração da composição RGB (3,4,1) de forma a destacar o contraste espectral dos elementos identificados na amostragem de classificação.

Para a execução da classificação, após uma análise prévia da imagem do satélite CBERS4A, de forma a representar a realidade encontrada no município de Caldas foram estabelecidas oito classes de uso da terra:

1 – Formação florestal; 2 – Campos de altitude; 3 – Silvicultura; 4 – Pastagem; 5 – Agricultura; 6 – Solo exposto; 7 – Área urbana; 8 – Corpo d’água.

A aplicação da classificação supervisionada exigiu a utilização de uma camada do tipo *shapefile* com geometria de polígonos para coleta e armazenamento das amostras das classes de uso. Este *shapefile* foi sobreposto ao arquivo raster a ser classificado e foram colhidas 640 amostras correspondentes a 8 classes de uso.

O plugin Dzetsaka realizou a classificação supervisionada considerando o conjunto de amostras de pixels numericamente armazenadas para cada classe de uso e sua correspondência de máxima verossimilhança com os pixels encontrados no

arquivo raster analisado, atribuindo a cada pixel no arquivo raster o valor equivalente à sua classe de uso.

Visando-se obter a acurácia da classificação, aplicou-se o cálculo de inferência do índice Kappa conforme as orientações para cálculo apontadas por Congalton e Green (1999, *apud* Figueiredo e Vieira, 2007).

Segundo Figueiredo e Vieira (2007), o índice Kappa permite a verificação da exatidão de um mapa por se tratar de um cálculo baseado em informações estatísticas que inferem a confiabilidade de uma classificação oriunda do processamento de informações do sensoriamento remoto.

O procedimento de cálculo, envolve a princípio, a geração de uma *matriz de confusão* que, por sua vez, se trata de uma tabela com os dados comparativos acerca da verificação de concordância entre classificações distintas (produzidas por *usuário* e por *produtor*) de unidades de amostras de uma ou mais categorias. (Figueiredo e Vieira, 2007).

Figueiredo e Vieira (2007) destacam que a verificação infere a precisão de amostras não classificadas corretamente, correspondendo às omissões de classificação produzidas pelo produtor e, a precisão do usuário que corresponde a probabilidade da classificação correta dos pixels com a classe representada no mapa temático.

Aplicando a metodologia proposta por Figueiredo e Vieira (2007), as informações referentes à classificação por usuário foram representadas pela classificação supervisionada compilada no arquivo raster que corresponde ao mapa de uso da terra e, as informações de classificação do produtor representaram-se pela classificação obtida por intermédio do plugin *AcaTaMa* disponível no QGIS.

O plugin *AcaTaMa* gerou de forma aleatória e proporcional à área de representação de cada classe de uso a totalidade de 640 amostras do mapa temático de uso da terra, que foram classificadas visualmente amparadas na observação das imagens de satélite correspondentes à localização de cada amostra.

O procedimento de apuração resultou na geração da matriz de confusão, cujos dados podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Matriz de confusão

	1	2	3	4	5	6	7	8	Somatória Linhas	Produto L x C
Form. florestal	160	0	3	0	3	0	0	0	166	28220
Campos de altitude	1	101	0	3	6	0	0	0	111	13098
Silvicultura	1	0	21	0	0	0	0	0	22	616
Pastagem	0	1	0	127	6	0	0	0	134	23182
Agricultura	8	15	3	42	111	3	0	0	182	23114
Solo exposto	0	1	0	1	0	18	0	0	20	440
Área urbana	0	0	1	0	0	1	2	0	4	8
C. d'água	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Somatória colunas	170	118	28	173	127	22	2	1	Somatória diagonal	541
Número de amostras	640		Somatória Produto L x C						88679	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os dados obtidos com a geração da matriz de confusão permitiram que se realizasse o cálculo para inferência do índice Kappa aplicando-se a fórmula (9) indicada por Congalton e Green (1999, *apud* Figueiredo; Vieira, 2007), descrita de forma simplificada logo abaixo,

$$K = \frac{(Na \times Sd) - Sp}{Na^2 - Sp} \quad (9)$$

Em que:

K = Estimativa do coeficiente Kappa

Na = Número de amostras

Sd = Somatória da diagonal

Sp = Somatória do produto das linhas e colunas

O resultado apontou um valor para a estimativa de concordância de 0.8025 conforme o cálculo do índice Kappa. Os níveis de desempenho desta classificação propostos por Landis e Koch (1977) variam de 0.0 à 1.0 e podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 - Níveis de Desempenho da Classificação Conforme Índice Kappa

Índice Kappa	Desempenho da Classificação
< 0.00	Péssimo
0 – 0.20	Ruim
0.21 – 0.40	Razoável
0.41 – 0.60	Bom
0.61 – 0.80	Muito Bom
0.81 – 1.0	Excelente

Fonte: Landis e Koch, (1977).

Estabelecida a confiabilidade da classificação supervisionada entre 0.61 e 0.80 considerada por Landis e Koch (1977) com desempenho muito bom, foi elaborado o mapa de uso da terra, utilizado em integrações e análises posteriores e, em seguida, o raster de classes de uso da terra foi reclassificado conforme a classificação de proteção / fragilidade dos solos em face da cobertura vegetal e usos da terra proposta por Ross (1994) apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 - Proteção / Fragilidade dos Solos pela Cobertura Vegetal e Usos da terra

Grau de Proteção/Fragilidades	Tipos de Cobertura Vegetal e Usos da terra
1 – Muito Alta / Muito Fraca	Florestas / matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade
2 – Alta / Fraca	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa), mata homogênea de pinus densa, pastagens, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo (como o cacau)
3 – Média / Média	Cultivo de ciclo longo em curva de nível / terraceamento (como café, laranja com forrageiras entre ruas), pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas
4 – Baixa / Forte	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja) com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão) com cultivo em curvas de nível / terraceamento
5 – Muito Baixa – Nula / Muito Forte	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado / gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas

Fonte: Ross (1994).

Ross (1994) associou o grau de proteção ou fragilidade dos solos diretamente ao tipo de cobertura vegetal e seu manejo, considerando a falta da cobertura vegetal, seja por desmatamento, queimadas e outros em que o fator solo exposto eleva o grau

de fragilidade ao máximo, porém, não definiu um grau de proteção e fragilidade para áreas urbanas.

Face a esta lacuna, foi adotado para essa classe de uso o grau mais elevado de fragilidade, considerando que as áreas urbanas, segundo Pedron *et al.* (2004), interferem fortemente na dinâmica da cobertura vegetal em relação aos solos, contribuindo fortemente dada sua expansão, ao desmatamento, contaminação, erosão e degradação dos solos, portanto, ocasionando um nível prejudicial equivalente ou superior à da falta de cobertura vegetal.

Após identificadas e classificadas as fragilidades para cada tipo de uso e cobertura do solo, foi elaborado o mapa correspondente ao Plano de Informações das fragilidades do uso da terra.

Para a elaboração do Plano de Informações da Cobertura vegetal nativa foi utilizado o mapa da cobertura vegetal nativa já elaborado conforme descrito em etapa anterior, o qual foi convertido em raster e reclassificado conforme a classificação de proteção / fragilidade dos solos em face da cobertura vegetal proposta por Ross (1994) apresentada anteriormente no Quadro 4.

Integração dos Planos de Informações de fragilidades

Para a integração dos Planos de Informação e obtenção de uma síntese que represente a fragilidade ambiental em escalas médias e pequenas, Ross (1994) recomenda que se faça primeiramente a integração dos planos contendo as informações das classes de fragilidades do relevo e do solo (Fragilidade potencial), resultando em um produto intermediário que posteriormente será integrado ao plano com as informações das classes de fragilidade de uso e cobertura (Fragilidade emergente) e, o resultado é reclassificado em cinco classes de fragilidades. A integração proposta por Ross, é exemplificada nas fórmulas (10) e (11).

I. Fragilidade Potencial:

$$FP = \frac{FD + FS}{2} \quad (10)$$

Em que:

FP = Fragilidade Potencial

FD = Fragilidade Dissecação

FS = Fragilidade dos Solos

II. Fragilidade Emergente:

$$FE = \left(\frac{FP+FU}{2} \right) \text{ ou } FE = \left[\frac{\left(\frac{FD+FS}{2} \right) + FU}{2} \right] \quad (11)$$

Em que:

FE = Fragilidade Emergente

FS = Fragilidade dos solos

FP = Fragilidade Potencial

FU = Fragilidade do uso da terra

FD = Fragilidade da dissecação

A integração proposta por Ross (1994), considera os fatores relevo e solo integrados em mesmo grau de relevância para que o resultado seja integrado também em equivalência de relevância ao fator uso/cobertura.

Com o intuito de gerar um mapa de fragilidade ambiental mais representativo da realidade das características físicas da área de estudo e considerando a integração das informações dos planos de fragilidade da geologia e do clima, propôs-se uma integração a partir da inferência de média ponderada por relevância das classes conforme a observação empírica das características encontradas no município de Caldas.

Para a realização da integração cartográfica através do cálculo de média ponderada, primeiramente, foram definidos pesos de relevância para cada Plano de Informação das classes de fragilidades obtidos nas etapas anteriores conforme exposto na Tabela 10.

Tabela 10 - Matriz das classes de fragilidades para integração cartográfica

Planos de Informação das Classes de Fragilidade	Pesos
Fragilidade da dissecação	0.25
Fragilidade do uso da terra / Cobertura vegetal nativa	0.25
Fragilidade do solo	0.20
Fragilidade geológica	0.15
Fragilidade do clima	0.15

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A proporção do peso para cada plano de Informação foi estipulada levando-se em consideração a integração proposta por Ross (1994) associada à observância das

características locais da área de estudo, na qual encontramos, relevo com elevado grau de dissecação, extenso uso da terra marcado principalmente pelas práticas agrícolas em áreas compostas por solos Latossolo vermelho-amarelo e cambissolo háplico.

A integração que resulta nos mapas síntese de Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente, conforme as adaptações propostas, foi obtida com a aplicação do software QGIS utilizando-se a ferramenta “Calculadora raster” configurada para executar a fórmula (12) para a integração referente a Fragilidade Potencial e a fórmula (13) para a integração referente a Fragilidade Emergente.

$$FP = \left[\frac{(FD \times 0.25) + (FV \times 0.25) + (FS \times 0.2) + (FG \times 0.15) + (FC \times 0.15)}{5} \right] \quad (12)$$

Em que:

FP = Fragilidade Potencial

FC = Fragilidade Clima

FD = Fragilidade Dissecação

FV = Fragilidade Cobertura vegetal
nativa

FG = Fragilidade Geológica

FS = Fragilidade Solos

$$FA = \left[\frac{(FD \times 0.25) + (FU \times 0.25) + (FS \times 0.2) + (FG \times 0.15) + (FC \times 0.15)}{5} \right] \quad (13)$$

Em que:

FA = Fragilidade Ambiental

FS = Fragilidade Solos

FD = Fragilidade Dissecação

FC = Fragilidade Clima

FG = Fragilidade Geológica

FU = Fragilidade do uso da terra

Realizado o procedimento para integração dos Planos de Informação, os rasters gerados foram submetidos à normalização de seus dados, sendo reclassificados em cinco classes de fragilidades que variam de “Muito Baixa” à “Muito Alta” conforme a proposta de Ross (1994). O resultado compõe os mapas de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente.

3.2.3.2 Capacidade de uso da terra

O levantamento acerca das informações que concernem à capacidade de uso da terra foi amparado na proposta de Lepsch *et al.* (1991) e visou a obtenção de uma

compreensão mais aprofundada da relação entre o uso da terra, suas potencialidades e limites, identificando possíveis tensionamentos resultantes de práticas inadequadas, levando em consideração as características locais do município de Caldas.

Determinação da capacidade de uso da terra

Em princípio, foram determinadas as classes por agrupamento primário das terras conforme suas limitações e riscos de degradação em atendimento ao que propôs Lepsch *et al.* (1991). O autor designou oito classes para a capacidade de uso da terra conforme disposto no Quadro 5.

Quadro 5 - Grupos e Classes de capacidade de uso

Grupos de classes	Classe de capacidade de uso da terra	Características
A	I	Terras cultiváveis, aparentemente sem problemas especiais de conservação.
A	II	Terras cultiváveis com problemas simples de conservação e/ou de manutenção de melhoramentos.
A	III	Terras cultiváveis com problemas complexos de conservação e/ou de manutenção de melhoramentos.
A	IV	Terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, com sérios problemas de conservação.
B	V	Terras adaptadas em geral para pastagens e, em alguns casos, para reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação, são cultiváveis apenas em casos muito especiais.
B	VI	Terras adaptadas em geral para pastagens e/ou reflorestamento, com problemas simples de conservação. São cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo.
B	VII	Terras adaptadas em geral para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação.
C	VIII	Terras impróprias para cultura, pastagens ou reflorestamento, podendo servir apenas como abrigo e proteção da fauna e flora silvestre, como ambiente para recreação, ou para fins de armazenamento de água.

Fonte: Lepsch *et al.* (1991).

Para garantir a aplicabilidade adequada na determinação das classes de uso, Lepsch *et al.* (1991) sugerem a necessidade de flexibilizar as adaptações pertinentes, levando em consideração as características específicas da área em estudo, bem como a disponibilidade de informações. Portanto, foram elencadas para a aplicação as informações já disponíveis na base de dados no formato shapefile e MDE que concernem às características do solo e da declividade.

Para a determinação da capacidade de uso da terra no município de Caldas foram avaliadas as características dos solos e suas limitações quanto a profundidade efetiva, drenagem interna, fertilidade aparente, risco de inundação e, do relevo a declividade em adaptação semelhante às realizadas por Monteiro (2016) e por Campos (2018).

O enquadramento em classes de capacidade foi realizado aplicando-se os critérios propostos por Lepsch *et al.* (1991) a partir de uma matriz de capacidade de uso da terra apresentada na Tabela 11. Essa matriz classifica as áreas de acordo com suas limitações inferindo sua aptidão de uso.

Tabela 11 - Matriz de capacidade de uso e aptidão

Limites/Aptidão		Classes de capacidade							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Profundidade efetiva	Muito profunda	X	X	X	X	X	X	X	X
	Profunda	X	X	X	X	X	X	X	X
	Moderada		X	X	X	X	X	X	X
	Rasa				X	X	X	X	X
	Muito rasa						X	X	X
Drenagem interna	Excessiva		X	X	X	X	X	X	X
	Boa	X	X	X	X	X	X	X	X
	Moderada		X	X	X	X	X	X	X
	Pobre			X	X	X	X	X	X
	Muito pobre					X	X	X	X
Fertilidade aparente	Muito Alta	X	X	X	X	X	X	X	X
	Alta	X	X	X	X	X	X	X	X
	Média		X	X	X	X	X	X	X
	Baixa			X	X		X	X	X
Risco de inundação	Muito baixa						X	X	X
	Ocasional			X		X			X
	Frequente					X			X
	Muito frequente								X
Declividade	0 – 2 %	X	X	X	X	X	X	X	X
	2 – 5 %		X	X	X		X	X	X
	5 – 10 %			X	X		X	X	X
	10 – 15 %				X		X	X	X
	15 – 45 %						X	X	X
	45 – 70 %							X	X
	Acima de 70 %								X

Fonte: Lepsch *et al.* (1991).

Para o enquadramento referente ao fator solo, a partir das informações gerais contidas no Mapa Digital de Solos elaborado em etapa anterior, foram aplicados os

critérios já mencionados, sendo adicionados os respectivos valores da classificação de classes de uso de cada tipo de solo em campo próprio na tabela de atributos do respectivo *shapefile* e, realizado a conversão do arquivo vetor para arquivo do tipo raster com o uso da ferramenta “Converter Vetor para Raster”.

O enquadramento referente ao fator declividade consistiu em efetuar a execução da ferramenta *Declividade* do software QGIS para a geração da escala de declividade seguida da aplicação da ferramenta de reclassificar mapas raster categóricos *r.reclass* no arquivo do Modelo Digital de Elevação (MDE). Foi necessária a parametrização das classes de declividade em consonância com a capacidade de uso da terra a partir do que é orientado por Lepsch *et al.* (1991).

A obtenção das classes de capacidade de uso da terra foi realizada com a intersecção dos fatores capacidade dos solos e capacidade da declividade levando-se em consideração, para cada pixel, a classe de maior restrição, ou seja, o fator que apresentava maior limitação nos mapas de solo e declividade. O procedimento consistiu na execução de uma sequência de cálculos com operadores booleanos para cada classe realizados com a ferramenta “Calculadora raster” do QGIS.

Obtida a intersecção de todas as classes de capacidade em mapas intermediários, realizou-se a mesclagem dos rasters de cada classe através da ferramenta *Mosaico* disponível no QGIS obtendo-se o mapa de capacidade de uso da terra.

Uso da terra e capacidade de uso da terra por aptidão

Para a verificação do uso adequado e de possíveis tensionamentos resultantes de práticas e ocupação inadequadas à capacidade de uso das terras no município de Caldas, foram realizados o enquadramento do uso da terra atual às classes de capacidade de uso por aptidão propostas por Lepsch *et al.* (1991) e, a extração das informações referentes a subutilização e sobreutilização.

O enquadramento do uso atual da terra foi obtido a partir da reclassificação do mapa de uso da terra já elaborado nas etapas anteriores. Na determinação da classificação do uso atual da terra, foram associadas às diferentes categorias de uso e ocupação as classes de capacidade que melhor representavam tais características.

O procedimento para extrair informações de subutilização e sobreutilização foi executado seguindo o mesmo método utilizado nos estudos de Monteiro (2016) e Campos (2018). Esse procedimento consistiu em calcular pixel a pixel em ambos os

rasters a diferença entre a capacidade de uso da terra e o enquadramento do uso atual da terra, resultando no número de classes excedentes através da fórmula (24).

$$Nce = Ccu - Cua \quad (24)$$

Em que:

Nce = Número de classes excedentes

Ccu = Classes de capacidade de uso da terra

Cua = Classe de uso atual da terra

A aplicação dessa equação apresentou para o valor negativo (-1) a subutilização da capacidade de uso da terra, para valores positivos no intervalo de 1 a 7 a sobreutilização em tensionamento, e o valor zero (0) representou o uso em conformidade com a capacidade de uso para a área em questão.

3.2.3.3 Mapeamento dos geossistemas

O levantamento para a identificação, a interpretação para classificação e mapeamento das unidades geossistêmicas da paisagem foram realizados a partir do pressuposto da divisão zonal realizada no QGIS com o uso da ferramenta “Interseção” associada à sobreposição de camadas para a integração da composição dos mapas intermediários inerentes ao relevo, litologia, solos, cobertura vegetal e uso da terra, fragilidade potencial e emergente, capacidade de uso da terra, bem como das observações e registros paisagísticos realizados com o trabalho de campo.

Dada a relevância das variáveis morfométricas no que tange à movimentação de energia pelos sistemas, foi tomada como base orientadora para a delimitação das unidades superiores representadas pelas *Classes de fácies*, as informações oriundas dos mapas de compartimentos geomorfológicos e geológico quanto à gênese do relevo e, o discernimento classificatório das integridades espaciais topológicas das unidades inferiores representadas pelos *Grupos de Fácies* foi orientado a partir das informações contidas nos mapeamentos de cobertura vegetal e uso da terra e de solos.

Ambas as interpretações, das unidades superiores e inferiores, fundamentaram-se no conjunto de suas integridades homogêneas dos tipos de

paisagens (geômeros) e heterogêneas dos indivíduos geográficos (geócoros) conforme os pressupostos de Sochava (1971, 1978).

3.2.4 O Nível normativo

O nível metodológico normativo compreendeu a busca pela correlação lógica entre os estudos que, por sua vez, incluem diversas variáveis, as quais foram organizadas conforme o fluxo proposto para uma análise e apresentação final dos resultados.

A etapa teve foco em determinar as características da área em análise conforme os diversos espectros abordados no estudo, os quais se referem à caracterização da área de estudo, englobando as inferências extraídas dos aspectos físicos, da fragilidade ambiental, da capacidade de uso da terra e dos geossistemas, servindo estes dados como base para a análise e posterior compilação, culminando na apresentação final dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSOES

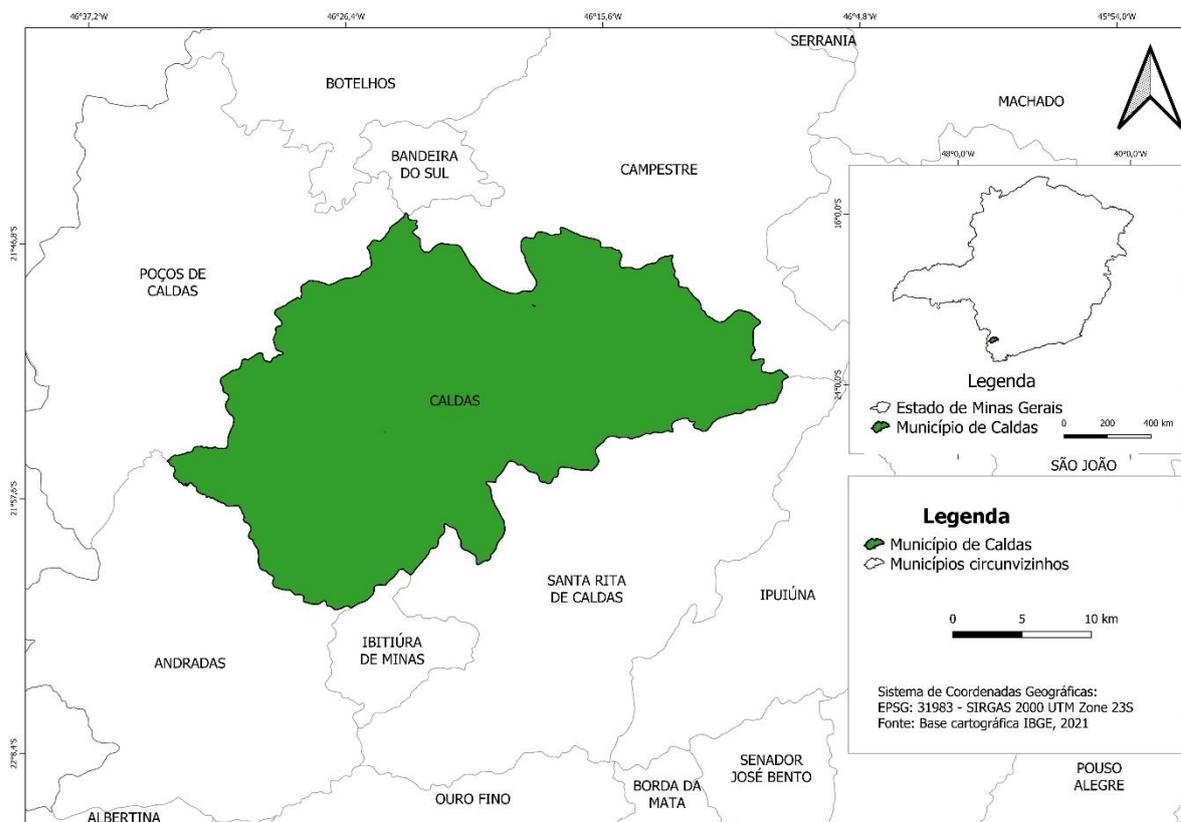
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Primeiramente é apresentada a caracterização da área de estudo, destacando sua localização geográfica e são discutidos os aspectos demográficos e econômicos e os aspectos físicos referentes à geologia, solos, clima, vegetação, hipsometria, declividade, orientação das vertentes, geomorfologia e hidrografia do município de Caldas. Cada tópico oferece informações e discussões das características socioeconômicas e físico - ambientais que moldam essa região, fornecendo uma base sólida para análises mais detalhadas e específicas.

4.1.1 Localização

Localizado na Mesorregião do Sul/Sudoeste de Minas Gerais, na microrregião de Poços de Caldas (IBGE, 2021) e inserido na bacia do Rio Grande, o município de Caldas, cujas coordenadas geográficas centrais de referência são 21°55'28" Latitude Sul e 46°23'6" Longitude Oeste (inseridas na zona UTM 23K), totaliza uma área de 711,414 km². Faz limites com os municípios de Poços de Caldas, Campestre, Bandeira do Sul, Santa Rita de Caldas, Ibitiura de Minas e Andradas, conforme observa-se na Figura 3. A principal rodovia de acesso ao município é a BR-459 ligando-o às cidades de Poços de Caldas – MG e Pouso Alegre – MG, estando distante, em termos rodoviários, 464 Km da capital mineira. (IBGE,2021).

Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo: Município de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.1.2 O município de Caldas

Inicialmente as terras do município de Caldas foram ocupadas pelos indígenas Tapuias¹ até o século XVII precedendo a ocupação por povos não originários na busca pelo ouro nas proximidades do curso do Rio Pardo. Diante à escassez do raro metal, o povoamento ocorre por volta de 1780 em face das atividades pastoris², quando os antigos mineradores buscavam uma nova atividade lucrativa e, em seguida, com o surgimento do primeiro assentamento urbano passando a área a ser conhecida como “Campos de Caldas”. As atividades agrícolas como a produção do café e culturas fixas

¹ Monteiro (2001) aponta os Tapuias como uma antiga casta de gentios que se lançaram do litoral nordeste brasileiro para as regiões Sul e Sudeste após conflitos com o grupo gentio Tupinaé, originários dos Tupi. Conhecidos como povo indígena bravo, os Tapuias compunham setenta e seis grupos distintos distribuídos pelo território brasileiro, resistiram fortemente à colonização portuguesa e foram duramente perseguidos até o século XIX.

² A Enciclopédia dos municípios brasileiros (1958) indica que a primeira instalação em Caldas após a presença dos indígenas foi a Fazenda dos Bugres, cujo proprietário, o português Antônio Gomes de Freitas é considerado seu fundador.

passam a reger a economia local nos próximos anos, alternando entre pujanças e crises até o início do tardio processo de industrialização brasileiro. (IBGE,1958).

Segundo os registros encontrados na Enciclopédia dos Municípios Brasileiros – IBGE (1958), a formação administrativa do município deu-se através de um longo processo que iniciou-se com a formação do povoado de “Rio Verde das Caldas”. Manteve-se como povoado até o ano de 1813, ano em que tornou-se a freguesia de “Nossa Senhora do Patrocínio de Caldas”³. Em 1839 foi elevada à categoria de vila nomeada “Caldas”⁴, em 1846 teve seu nome alterado para “Cabo Verde” denominação que se manteve até o ano de 1849 em que teve seu nome restaurado para Vila de Caldas. Em 1859 foi elevada à categoria de cidade⁵, fato somente reconhecido em 1874⁶.

Como município, Caldas inicialmente teve uma enorme extensão territorial englobando os distritos de Campestre, Cabo Verde, São Sebastião do Areado, Sacra Família de Santo Antônio do Machado, São José e Dores de Alfenas. Distritos que, ao longo dos anos, foram desmembrados, sofreram alterações toponímicas, sendo então emancipados. No ano de 1933 Caldas constituía-se de quatro distritos⁷, Caldas, Ibitiúra, Ipuiuna e Santa Rita de Caldas.

No ano de 1938 uma nova denominação é aplicada ao município que passa a se chamar “Parreiras”⁸ em face de sua prospecção na produção de vinhos, denominação que perdura até o ano de 1948, quando, novamente tem sua denominação restaurada para “Caldas” sendo composto neste momento pelos distritos de Caldas, Ibitiúra e Santana de Caldas. Já que em 1943, os distritos de Parreiras e Santa Rita de Caldas são desmembrados para a formação do município de Santa Rita de Caldas⁹.

³ Dado pelo Alvará nº 27, de 1813.

⁴ Dado pela Lei nº134, de 16 de março de 1839.

⁵ Ato público efetivado pela Lei nº 973, de 02 de junho de 1859.

⁶ Alteração toponímica dada pela Lei nº 2.087, de 24 de dezembro de 1874.

⁷ A Lei Estadual nº 2, de 14 de setembro de 1891 criou e anexou o distrito de Santa Rita de Cassia do Rio Claro ao município de Caldas; o distrito teve seu nome alterado pela Lei Estadual nº 513, de 11 de outubro de 1909 para Santa Rita de Caldas; a lei estadual nº 556, de 30 de agosto de 1911 cria e anexa o distrito de Ipuiuna; através da Lei Estadual nº 843, de 07 de setembro de 1923, é criado o distrito de Ibitiúra.

⁸ Alteração dada pela Lei Estadual nº 148, de 17 de dezembro de 1938 e reestabelecida pela lei Estadual nº 336, de 27 de dezembro de 1948 que também cria o distrito de Santana de Caldas.

⁹ Criação do município de Santa Rita de Caldas dada pela Lei estadual nº 1058, de 31 de dezembro de 1943.

As divisões territoriais que se seguem entre os anos de 1953 a 1983¹⁰ foram respectivamente, a criação do distrito de São Pedro de Caldas em 1953, o desmembramento e a emancipação do distrito de Ibitiúra em 1962, a criação do distrito de Laranjeiras de Caldas em 1982, e em 1983 a consolidação da configuração atual.

4.1.3 Aspectos demográficos e econômicos

Segundo os registros do censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE no ano de 2022 o município de Caldas contava com 14.2017 pessoas distribuídas em 711,414 km², o que resulta em uma densidade de 19,98 hab./km². Portanto, é o 253º município no ranking populacional em Minas gerais e o 5º na microrregião de Poços de Caldas.

Quanto a residência, 56,8% da população encontra-se na área urbana do município e 43,2% reside na área rural, a renda média mensal dos trabalhadores formais apurada no ano de 2021 é de 2,5 salários mínimos e representam 15,94% do contingente populacional frente a 33,4% da população que possui renda nominal mensal per capita de 1/2 salário mínimo. Conforme apontado pelo censo oficial, é o 47º município com maior renda para trabalhadores formais em Minas gerais e o 1º na região geográfica imediata. (IBGE, 2022).

Os estudos realizados pelo IBGE (2022) apontam que a economia local está voltada principalmente ao setor de serviços públicos e privados, atividades da agropecuária, desenvolvendo ainda a atividade industrial de médio e pequeno porte com a produção de doces e vinhos e também a extração mineral.

O Produto Interno Bruto - PIB anual de Caldas registrado no ano de 2021 conforme os dados do IBGE (2022) totaliza a monta de R\$ 337.663.042,00 em que o setor de serviços privados participa com R\$ 121.062.370,00 (35,85%), o setor de serviços públicos com R\$ 68.529.780,00 (20,29%), o setor agropecuário com o montante de R\$ 70.050.620,00 (20,75%), o setor industrial com R\$ 52.583.340,00 (15,57%) e a arrecadação de impostos com R\$ 25.436.932,00 (7,54%). Cerca de 80% do total de receitas do município é oriunda de fontes externas, o que o torna dependente das relações comerciais com outros municípios e regiões.

¹⁰ A Lei Estadual nº 1039, de 12 de dezembro de 1953, criou o distrito de São Pedro de Caldas; a Lei Estadual nº 2764, de 30 de dezembro de 1962 cria o município de Ibitiúra; a Lei estadual nº 8285, de 08 de outubro de 1982, cria o distrito de Laranjeiras de Caldas;

O levantamento realizado pelo IBGE (2022) aponta que o destaque no setor de serviços dá-se ao fato de que o município possui uma estrutura turística voltada para a realização de festas tradicionais, ao ecoturismo com visitas à Pedra Branca, Pedra do Coração, Pedra do Tripuí, Morro Grande, além de cascatas e cachoeiras e também o balneário hidrotermal.

O IBGE (2022) demonstra em sua pesquisa que a atividade agropecuária local se caracteriza pela produção e fornecimento regional de leite, batatas, café, tomate, soja, milho, feijão, uvas, pêssegos, goiaba, figo e banana, além de fornecer aos centros de distribuição regional de alimentos, o município se destaca na produção de frutas que são direcionadas como insumos para a indústria doceira e na produção de uvas para a indústria vinícola figurando como segundo maior produtor no Sul de Minas e quarto maior produtor no Estado de Minas Gerais.

O histórico econômico, segundo o IBGE (1958), indica que a atividade industrial está fortemente marcada pela produção doceira e de vinhos desde a década de 1950, cuja produção se destina a diversos Estados brasileiros e ao mercado regional.

O IBGE (2022) registra como principal extração mineral ativa uma mineradora de extração de rochas, principalmente o Sienito Café, localizada nas imediações da área de reserva da Pedra Branca. O município abriga também uma unidade das Indústrias Nucleares do Brasil – INB em que estão depositados rejeitos radioativos e encontra-se em processo de descomissionamento.

4.1.4 Aspectos físicos

4.1.4.1 Geologia

O município de Caldas insere-se na porção Sul do Orógeno Brasília próximo ao contato com o Orógeno Ribeira conforme relatam Thedeschi, Vieira e Nomo (2015). Segundo o levantamento realizado pelos autores, os orógenos Faixa Brasileira e Ribeira foram formados em épocas distintas durante a consolidação do supercontinente Gondwana. Especificamente, durante o Evento Brasileiro, que ocorreu no período Cambro-Ordoviciano, os paleocontinentes São Francisco e Paranapanema convergiram, resultando na formação da Faixa Brasília Meridional. Esta faixa é composta por um sistema de nappes de cavalgamento e foi posteriormente afetada por outra colisão, que deu origem ao Orógeno Ribeira.

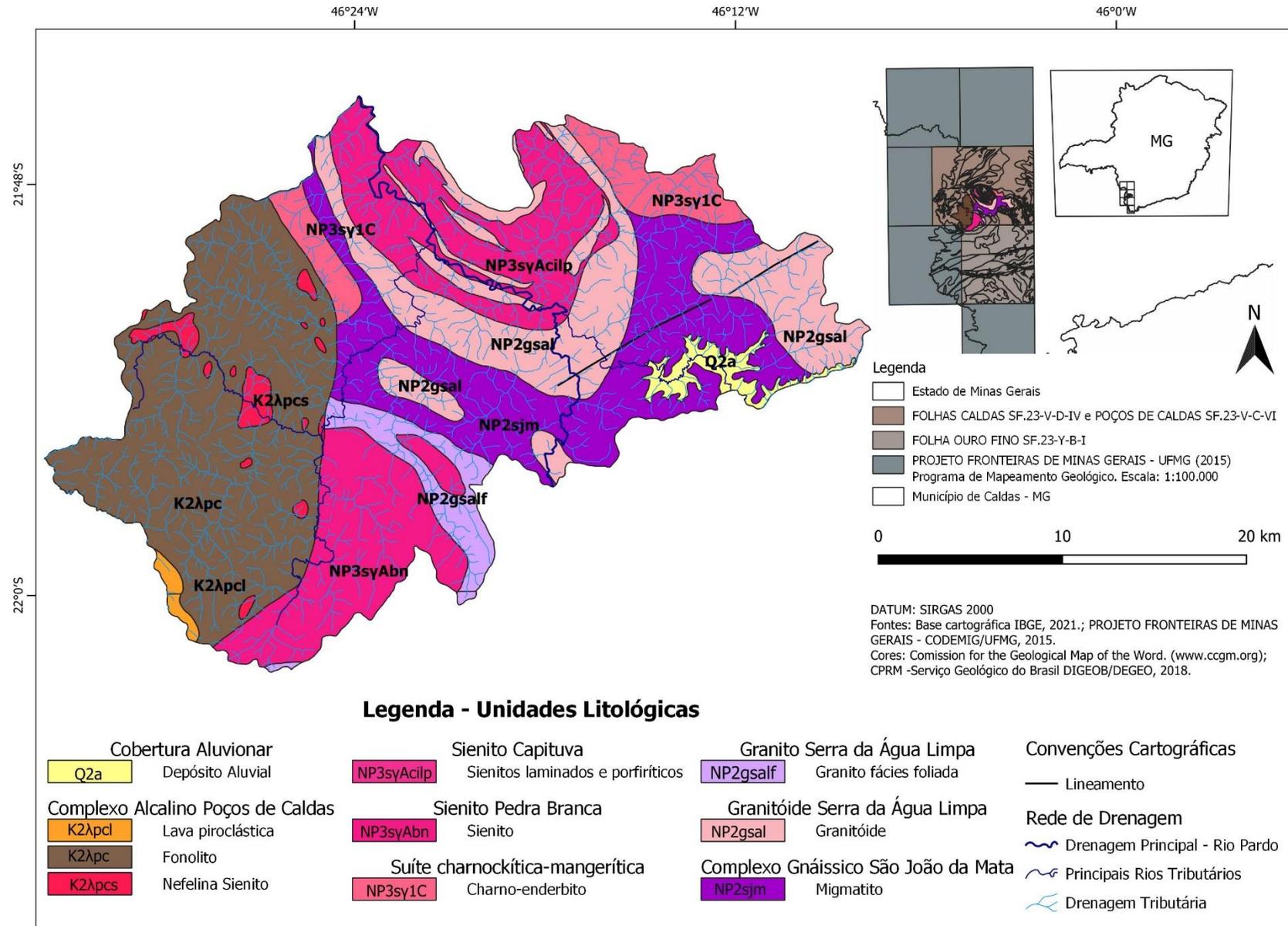
As inferências de Thedeschi, Vieira e Nomo (2015) demonstram que a área de estudo em questão, está sobre a estrutura da *nappe* Socorro – Guaxupé e na zona de interferência em que ocorrem superposições das formações dos orógenos Brasília e Ribeira.

Quanto às unidades litológicas dispostas no mapa da Figura 5 os seguintes grupos se fazem presentes no município de Caldas:

- a) rochas alcalinas cretáceas representadas através do Complexo Alcalino Poços de Caldas que se localiza na porção Oeste do município. Este complexo, segundo Thedeschi, Vieira e Nomo (2015) se compõe de fonólito, nefelina sienito, migmatito, lavas e rochas piroclásticas abrigoando ainda uma grande diversidade de recursos minerais;
- b) gnaisses neoproterozóicos representados pelo Complexo gnáissico São João da Mata e localizado na porção central até a porção Leste. Thedeschi, Vieira e Nomo (2015) inferem que este complexo é composto principalmente de gnaisses migmatíticos rosado, cinza ou avermelhado;
- c) granitóides neoproterozóicos representados pelas unidades Granito Serra da Água Limpa localizada na porção Sul e Granitóide Serra da Água Limpa que se faz presente nas porções Norte abrangendo a porção central e Leste. Thedeschi, Vieira e Nomo (2015) indicam que ambas as unidades são compostas basicamente de granitos róseos e brancos;
- d) sienitos neoproterozóicos representados pelas unidades Sienito Capituva que se distribui na porção Norte e Sienito Pedra Branca na porção Sudoeste. Em seu relatório Thedeschi, Vieira e Nomo (2015) afirmam que as unidades de sienito possuem uma considerável diversidade em sua formação e se compõem de intercalações de metasienitos porfíricos, sienito fino a médio, sienito laminado médio e médio a grosso, sienito portifírico, sienito laminados e portifíricos, e fácies de quartzo sienito;
- e) charnockitos e mangueritos neoproterozóicos representados pela unidade Suíte Charnockítica-manguerítica que se apresenta nas porções Nordeste e Noroeste. Esta unidade se compõe, segundo Thedeschi, Vieira e Nomo (2015), por rochas metaplutônicas mangerítico-charnockítico-graníticas e ocorre em um sistema de dobramentos;

- f) sedimentos cenozoicos representados pela unidade de Cobertura aluvionar localizada na porção Leste. Trata-se, segundo os apontamentos de Thedeschi, Vieira e Nomo (2015), de depósitos aluvionares compostos por sedimentos de areia média grossa e seixos.

Figura 5 - Mapa Geológico do Município de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.1.4.2 Solos

Conforme o Mapa de Solos do município de Caldas representado pela Figura 6, quatro tipos de solos se apresentam dispostos no município de Caldas.

O Latossolo Vermelho Amarelo distrófico¹¹ - LVAd25 é o solo que se apresenta em maior proporção. Ker (1997) atribui como características principais deste tipo de solo ser marcado intensamente pela intemperização e lixiviação, possuir perfis profundos, cor homogênea, traços argilosos e agregados estáveis.

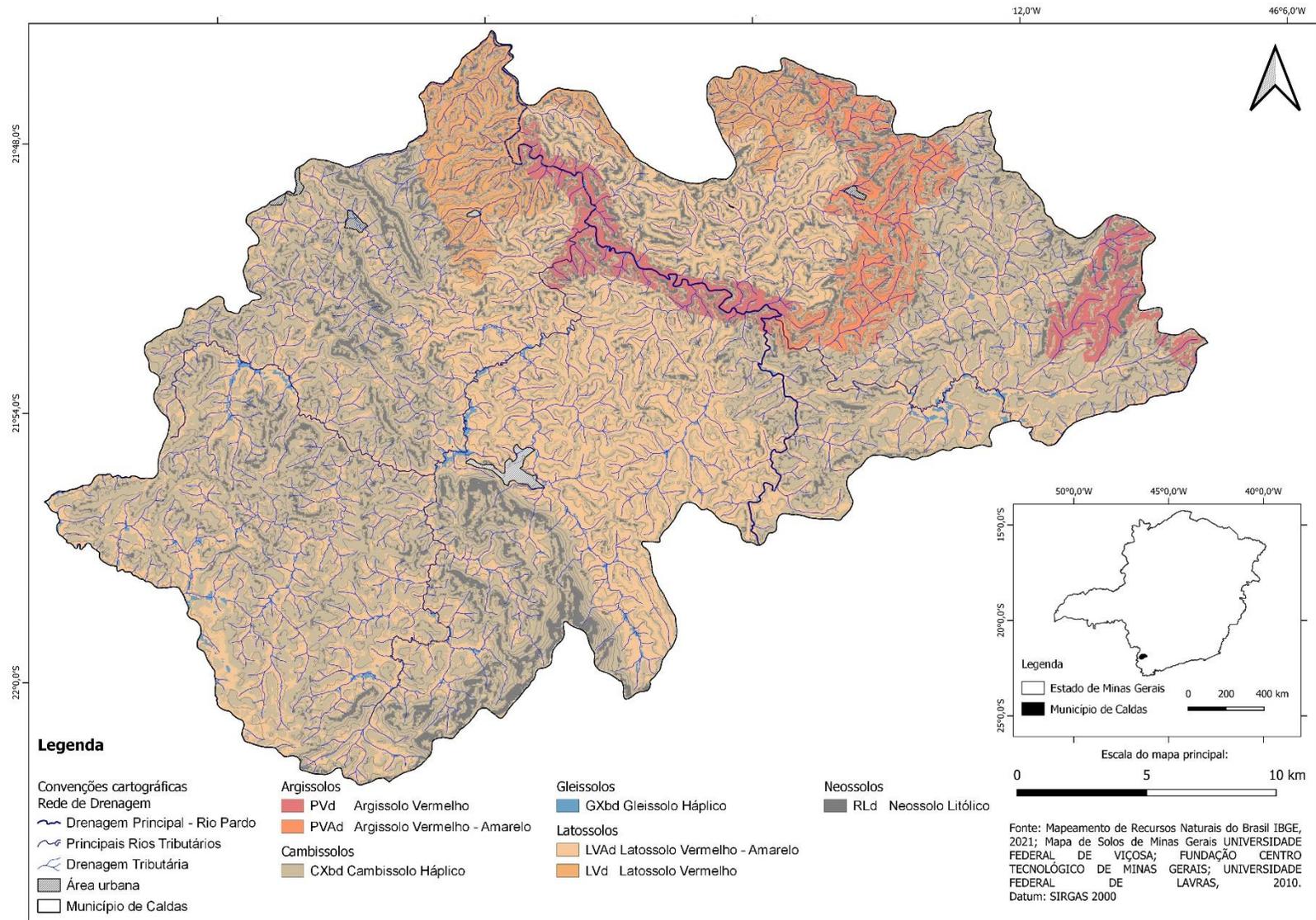
O Cambissolo Háplico distrófico – CXBd1 é a segunda maior proporção de solo que se apresenta na área de estudo. Conforme a classificação realizada pela Embrapa (2006), este tipo de solo é marcado por possuir um perfil pouco profundo, não manifestando o horizonte B ou com este horizonte incipiente, contato lítico próximo à superfície.

O Argissolo Vermelho distrófico – PVD1 é presente na porção Norte. Segundo a Embrapa (2006), este solo é marcado pela característica de traços de atividade argilosa.

O Neossolo Litólico distrófico – RLd4 encontra-se disposto na porção Noroeste. A classificação realizada pela Embrapa (2006) descreve este solo como pouco desenvolvido, desprovido de horizonte B, com alta proporção de fragmentos rochosos.

¹¹ Souza (1997) atribui como característica ao solo distrófico, a saturação por bases menor que 35% e de alumínio menor que 50%.

Figura 6 - Mapa de Solos do Município de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.1.4.3 Clima

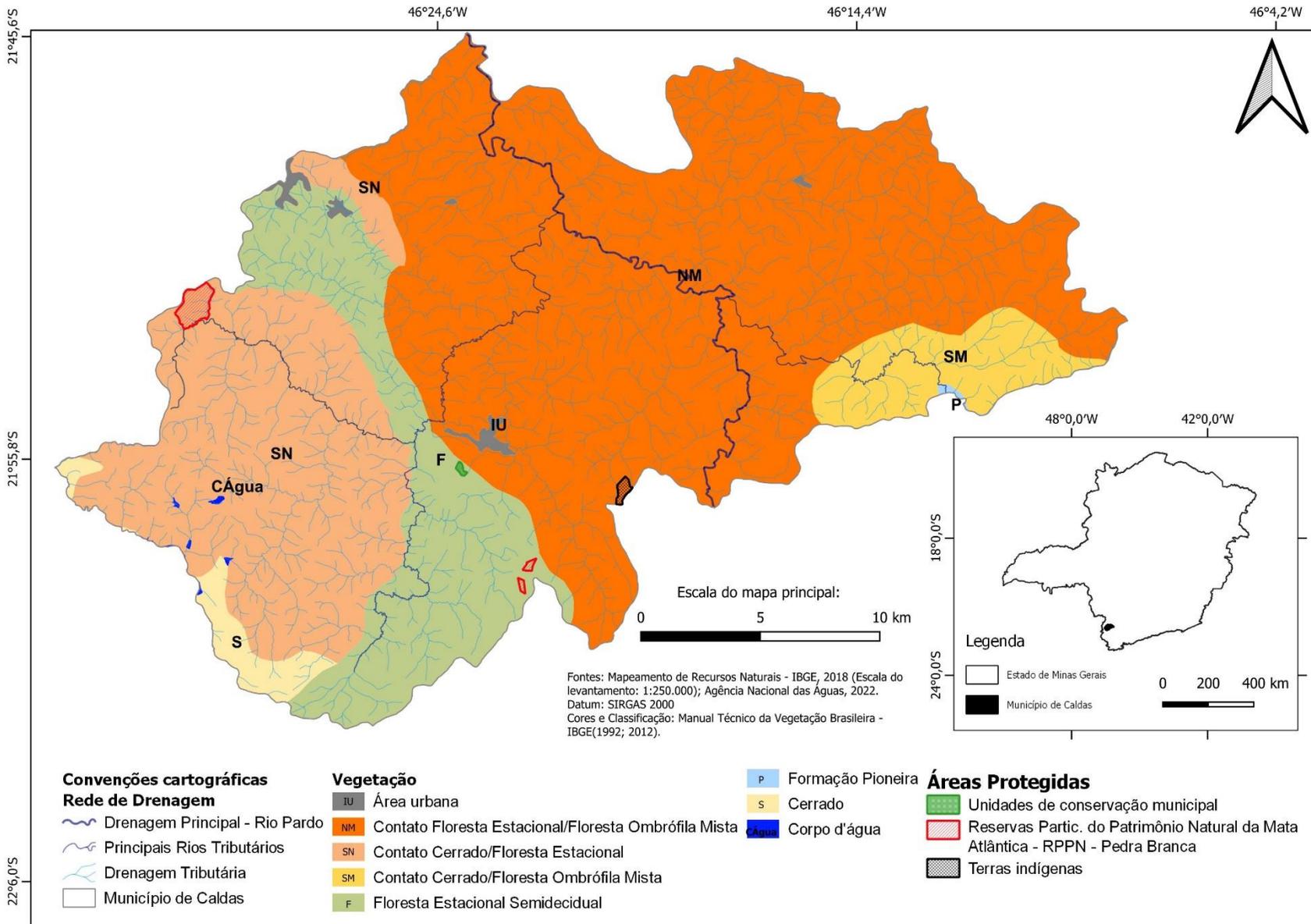
Inserida na Mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais, a área de estudo, observando o que é discutido por Ayoade (2003) a respeito das características climáticas, é abrangida pelo clima do tipo Temperado Quente - Cwa conforme a classificação de Köppen, apresentando precipitação intensificada e temperaturas elevadas durante o verão com a estação de inverno marcada como estação mais fria e seca.

De Freitas Roldão, Santos e De Oliveira (2012) apontam que a área em que o município de Caldas se insere apresenta dois comportamentos climáticos diferenciados por alterações no volume pluviométrico e de temperatura, o município de Caldas vivencia o período mais chuvoso entre os meses de outubro a março com precipitação média de 210,4 mm e o período de estiagem entre abril a setembro com precipitação média de 48,46 mm sendo o volume de precipitação anual de 1553,2 mm com temperatura média de 20°C.

4.1.4.4 Vegetação

Conforme observado no recorte apresentado na Figura 7, o município de Caldas insere-se na área do bioma da Mata Atlântica estando no limiar de transição com o bioma do Cerrado.

Figura 7 - Mapa da cobertura vegetal nativa do Município de Caldas - MG



Fonte: Mapeamento de Recursos Naturais – IBGE, 2018.

O levantamento realizado pelo IBGE (2018) demonstra que as coberturas florestais nativas que se apresentam na área são a Floresta Estacional Semidecidual, a Floresta Ombrófila Mista e encraves do Cerrado, sendo todas, coberturas manifestadas em fragmentos remanescentes.

Segundo Veloso, Rangel Filho e Lima (1991), a Floresta Estacional Semidecidual se estabelece a partir das variações climáticas estacionais marcadas pela alternância de períodos chuvosos e secos acompanhados de queda acentuada de temperatura, ocasionando perda parcial de sua folhagem. Este tipo de conjunto florestal apresenta dispersão irregular, entre as formações ombrófilas e as formações campestres.

Veloso, Rangel Filho e Lima (1991) esclarecem que a Floresta Ombrófila Mista possui como características o desenvolvimento em áreas com altitude acima de 600 metros, temperatura abaixo dos 15° no período frio, sendo marcada por uma mistura florística com presença das coníferas *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii*.

Conforme a definição apresentada por Veloso, Rangel Filho e Lima (1991), pode-se inferir que a vegetação do Cerrado se apresenta no município em encraves, desenvolve-se em climas estacionais tropicais e sua distribuição relaciona-se aos tipos de solos, ocupando planaltos interioranos. A vegetação do Cerrado possui como características principais, segundo Veloso, Rangel Filho e Lima (1991), a dominância de plantas arbóreas de porte médio ou baixo com troncos e galhos tortuosos e herbáceas.

O IBGE (2018) conclui em seu estudo que o panorama atual da cobertura vegetal no município se apresenta em níveis elevados de alteração pelas práticas agropecuárias e de reflorestamento com *Eucalyptus benthamii* e *Pinus elliottii*.

4.1.4.5 Hipsometria, declividade e orientação das vertentes

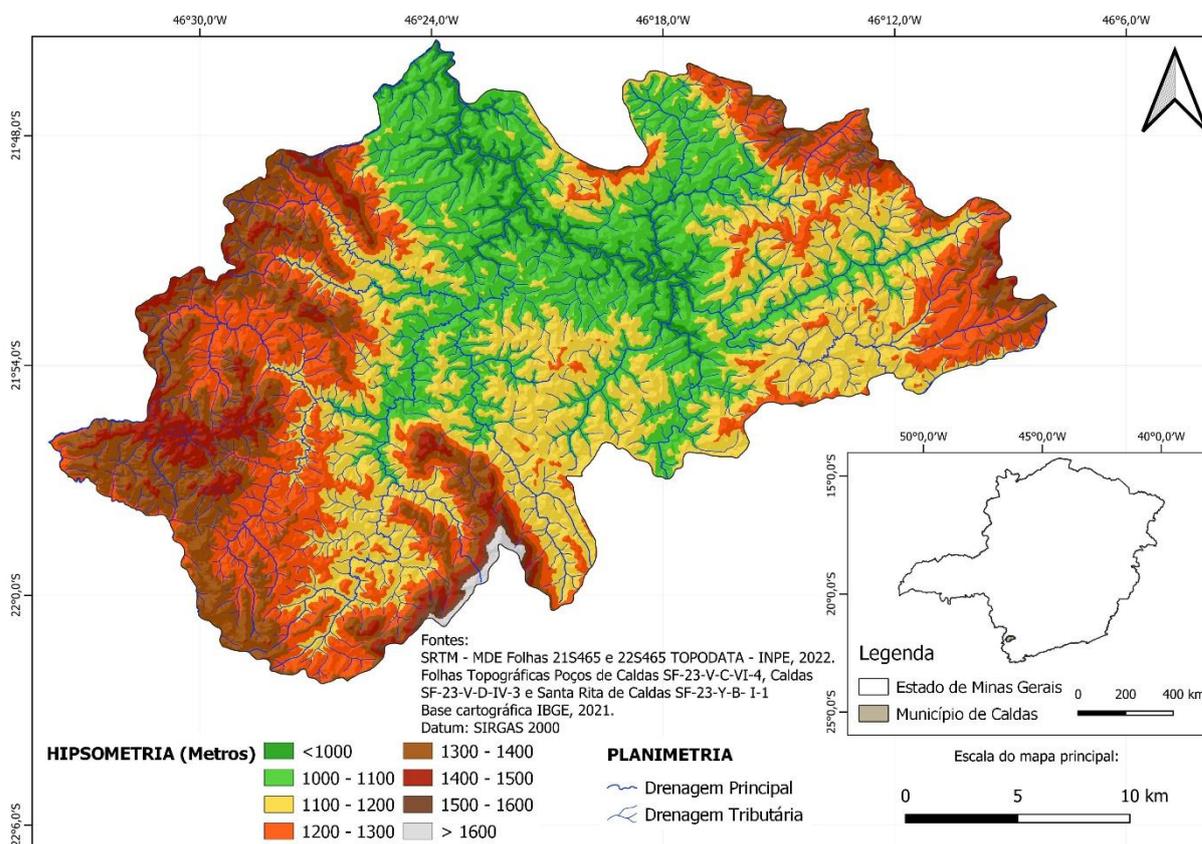
Com altitudes que variam de 944m a cotas superiores a 1600m, o perfil hipsométrico do município de Caldas se compõe de setores com diversificada diferença altimétrica que pode ser observada no mapa da Figura 8. As altitudes inferiores a 1000m estão concentradas junto aos alvéolos de planícies do Rio Pardo em que uma primeira diferença altimétrica às margens direita e esquerda é marcada

nas porções Norte, Nordeste e Central, setor em que se registra cotas superiores a 1100m, o qual estão assentados os cursos dos principais rios tributários.

Nas porções dos quadrantes a Noroeste, Oeste, Sudoeste e Sul ocorre o escalonamento do relevo com amplitude topográfica superior a 1600m, onde se encontra o anel de cristas de topo aguçado, o qual impõe diferenças altimétricas entre 300m e 500m em relação ao relevo imediatamente periférico.

As porções dos quadrantes Leste e Sudeste marcam o escalonamento altimétrico alcançando cotas superiores a 1400m representadas pela Serra do Cervo e por morros altimontanos realçando diferenças altimétricas entre 200m e 400m em relação ao relevo adjacente.

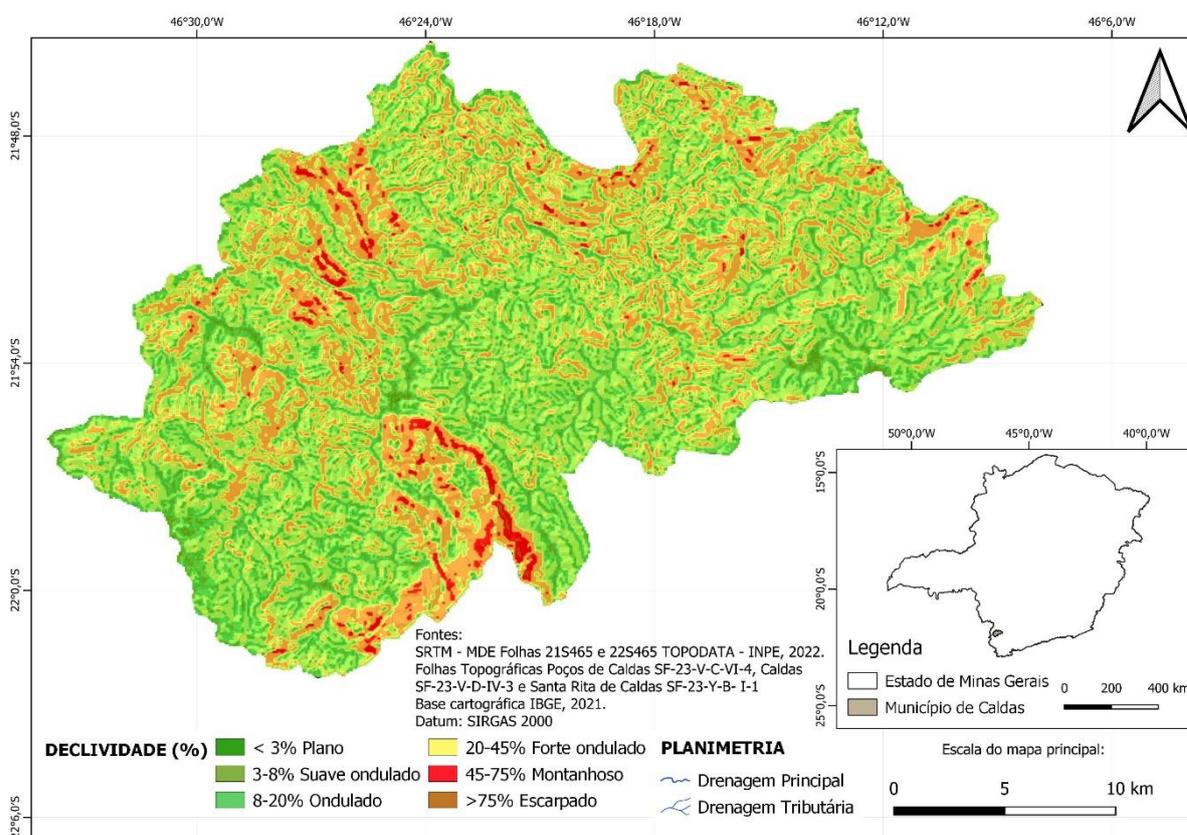
Figura 8 - Mapa Hipsométrico do Município de Caldas – MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

As maiores inclinações do terreno no município de Caldas foram identificadas nas regiões Norte, Sul, Noroeste, Nordeste e Leste, com valores percentuais variando de 45% a superiores a 75%. Estas áreas caracterizam-se por possuírem um relevo montanhoso e escarpado. Por outro lado, as áreas com menor inclinação estão localizadas nas regiões Central, Sudeste e Sudoeste, onde as declividades variam de 0% a 3%, indicando um relevo mais plano, embora algumas áreas possam apresentar declives entre 8% e 45%, representando um relevo ondulado e fortemente ondulado, como demonstrado no mapa de declividade apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Mapa de Declividades do Município de Caldas – MG



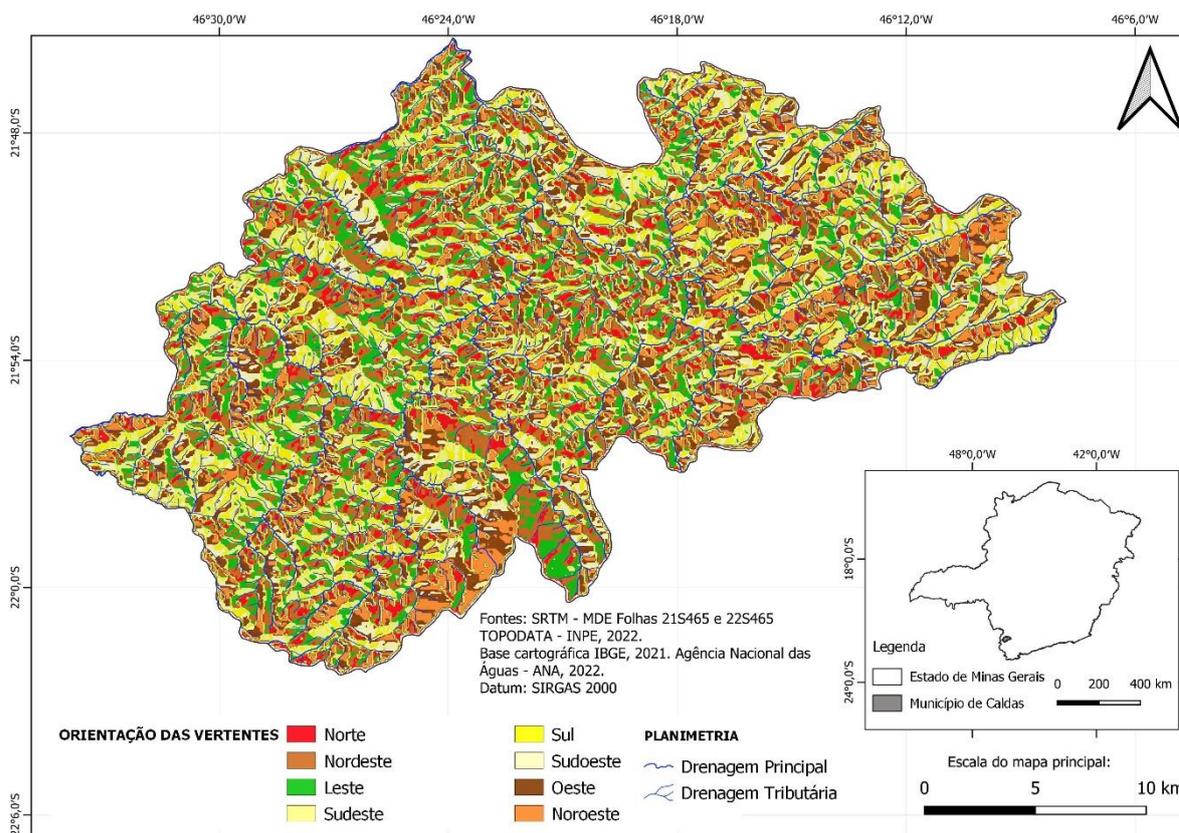
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A configuração das declividades encontradas tem implicações significativas para os processos erosivos, principalmente, nas áreas com declividades mais íngremes aumentando o potencial de erosão hídrica concentrada, a intensidade no entalhamento do relevo e o fluxo de transporte sedimentar e, a depender das características dos solos, a ocorrência de eventuais deslizamentos de terra.

O mapa de orientação das vertentes disposto na Figura 10 apresenta a direção predominante das vertentes do município de Caldas e revela uma predominância de vertentes das porções Noroeste, Oeste e Sudoeste voltadas para os quadrantes NE/SW, indicando uma tendência geral das encostas a seguir essa direção em resposta à estrutura geológica configurada pelas intrusões do Maciço Alcalino do Planalto de Poços de Caldas. As vertentes das porções Norte, Nordeste, Leste, Sudeste e Sul têm sua predominância de orientação voltadas para os quadrantes NW/SE em grande parte dado à diversidade de contatos litológicos e falhas estruturais dispostas na região do Planalto de São Pedro de Caldas.

A análise da orientação das vertentes forneceu dados importantes sobre a dinâmica do relevo na região, destacando a influência de fatores geológicos na configuração da paisagem local.

Figura 10 - Mapa de Orientação das Vertentes do Município de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.1.4.6 Geomorfologia

Considerando a classificação taxonômica do relevo proposta por Tricart (1965,1977), o primeiro nível hierárquico de classificação é o do Domínio Morfoestrutural. O município de Caldas, conforme o Mapeamento de Recursos Naturais – IBGE (2018), encontra-se inserido no Domínio Morfoestrutural dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos do Sudeste/Sul que é composto, conforme indica o Manual Técnico de Geomorfologia – IBGE (2009), por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas, em terrenos dobrados e falhados.

No âmbito do segundo nível taxonômico, destaca-se a Região Geomorfológica do Planalto Sul de Minas e no âmbito do terceiro nível encontram-se inseridos como Unidades geomorfológicas o Planalto de Poços de Caldas e o Planalto de São Pedro de Caldas. (Cavalcante *et al.*, 1979; IBGE, 2018).

No quarto nível hierárquico encontram-se principalmente Modelados de dissecação homogênea nas porções Norte, Leste e Sudeste, de dissecação estrutural na porção Centro-Oeste e de acumulação na porção Sudeste. (IBGE, 2018).

O quinto nível é marcado pelas formas do relevo. O estudo realizado por Cavalcante *et al.* (1979) indica que nas porções Centro-Oeste e Sul do município se faz presente parte de um anel de cristas de topo aguçado, alcançando cotas altimétricas acima de 1600m e, na porção Oeste, encontram-se morros de vertentes suaves com topos convexos em uma zona rebaixada com níveis altimétricos em torno de 1300m. Nas porções Norte, leste e Sudeste, conforme os apontamentos de Christofolletti (1973), são encontradas encostas serranas baixas de topo aguçado, morros altos alongados, colinas, morros baixos, morrotes, predominantemente de topos convexos e ainda, rampas de colúvio, espigões, planícies e terraços fluviais, formas que encontram-se em níveis altimétricos que variam de 944m a 1600m.

Uma síntese dos registros fotográficos dos modelados do relevo realizados durante as observações em cada campanha em campo é apresentada no Quadro 6.

O Mapa de compartimentos geomorfológicos é apresentado de forma simplificada na Figura 11 e também no Apêndice II em uma versão com melhor resolução acrescida dos respectivos perfis topográficos do modelado do relevo.

Quadro 6 - Registro fotográfico dos modelados do relevo.

(continua)

Modelados do relevo	
Denudacionais	
 <p>Cristas alinhadas de topo aguçado Localização: Lat. -21.921262, Long. -46.373676</p>	 <p>Morros e morrotes Localização: Lat. -21.914187, Long. -46.303234</p>
 <p>Cristas alongadas assimétricas Localização: Lat. -21.832792, Long. -46.291248</p>	 <p>Morros intermontanos Localização: Lat. -21.969335, Long. -46.428794</p>
 <p>Colinas Localização: Lat. -21.896858, Long. -46.253218</p>	 <p>Morros planálticos Localização: Lat. -21.918431, Long. -46.482989</p>
 <p>Morrarias altimontanas Localização: Lat. -21.824394, Long. -46.242244</p>	 <p>Pontões Localização: Lat. -21.824707, Long. -46.350742</p>
 <p>Morros alongados Localização: Lat. -21.859942, Long. -46.426694</p>	 <p>Vales estruturais encaixados Localização: Lat. -21.885190, Long. -46.266330</p>

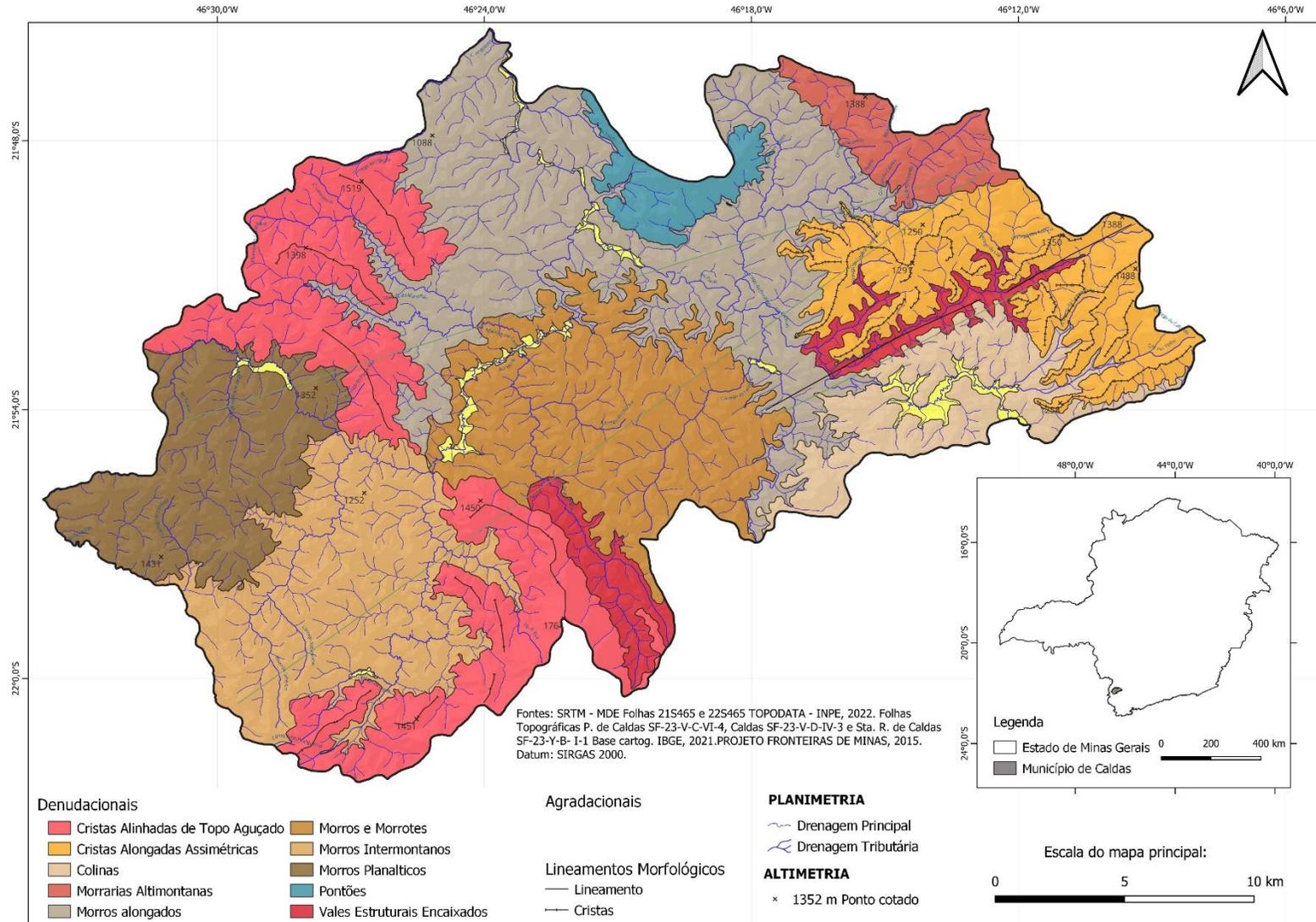
Quadro 6 – Registro fotográfico dos modelados do relevo.

(conclusão)

Modelados do relevo	
Agradacionais	
	
Planícies e terraços Localização: Lat. -21.899327, Long. -46.243405	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 11 - Mapa de Compartimentos Geomorfológicos do Município de Caldas - MG

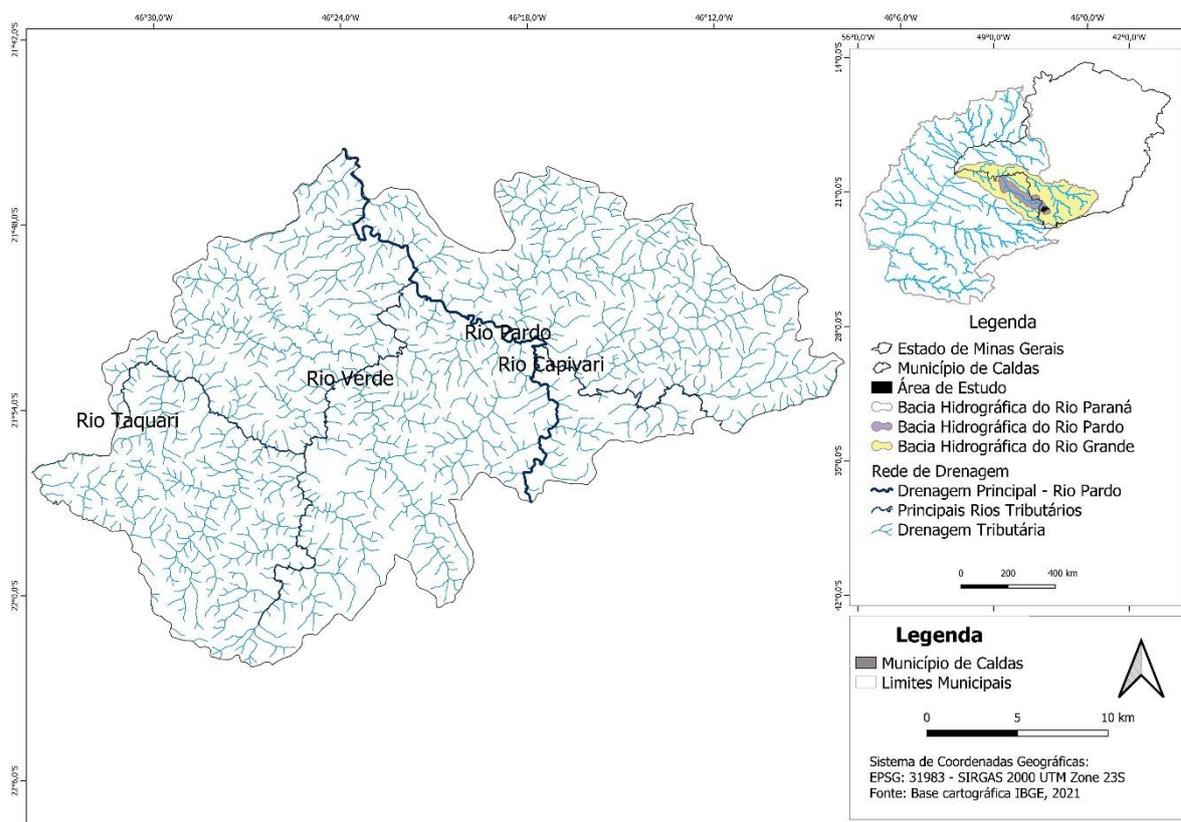


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.1.4.7 Hidrografia

A área de estudo encontra-se localizada na Macrorregião Hidrográfica da Bacia do Rio Paraná, onde insere-se a Mesorregião da Bacia do Rio Grande e nesta a Microrregião da Bacia do Rio Pardo conforme observa-se na Figura 12. (IBGE,2009).

Figura 12 - Mapa Hidrográfico do Município de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os principais rios no município de Caldas são: de primeira ordem o Rio Taquari sendo um tributário do Rio Verde, de segunda ordem o Rio Verde e o Rio Capivari sendo ambos tributários do Rio Pardo, e de terceira ordem o Rio Pardo que atravessa o município no sentido SE/NO. (IBGE, 2009).

Amparando-se na classificação da rede de drenagem pautada em critérios geométricos proposta por Howard (1967), pode-se inferir que o principal padrão da rede de drenagem no município é do tipo dendrítico, porém, outros padrões são também presentes e, em geral, relacionam-se à interferência litoestrutural junto aos elementos de superfície, no caso aqui representados pelas drenagens. (Howard, 1967, *apud* IBGE, 2009, p. 99)

Assim, quanto às propriedades das drenagens apresentam-se com graus de integração, continuidade e densidade altos, prevalecendo a tropia multidirecional, forte grau de controle, sinuosidade mista, angularidade alta, ângulos de junção variados entre agudos, retos, tendendo à predominância dos obtusos e fraca assimetria. (Lueder, 1959; Horton, 1945; Lima 2002, *apud* IBGE, 2009, p. 103-106).

4.2 FRAGILIDADE AMBIENTAL

A apresentação dos resultados referentes à Fragilidade Ambiental do município de Caldas inclui os resultados obtidos dos levantamentos de fragilidade ambiental potencial e emergente, do uso da terra e seus impactos.

São apresentados os resultados referentes à fragilidade potencial, evidenciando as áreas com maior susceptibilidade a processos de degradação e riscos ambientais, bem como a distribuição espacial das diferentes classes de fragilidade. Em seguida, são discutidas as informações sobre a fragilidade ambiental emergente, demonstrando as áreas mais sensíveis e suscetíveis a impactos decorrentes de atividades antrópicas. Por fim, são abordadas as relações entre o uso da terra e os impactos ambientais, destacando a distribuição espacial das diferentes classes de uso em relação à fragilidade potencial e emergente, evidenciando as áreas mais vulneráveis e suscetíveis a alterações ambientais.

4.2.1 Fragilidade Ambiental Potencial

Os resultados referentes à fragilidade potencial auxiliam no entendimento a respeito das características e processos naturais do meio físico impactados e na identificação das áreas com maior susceptibilidade a processos de degradação e riscos ambientais.

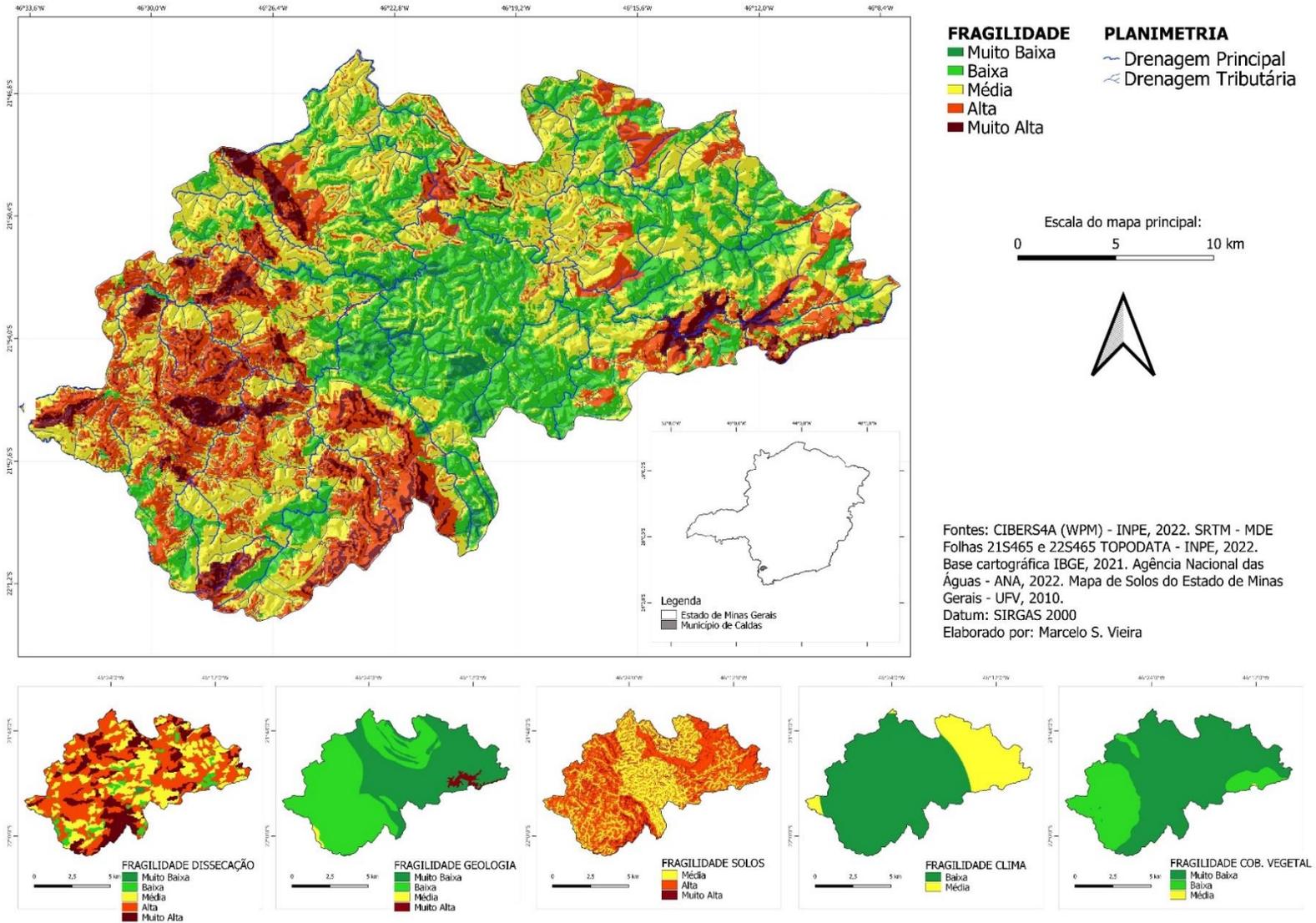
A Tabela 12 apresenta o percentual de área ocupada pelas diferentes classes de fragilidade potencial no município de Caldas conforme a distribuição espacial apresentada no mapa disposto na Figura 13.

Tabela 12 - Percentual de área das classes de fragilidade potencial do município de Caldas - MG

Fragilidade Potencial	Área	
	(km ²)	(%)
Muito baixa	13,12	1,86
Baixa	213,87	30,37
Média	272,83	38,74
Alta	159,68	22,67
Muito alta	44,73	6,35

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 13 - Mapa da Fragilidade Potencial de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Observa-se que as classes “Muito baixa” e “Baixa” de fragilidade potencial representam a maior proporção de terra no município, abrangendo as porções Sudoeste, Central, Norte, Sul, Leste e Nordeste indicando que a maior parte das terras em Caldas tem um nível relativamente baixo de susceptibilidade a alterações ambientais ou danos sob condições normais. No entanto, as classes “Muito baixa” e “Baixa”, apesar dos níveis de fragilidade inferiores às outras classes, são influenciadas por características dadas pela dissecação do relevo, bem como de solos com fragilidade variando de “Média” a “Alta”.

Portanto, embora sejam as classes menos vulneráveis dentre as analisadas, ainda requerem cuidados para evitar impactos negativos na conservação em termos de sua capacidade de suportar atividades antrópicas não intensificadas e moderadas, desde que pautadas em práticas conservacionistas.

A classe de fragilidade potencial “Média espacializada nas porções Noroeste, Oeste, Sudoeste, Leste e Nordeste indica que parte significativa da área do município tem uma susceptibilidade moderada a danos ou alterações ambientais, sendo áreas geralmente associadas ao relevo "ondulado a forte ondulado", litotipos de “Baixa” fragilidade e cobertura vegetal nativa de “Média” fragilidade, bem como solos do tipo latossolo vermelho-amarelo distrófico de fragilidade “Média”.

Por sua vez, as classes “Alta” e “Muito alta” ocupam as porções Noroeste, Oeste, Sudoeste e Sudeste, configurando áreas marcadas pela fragilidade da cobertura vegetal nativa classificada como “Média”, solos com fragilidade variando entre as classes “Média” a “Alta” referente aos solos latossolo vermelho-amarelo distrófico com elevado grau de intemperismo e lixiviação e, cambissolo háplico distrófico de profundidade rasa e contato lítico próximo à superfície. São representadas por espaços que têm elevada susceptibilidade a danos ambientais ou alterações, sendo de particular importância do ponto de vista da conservação.

4.2.2 Fragilidade Ambiental Emergente

Uma vez obtidos e analisados os resultados referentes à fragilidade ambiental potencial, analisou-se as informações referentes à fragilidade ambiental emergente que demonstram a configuração atual e relações de impacto antrópico no município.

A Tabela 13 apresenta o percentual de área ocupada pelas diferentes classes de fragilidade ambiental emergente no município de Caldas, sendo essencial para

compreensão da sua distribuição espacial e para a identificação e análise das áreas mais sensíveis e suscetíveis a impactos negativos representadas no mapa da Figura 14.

Tabela 13 - Percentual de área das classes de fragilidade ambiental emergente do município de Caldas - MG

Fragilidade Ambiental Emergente	Área	
	(km ²)	(%)
Muito baixa	18,44	2,62
Baixa	60,39	8,57
Média	136,36	19,36
Alta	233,54	33,16
Muito alta	255,58	36,29

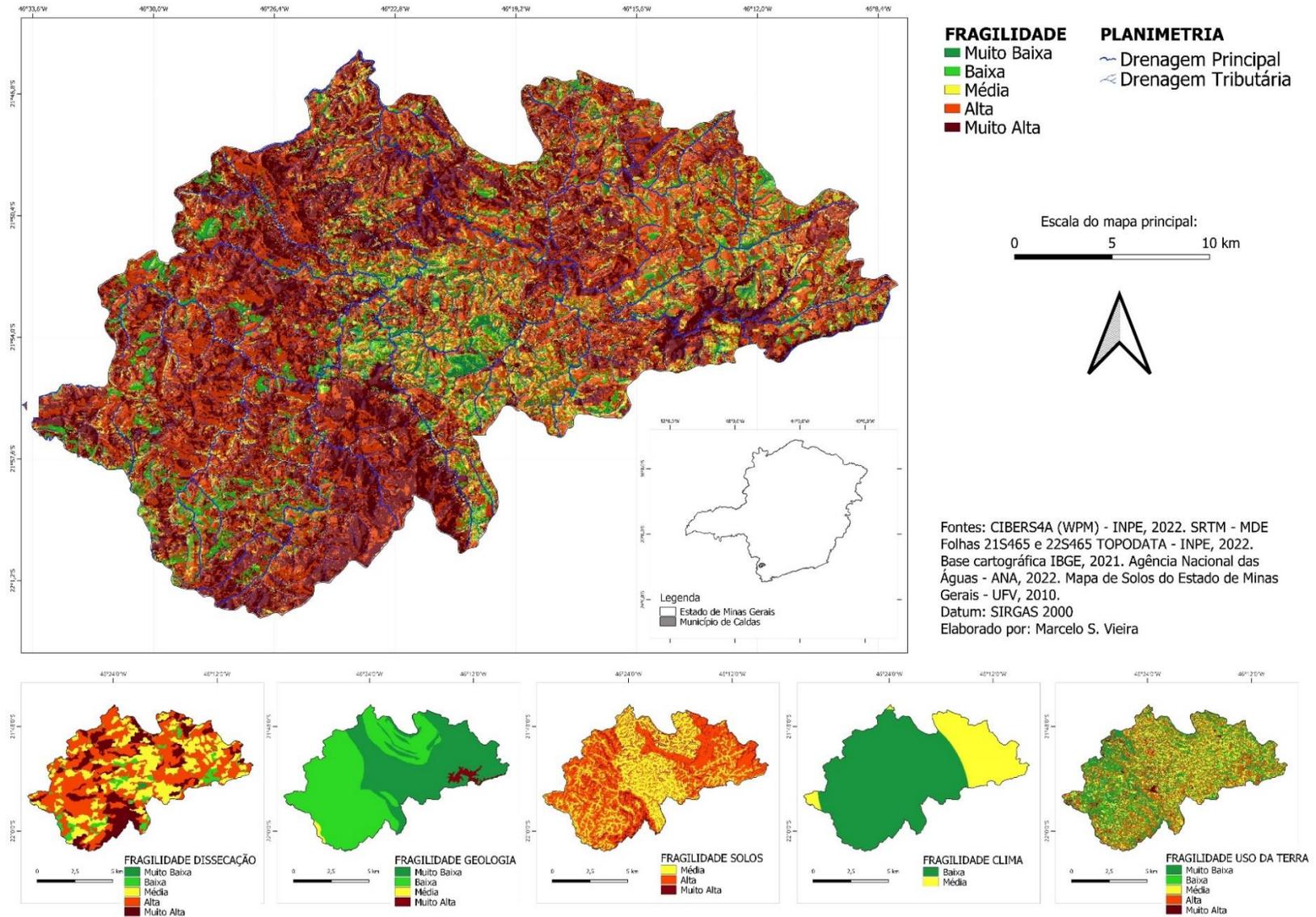
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Verificou-se que as classes “Muito baixa” e “Baixa” de fragilidade ambiental abrangem pequenas áreas nas porções Oeste, Sudoeste, Central, Sudeste e Leste, geralmente associadas a ecossistemas conservados e com menor pressão antrópica. Os baixos valores referentes à espacialização dessa classe indicam a escassez de áreas com boas condições de conservação e menor risco de degradação ambiental.

As áreas com “Média” fragilidade ambiental encontram-se distribuídas de forma mais homogênea na maioria das porções e uma manifestação mais concentrada na porção Central. Configuram-se como áreas intermediárias, onde podem ocorrer impactos ambientais moderados. Essas áreas abrangem ambientes mais suscetíveis a determinados distúrbios, indicando a necessidade de medidas de manejo e conservação adequadas.

A classe “Alta” de fragilidade ambiental abrange uma área significativa do município. Essa classe engloba áreas mais sensíveis e vulneráveis a impactos negativos que se distribuem principalmente nas porções Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste incluindo espaços com solos mais suscetíveis à erosão, áreas degradadas ou sujeitas a riscos ambientais. A alta porcentagem dessa classe indica a presença de extensas áreas que requerem maior atenção e cuidado face às fortes pressões socioeconômicas como a atividade agrícola e o desmatamento.

Figura 14 - Mapa da Fragilidade Ambiental Emergente de Caldas – MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A classe “Muito alta” de fragilidade ambiental é a de maior abrangência. Compõe-se de áreas extremamente sensíveis e propensas a impactos significativos, com elevado risco de degradação ambiental e perda de recursos naturais, suas maiores manifestações estão localizadas nas porções Norte, Sul e Sudeste do município. Essas áreas incluem encostas íngremes, solos frágeis, solos expostos, atividades de mineração ou ecossistemas altamente sensíveis como as planícies fluviais e formações pioneiras.

Os dados analisados demonstram que o município de Caldas apresenta um preocupante cenário quanto à distribuição das classes de fragilidade ambiental emergente “Alta” e “Muito alta” que ocupam a maior parte do território. Isso sugere que grande parte do município se compõe de áreas sensíveis e pouco conservadas, sujeitas a riscos e impactos negativos significativos.

4.2.3 Uso da terra e impactos

Os resultados obtidos quanto ao uso da terra em Caldas colaboram para o entendimento a respeito das pressões antrópicas sobre áreas naturais. As relações entre o uso da terra e as fragilidades potencial e emergente destacam a importância de um manejo conservacionista para essas áreas.

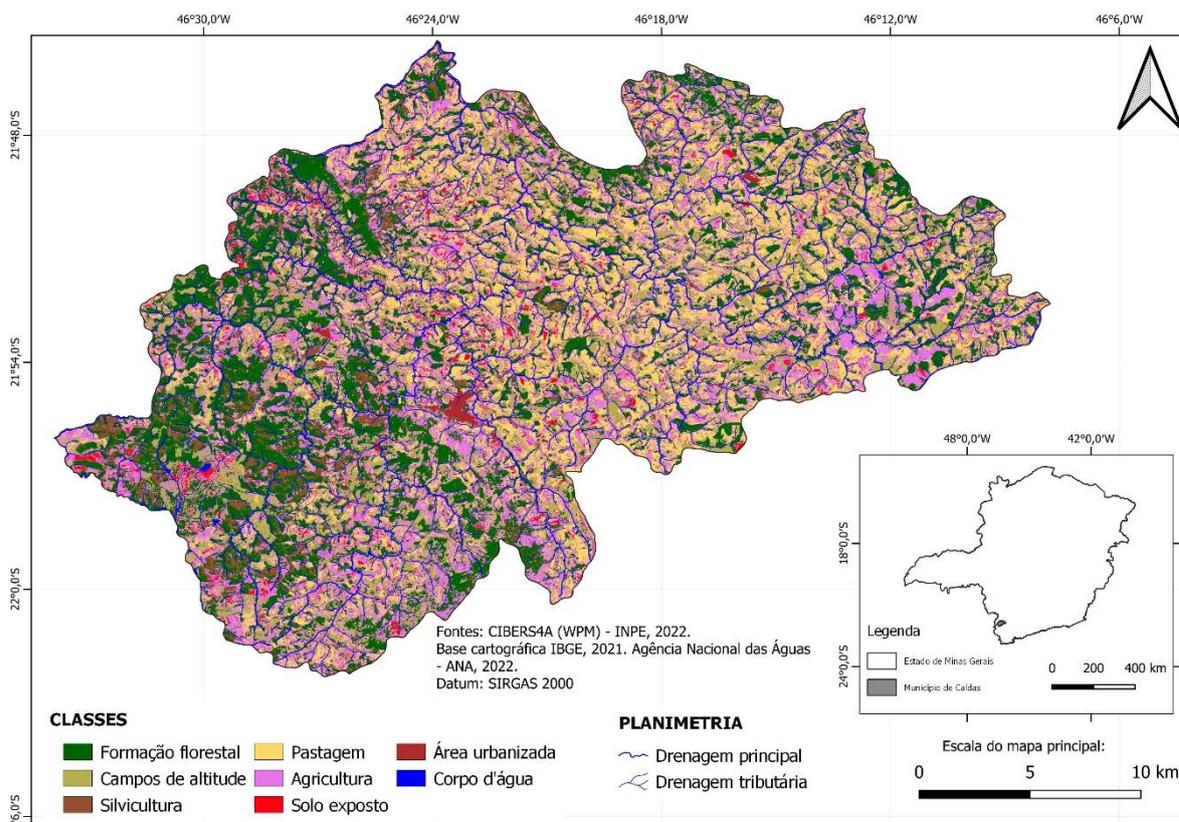
A Tabela 14 apresenta o percentual de área ocupada por diferentes classes de uso da terra no município de Caldas, cuja distribuição espacial é representada pelo mapa disposto na Figura 15.

Tabela 14 - Percentual de área do uso da terra no município de Caldas - MG

Classes de uso	Área	
	(km ²)	(%)
Formação florestal	189,40	26,63
Campos de altitude	112,94	15,88
Silvicultura	29,25	4,11
Pastagem	148,18	20,84
Agricultura	203,01	28,55
Solo exposto	20,14	2,83
Área urbana	6,44	0,91
Corpo d'água	1,79	0,25

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 15 - Mapa de uso da terra do município de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Verifica-se que a agricultura é a atividade que ocupa a maior porção de terra do município. Essa classe de uso inclui áreas destinadas ao cultivo agrícola, como plantações de grãos, frutas e hortaliças. A alta porcentagem de áreas agrícolas indica que a atividade agrícola é uma importante fonte de subsistência e renda para a população local, no entanto, a proporção da área também sugere uma forte pressão de sua expansão sobre os meios naturais.

A formação florestal ocupa porções localizadas principalmente à Noroeste e Oeste. Essa classe abrange as áreas de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual, remanescentes de grande importância para a conservação da biodiversidade, proteção dos recursos hídricos, solos e mitigação das mudanças climáticas. A espacialização desta classe sugere que o município ainda possui significativas áreas de cobertura vegetal nativa.

Os campos de altitude englobam em sua maioria áreas em altitudes elevadas nas porções Norte, Oeste, Leste, e Central, cujo relevo se compõe de serras e morros. Essa fitofisionomia desempenha um papel importante na manutenção da biodiversidade, pois abriga espécies adaptadas a essas condições específicas, típicas

de encraves de cerrado. Dada suas características, sofre forte degradação face ao seu uso como pastagem.

A silvicultura ocupa áreas convertidas ao cultivo de árvores para fins comerciais, como plantações de *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii*. A presença dessa classe aponta para a crescente substituição da formação florestal nativa.

A pastagem ocupa área significativa do município representando áreas destinadas à criação de animais, principalmente gado bovino.

Os solos expostos incluem áreas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, geralmente devido à degradação do solo, erosão ou atividades de mineração. A presença dessas áreas indica processos de degradação ambiental em algumas áreas do município.

A área urbana engloba as áreas urbanizadas do município, como a cidade, seus distritos, vilas e pequenos vilarejos.

Os corpos d'água representam as áreas de água doce, como açudes e represas. A presença dessas áreas associa-se a disponibilidade de recursos hídricos e a atividade de piscicultura.

A Tabela 15 apresenta o percentual de área de diferentes usos da terra em relação às classes de fragilidade potencial em Caldas.

Tabela 15 - Percentual de área do uso da terra nas classes de fragilidade potencial.

Classes de uso	Área (%)				
	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Formação florestal	18,77	20,00	25,81	33,52	41,56
Campos de altitude	16,14	16,16	16,18	15,52	14,08
Silvicultura	2,19	1,90	3,66	7,19	6,57
Pastagem	26,00	26,99	21,29	14,64	8,98
Agricultura	30,84	29,97	28,99	26,50	26,35
Solo exposto	4,58	3,37	2,90	1,96	2,07
Área urbana	1,15	1,31	0,89	0,55	0,30
Corpo d'água	0,34	0,30	0,28	0,12	0,09

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Verifica-se que as áreas classificadas como “Baixa” fragilidade potencial, cujo uso é marcado pela agricultura e pela pastagem, indica um uso da terra relativamente

compatível a esta classe, com destaque para a presença significativa de áreas florestais, que contribuem para a sua conservação.

Os campos de altitude estão em áreas que possuem características específicas, como solos rasos, altas declividades e altitudes elevadas, que limitam seu uso a algumas atividades antrópicas, mas permitem o estabelecimento dessa fitofisionomia.

A silvicultura contracenana, em geral, com áreas de fragilidade “Alta” e “Muito alta”, fato que se entende como negativo considerando que essas áreas não são adequadas para o cultivo intensivo de plantio comercial.

A pastagem está predominantemente espacializada nas áreas das classes “Muito baixa”, “Baixa” e “Média”. Essa configuração sugere uma forte tendência da pressão expansiva das atividades agropastoris em face da degradação ocasionada pela substituição da vegetação nativa.

A distribuição espacial das práticas agrícolas ocorre de forma significativa em todas as classes de fragilidade ambiental potencial, sugerindo um padrão de forte expansão direcionado às áreas com fragilidade “Alta” e “Muito alta” e às áreas inadequadas para a agricultura convencional.

O solo exposto é relativamente distribuído de maneira uniforme em todas as classes de fragilidade potencial. Entretanto, as menores manifestações de solo exposto ocorrem nas áreas de “Alta” e “Muito alta” fragilidade em face da elevada dissecação e fortes declividades que caracterizam esses espaços.

O maior volume de distribuição da classe de uso urbano está em áreas das classes de “Baixa” e “Média” fragilidade potencial. As áreas urbanas nas áreas de “Alta” e “Muito alta” fragilidade possuem reduzido volume de ocupação, geralmente essas áreas estão associadas a condições adversas para a construção e a vida humana.

Os corpos d'água estão majoritariamente presentes nas áreas de fragilidade potencial “Muito baixa” “Baixa” e “Média” com rara manifestação nas áreas da classe de fragilidade “Muito alta”.

As características anteriormente descritas sugerem que o uso da terra em Caldas é fortemente influenciado pela declividade do relevo, evidenciando um padrão de distribuição espacial das classes de uso antrópico ligado às facilidades de ocupação e expansão desses usos, alterando fortemente a fragilidade potencial do ambiente, fato que impõe às áreas das classes de fragilidade potencial “Muito baixa”,

“Baixa” e “Média” os maiores impactos, como o aumento na susceptibilidade à processos de degradação e riscos ambientais, o que sugere que essas áreas podem necessitar de gestão e planejamento especial para minimizar o impacto ambiental.

A Tabela 16 apresenta o percentual de alteração de área nas classes de fragilidade potencial do município de Caldas-MG, em comparação com a fragilidade emergente. Esses dados permitiram identificar como a fragilidade potencial difere da fragilidade emergente em termos de alteração da área, principalmente a respeito dos terrenos que podem ter sofrido mudanças significativas no uso da terra e na susceptibilidade à degradação.

Tabela 16 - Percentual de alteração de área das classes de fragilidade potencial do município de Caldas - MG

Classes de Fragilidade	Área (km ²)		
	Fragilidade Potencial	Fragilidade Emergente	Alteração (%)
Muito baixa	13,12	18,44	+41
Baixa	213,87	60,39	-72
Média	272,83	136,36	-50
Alta	159,68	233,54	+46
Muito alta	44,73	255,58	+471

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os dados contidos na Tabela 16 auxiliam a compreensão sobre a dinâmica de alteração das classes de fragilidade potencial do município de Caldas.

A classe de fragilidade potencial “Muito baixa” teve sua área de abrangência expandida, o que sugere, mesmo que de forma incipiente, o recebimento de alguma atenção quanto às práticas conservacionistas de manejo.

É verificado que uma proporção significativa das áreas antes abrangidas pelas classes de fragilidade potencial “Baixa” e “Média”, menos suscetíveis à danos ambientais, se tornaram mais vulneráveis em decorrência da intensificação das atividades antrópicas. Fato este que indica a ocorrência de intenso processo de conversão do uso da terra, cujo desdobramento é a elevação de sua fragilidade para as classes mais elevadas.

As áreas de fragilidade potencial “Alta” e “Muito alta” demonstram aumentos extremamente expressivos e revelam uma transformação preocupante, pois evidenciam que um volume considerável de terras evoluiu de um estado de menor

fragilidade para um de maior fragilidade. Sendo provável que essas áreas tenham sofrido fortes pressões antrópicas que ocasionaram uma deterioração rápida e significativa da sua condição.

A magnitude das mudanças, especialmente nas abrangências das classes de fragilidade potencial “Alta” e “Muito alta”, são sinais alarmantes de degradação ambiental que, por sua vez, carecem de urgente atenção quanto às práticas de manejo conservacionistas.

A Tabela 17 apresenta o percentual de área do uso da terra nas diferentes classes de fragilidade ambiental emergente no município de Caldas e permite identificar como o uso da terra pode impactar a sensibilidade ambiental em diferentes áreas.

Tabela 17 - Percentual de área do uso da terra nas classes de fragilidade ambiental emergente.

Classes de uso	Área (%)				
	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Formação florestal	82,58	72,72	47,64	28,40	2,70
Campos de altitude	12,37	19,05	26,13	21,89	5,27
Silvicultura	0,00	0,36	1,31	3,73	6,56
Pastagem	1,17	5,80	20,40	28,18	17,80
Agricultura	0,00	0,72	4,40	17,26	58,02
Solo exposto	0,00	0,00	0,05	0,42	7,26
Área urbana	0,00	0,00	0,00	0,09	2,39
Corpo d'água	3,88	1,36	0,09	0,03	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Em apreciação à Tabela 17, verificou-se a relação entre a proporção de cobertura vegetal nativa e a diminuição da fragilidade ambiental. Isso indica que as áreas com menor fragilidade ambiental emergente têm uma expressiva cobertura de florestas nativas e remanescentes. Essa relação é positiva, uma vez que a presença de florestas contribui para a proteção dos recursos naturais, conservação da biodiversidade e mitigação dos impactos ambientais. Inversamente, a proporção das classes de uso relacionadas às práticas antrópicas (Silvicultura, pastagem, agricultura, solo exposto e área urbana) está correlacionada ao aumento da fragilidade ambiental emergente.

Essa relação indica que espaços com fragilidade “Média” são mais suscetíveis à conversão de vegetação natural para pastagens e na classe de fragilidade emergente “Alta”, por sua vez, indica uma maior expansão das atividades agrícolas em áreas mais sensíveis e vulneráveis. Tal configuração tende a resultar em pressões adicionais sobre os recursos naturais, incluindo desmatamento e degradação do solo.

As áreas mais vulneráveis e sensíveis são aquelas onde o solo encontra-se exposto e suscetível à erosão e à degradação ambiental a exemplo das culturas temporárias sem o cuidado de práticas conservacionistas e como a presença da mineração.

4.3 CAPACIDADE DE USO DA TERRA

Os resultados aqui apresentados abordam a capacidade de uso da terra no município de Caldas, MG, oferecendo uma análise das diferentes classes de capacidade do uso da terra. Inicialmente, são apresentadas as classes de capacidade do uso da terra, destacando suas características e restrições para diferentes tipos de uso. Em seguida, são discutidas as classes de capacidade do uso atual da terra, revelando como as terras estão sendo utilizadas atualmente e como essa utilização se relaciona com a capacidade de uso inerente do solo. O uso excedente da terra também é abordado, evidenciando as áreas que estão sendo subutilizadas, usadas conforme a capacidade e sobreutilizadas, com implicações significativas para a conservação ambiental. Por fim, são apresentados os dados sobre o uso atual da terra em cada classe de capacidade de uso, destacando padrões de uso predominante e suas possíveis consequências para o meio ambiente e a economia local.

4.3.1 Classes de capacidade do uso da terra

A Tabela 18 apresenta os percentuais de área do município de Caldas, de acordo com as diferentes classes de capacidade de uso da terra que são caracterizadas logo abaixo. A capacidade de uso da terra refere-se à aptidão de uma determinada área de terra para suportar diferentes tipos de uso sem sofrer degradação a longo prazo.

Tabela 18 - Percentual de área conforme classes de capacidade de uso da terra

Classes de Potencial / Capacidade de uso da terra	Área	
	(km ²)	(%)
III	169,97	23,91
IV	156,58	22,02
VI	373,88	52,59
VII	10,01	1,41
VIII	0,55	0,08

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A classe III é caracterizada pelo uso moderado, com algumas restrições para o cultivo, como a necessidade de práticas de conservação do solo. Ainda que essa classe não seja ideal para o cultivo intensivo, ela pode, conforme orientam Lepsch *et al.* (1991), comportar práticas agrícolas, desde que sejam empregadas técnicas apropriadas de manejo do solo e da água.

A classe IV, com restrições mais severas para o cultivo, geralmente é adequada para pastagens ou florestas, mas não para o cultivo regular, a menos que sejam aplicadas medidas corretivas e de conservação intensivas.

As terras na classe VI, que representam a maior parte da área do município, têm sérias limitações que as tornam inadequadas para o cultivo e são mais adequadas para pastagens ou outro potencial de uso que resguarde sua conservação. Qualquer tentativa de cultivo nestas terras sem as devidas práticas de manejo pode resultar em degradação do solo.

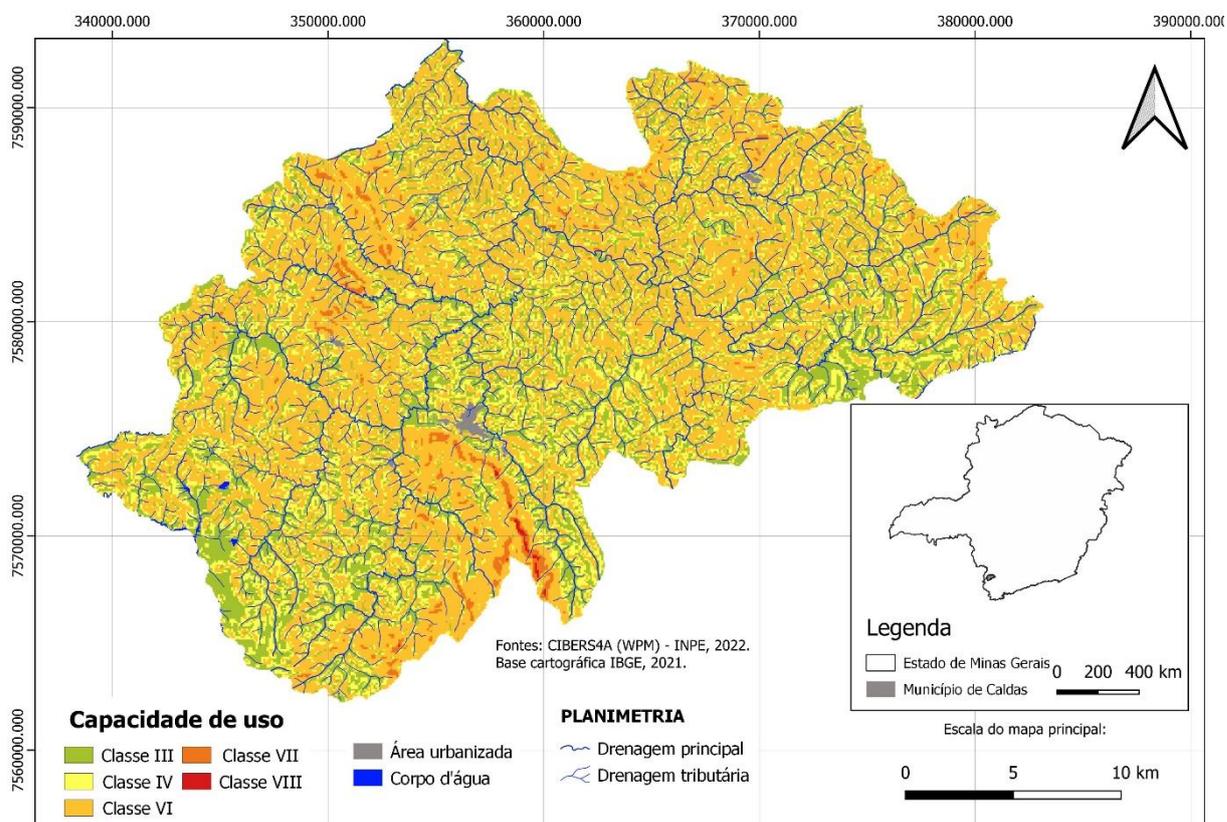
As classes VII e VIII, que representam as menores porções de terra no município de Caldas, possuem limitações severas que geralmente as tornam inadequadas para o cultivo ou pastagem, sendo mais apropriadas para a conservação de recursos naturais e visitação turística controlada.

A análise destes dados indica, conforme a classificação proposta por Lepsch *et al.* (1991), que a maior parte das terras em Caldas possuem sérias limitações para o cultivo, onde práticas agrícolas intensivas podem resultar em degradação ambiental se não forem devidamente geridas.

Observa-se a partir da análise do mapa na Figura 16 que as classes mais limitantes, classes VII e VIII, estão distribuídas espacialmente em grande parte do território, no entanto, nas porções Sul e Noroeste manifestam-se com maior

representatividade, área em que se encontram localizadas cristas alinhadas com forte declividade.

Figura 16 - Mapa da Capacidade de uso da terra Município de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.3.2 Classes de capacidade do uso atual da terra

A Tabela 19 dispõe os percentuais de área do município de Caldas de acordo com as diferentes classes de capacidade do uso atual da terra e, refletem a intensidade do uso atual.

Tabela 19 - Percentual de área conforme capacidade do uso atual da terra

Classes do uso atual da terra*	Área	
	(km ²)	(%)
I	20,14	2,87
V	261,09	37,15
VI	203,01	28,88
VII	29,25	4,16
VIII	189,39	2,87

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Legenda: *Classes de capacidade de uso vide Quadro 5 pág. 63.

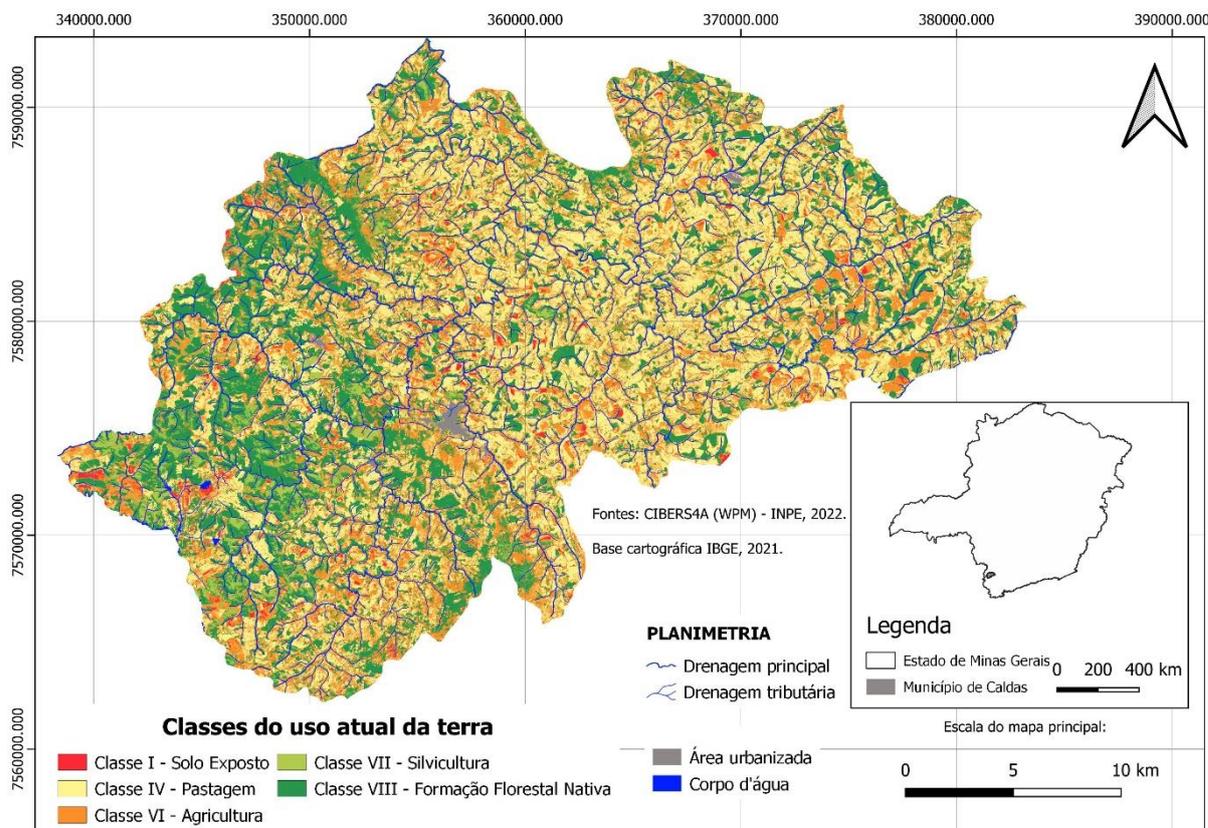
A classe I, abrange terrenos que estão sem cobertura vegetal, seja pelo intervalo entre a produção do cultivo temporário ou ocasionada pela degradação de práticas não conservadoras e agressivas como a mineração.

A classe V, que compõe a maior parte da área, está sendo usada principalmente para pastagens e, dado a este volume, sugere que uma quantidade substancial de terra com esse tipo de uso não está em sintonia com a capacidade inerente do solo. Esse uso se apresenta, conforme se observa no mapa da Figura 16, distribuído intensamente nas porções Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Central e, em menor proporção, na porção Oeste.

A classe VI, que compreende terras que estão sendo usadas para o cultivo, conforme as observações em campo, estão geralmente associadas a culturas de plantio temporários nas áreas menos elevadas e culturas de plantio permanente nas altitudes maiores. Sua distribuição espacial permeia as áreas da classe V e apresenta as maiores concentrações nas porções Leste, Sudeste, Sul e Noroeste ocupando preferencialmente as vertentes orientadas aos quadrantes N e NE.

As classes VII e VIII, com limitações muito severas para o cultivo ou pastagem, estão sendo usadas de forma a garantir a conservação de recursos naturais. No entanto, os baixos percentuais desse tipo de uso demonstram uma proporção incipiente de terra dedicada à preservação no município de Caldas. A localização desse tipo de uso conforme disposto no mapa da Figura 17, majoritariamente se distribui com maior presença nas porções Noroeste e Oeste e, de forma bem menos intensa, nas porções Leste e Nordeste.

Figura 17 - Mapa das Classes do uso atual da terra do Município de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.3.3 Uso excedente da terra

A Tabela 20 contém as informações sobre o uso excedente da terra no município de Caldas, ou seja, áreas em que o uso atual da terra supera a sua capacidade de uso inerente. A tabela também apresenta as áreas que estão sendo subutilizadas ou usadas conforme a capacidade de uso da terra.

Tabela 20 - Percentual de área conforme número de classes do uso excedente

(continua)

Número de classes do uso excedente*	Área	
	(km ²)	(%)
-1	439,40	62,21
0	99,24	14,05
1	140,58	19,90
2	8,72	1,23
3	7,14	1,01
4	1,12	0,16
5	7,75	1,10

Tabela 20 - Percentual de área conforme número de classes do uso excedente

(conclusão)

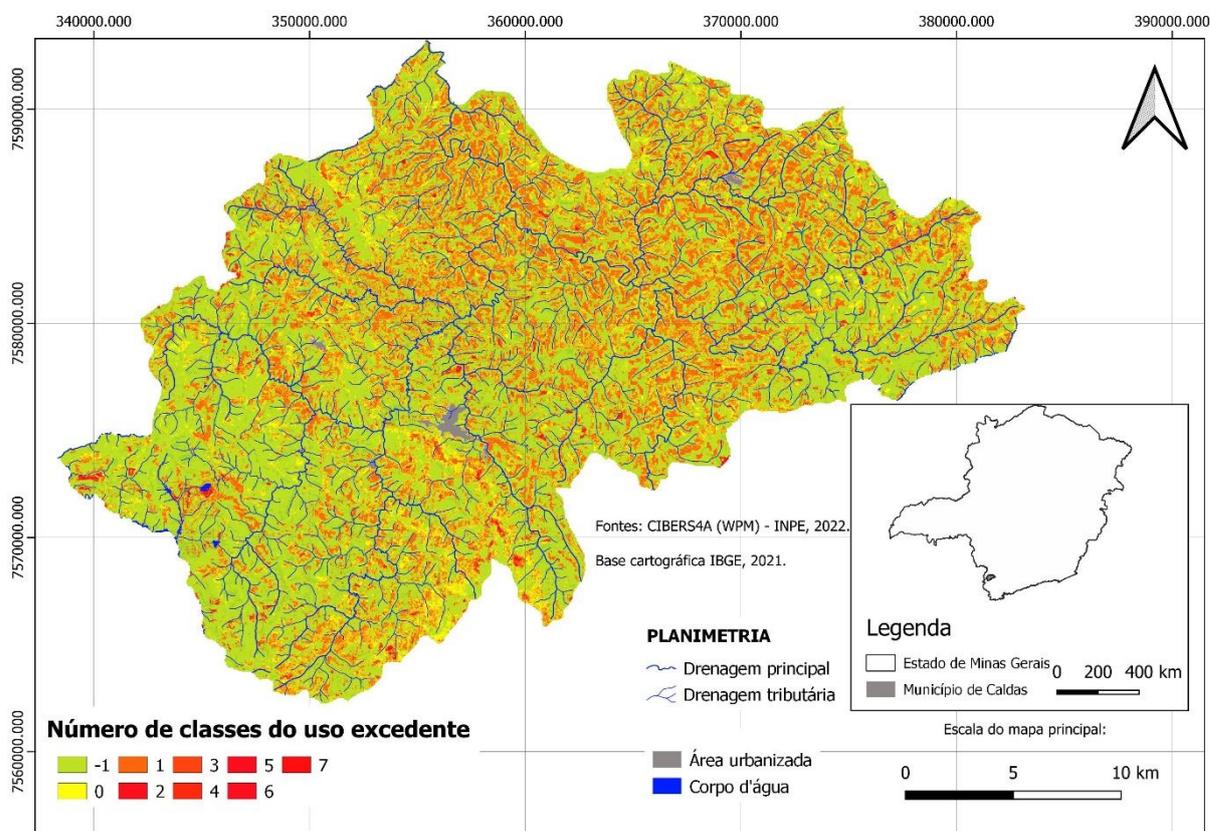
Número de classes do uso excedente*	Área	
	(km ²)	(%)
6	2,39	0,34
7	0,03	< 0,01
Total uso conforme	99,24	14,05
Total subutilização	439,40	62,21
Total sobreutilização	167,71	23,74

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Legenda: *Intervalos das classes: Subutilização (-1); Uso conforme (0); Sobreutilização (1 a 7).

Constata-se que 62,21% da terra em Caldas está sendo subutilizada, significando que essas áreas poderiam estar sendo melhor utilizadas conforme seus limites, sem comprometer a integridade do solo ou provocar sua degradação, ou seja, sugerindo um potencial para aumento do uso produtivo. Essas áreas, como pode-se observar na Figura 18, ocupam principalmente as porções Noroeste, Oeste, Sul e Sudeste.

Figura 18 - Mapa do uso excedente no Município de Caldas - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Apenas 14,05% da terra está sendo usada conforme a sua capacidade, ou seja, a maneira como essas áreas estão sendo utilizadas está em harmonia com o que o solo pode suportar de forma equilibrada.

Da área total, 23,74% está sendo sobreutilizada excedendo sua capacidade de uso do solo. A sobreutilização manifesta-se em várias intensidades, desde as áreas que estão sendo usadas apenas ligeiramente acima da capacidade até as áreas que estão sendo usadas muito além da capacidade do solo. Tal fato é preocupante, pois pode levar à degradação do solo, reduzindo a sua capacidade de uso a longo prazo, bem como seu esgotamento pode tornar as áreas subutilizadas alvo de uma exploração predatória, futuramente advinda da falta de planejamento territorial adequado.

A pressão antrópica e a exploração intensiva das terras que estão sendo sobreutilizadas podem levar a danos ambientais irreversíveis, perda da biodiversidade e até mesmo à redução da produtividade agrícola no futuro. Cabe salientar que mesmo a sobreutilização em apenas uma classe já pode levar a impactos negativos a longo prazo.

4.3.4 Uso atual da terra em cada classe de capacidade de uso

A Tabela 21 compila os dados do uso atual da terra em cada classe de capacidade de uso da terra no município de Caldas em cinco classes de uso principais: Formação florestal nativa, Silvicultura, Pastagem, Agricultura e Solo exposto.

Tabela 21 - Percentual do uso atual em cada classe de Potencial/Capacidade de uso da terra

Potencial/Capacidade de uso*	F. florestal nativa (%)	Silvicultura (%)	Pastagem (%)	Agricultura (%)	Solo exposto (%)
Classe III	22,13	3,92	36,89	32,91	4,15
Classe IV	23,28	4,31	38,87	30,05	3,49
Classe VI	29,97	4,7	37,19	26,59	2,09
Classe VII	50,73	5,41	15,80	27,63	0,43
Classe VIII	37,84	10,05	7,21	44,72	0,17

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Legenda: Classes de capacidade de uso *vide Quadro 5 pág. 63.

Esses dados revelam que o uso predominante da terra no município de Caldas é a pastagem e agricultura nas classes III e IV, enquanto a formação florestal nativa é mais predominante nas classes VI, VII e VIII. Essa configuração aponta que as áreas com maior capacidade de uso (classes III e IV) estão sendo usadas intensivamente para atividades agrícolas e pecuárias, possivelmente refletindo a pressão antrópica.

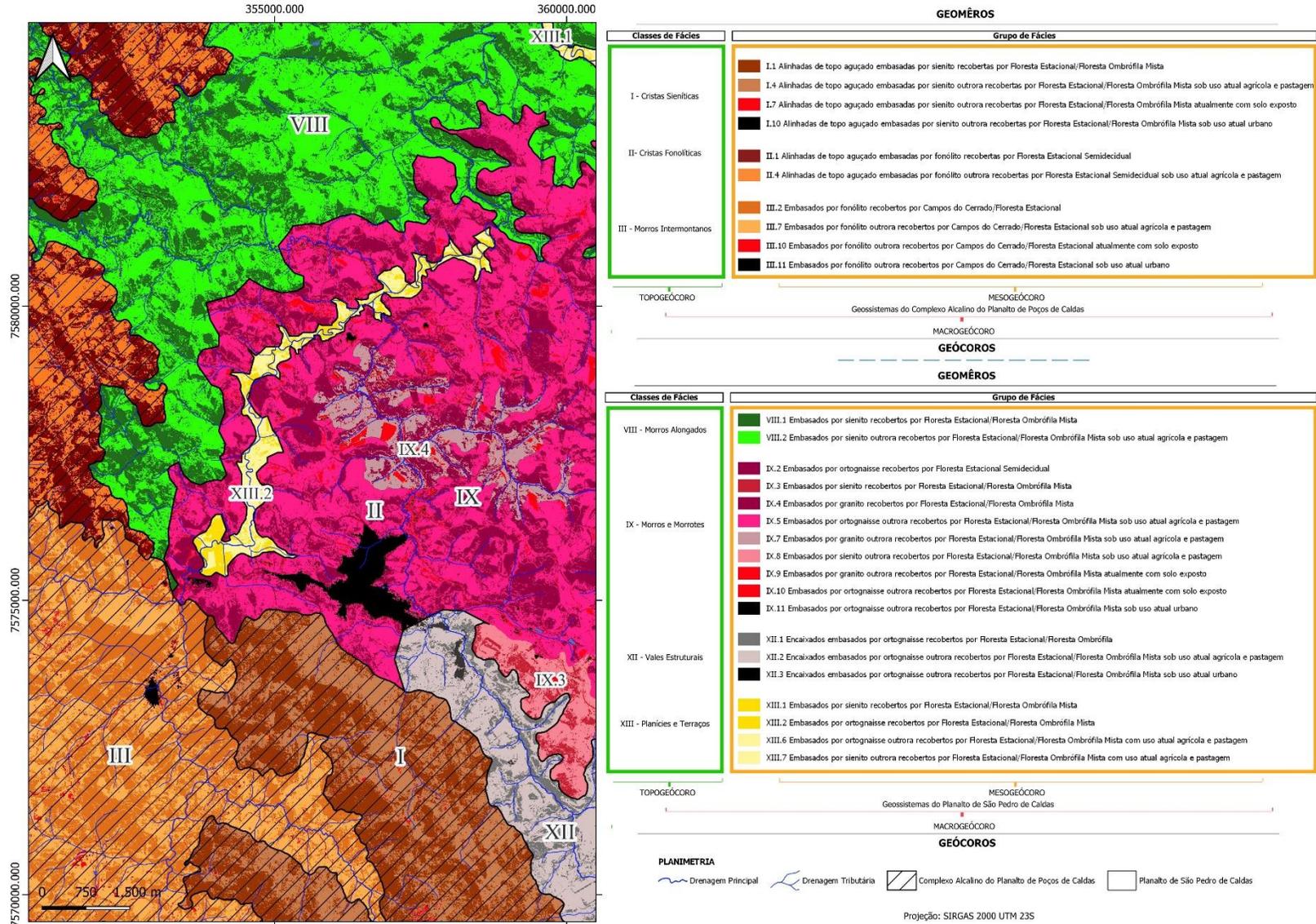
Em contraste, as áreas com menor capacidade de uso (classes VI, VII e VIII) com florestas nativas estão sendo mais conservadas, embora, ainda exista uma quantidade significativa de uso agrícola nessas classes. O uso de silvicultura e o solo exposto é geralmente baixo em todas as classes, figurando a expansão agrícola como circunstância mais preocupante.

4.4 GEOSSISTEMAS DO MUNICÍPIO DE CALDAS

Os geossistemas existentes na área em análise foram estabelecidos a partir da organização espacial de dois macrogeócoros: os geossistemas do Complexo Alcalino do Planalto de Poços de Caldas (Cavalcante *et al.*, 1979) e do Planalto de São Pedro de Caldas (Cavalcante *et al.*, 1979), cujas dimensões espaciais extrapolam os limites municipais de Caldas. O geossistema do Complexo Alcalino do Planalto de Poços de Caldas, quando do recorte correspondente, integra cinco classes de fácies na fileira das homogeneidades (geômeros) e o geossistema do Planalto de São Pedro de Caldas, sob o mesmo recorte, integra oito classes de fácies manifestadas na área em análise, que somadas se dissociam em setenta grupos de fácies dados pelas heterogeneidades (geócoros), cujos limites são dados a partir da estrutura vegetacional sob pressão ou não das atividades antrópicas relacionadas ao uso da terra.

Um fragmento do mapa dos geossistemas do município de Caldas é apresentado na Figura 19 e sua versão completa e detalhada é apresentada no Apêndice III devido à extensa quantidade de informações relacionadas aos elementos genético-estruturais e dinâmicos da paisagem dispostos em sua legenda.

Figura 19 - Fragmento do mapa dos geossistemas do município de Caldas – MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na fileira das homogeneidades (geômeros) as classes de fácies estão estruturadas de acordo com os resultados obtidos na compartimentação do relevo e as unidades hierarquicamente inferiores a estas, os grupos de fácies, estão personificados a partir das correlações advindas dos mapeamentos de vegetação, uso e ocupação da terra e de solos.

Os geossistemas do Complexo Alcalino do Planalto de Poços de Caldas e do Planalto de São Pedro de Caldas apresentam vínculos conectivos inerentes aos fluxos de matéria e energia estabelecidos nos diversos processos de natureza física e química que se desenvolvem em suas paisagens, mormente, destacam-se os processos denudacionais, patrocinados em grande medida, pela incisão vertical das drenagens. As principais perturbações e interferências, advém do uso da terra, cuja espacialização vincula-se às variações da dissecação do relevo e configuram os diversos cenários que concernem à fragilidade ambiental, drasticamente estabelecida, a configuração dos mosaicos que compõem as paisagens descritas a seguir.

4.4.1 Geossistemas do Complexo Alcalino do Planalto de Poços de Caldas

4.4.1.1 Cristas sieníticas

Esta classe de fácies está localizada na porção noroeste da área em análise, sendo composta de um conjunto de cristas alinhadas de topo aguçado (Figura 20), cuja orientação se dá a NNO/SSE e que fazem parte de um anel de cristas que envolvem o Planalto de Poços de Caldas. Embasadas por sienito, integram o Maciço Alcalino de Poços de Caldas e destacam-se topograficamente na paisagem, salientando expressiva diferença altimétrica entre 300 e 600 m em relação ao relevo adjacente e atingindo cotas superiores a 1600 m. Nos níveis hierárquicos inferiores, esta classe de fácies se compõe de dez grupos de fácies que estão embasados por sienito.

A paisagem se compõe de áreas em que figura um conjunto de fragmentos da vegetação nativa remanescente, nos quais se apresentam a Floresta Estacional, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista e Campos do Cerrado e, além destes, são presentes mosaicos que se compõem de áreas destinadas à pastagens, à atividade agrícola de culturas temporárias e à silvicultura, bem como se manifesta um mosaico com áreas em que o solo se apresenta exposto, principalmente

em função da prática agrícola de culturas temporárias. Os solos que se apresentam são os Neossolos Litólicos, recobertos pela Floresta Ombrófila Mista e pelos Campos de Altitude, os Latossolos Vermelho-Amarelo em porções próximas aos canais de drenagem e, nas vertentes, os Cambissolos que prevalecem sobre os demais, conotando áreas desfavoráveis à prática agrícola.

A dinâmica desta classe de fácies se estabelece a partir do principal fluxo energético natural, em face à saliência topográfica e da cobertura vegetal nativa. Trata-se da interceptação da umidade que subsidia o abastecimento hídrico local, associada à cobertura vegetal que tende a manter a estrutura dos solos coesas, promovendo sua preservação.

A fragilidade ambiental dessas áreas estrutura-se em função das declividades e do uso terra, e a dinâmica se dá por alterações dos fluxos energéticos em decorrência da ação antrópica, por meio da supressão da mata nativa, geralmente decorrente da instalação de silvicultura, da imposição da agricultura temporária sem atenção às devidas práticas conservacionistas no manejo, e mesmo da prática da criação de gado nas porções mais planas.

Somadas à denudação inerente à esta morfologia, as interferências acima descritas desencadeiam processos erosivos e a intensificação do transporte de sedimentos, elevando significativamente os níveis de fragilidade ambiental que já se manifestavam nas classes “Alta” a “Muito alta” nos topos e encostas, principalmente nas vertentes orientadas ao quadrante NE, bem como, elevam a fragilidade nas porções de relevo com menor índice de dissecação, antes estabelecidas nas classes “Baixa” e “Média” de fragilidade potencial para as classes “Alta” e “Muito alta” de fragilidade emergencial.

Figura 20 - Cristas sieníticas de topo aguçado sob uso atual de pastagens e urbano.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.849692, Long. -46.437668 NE.

4.4.1.2 Cristas fonolíticas

Localizada na porção Sul/Sudoeste do município de Caldas esta classe de fácies (Figura 21) também integra o anel de cristas alinhadas de topo aguçado que envolve o Planalto Poços de Caldas. Embasada em fonólito, é uma vertiginosa saliência topográfica no que diz respeito ao relevo em seu entorno, com diferenças altimétricas a estes entre 300 e 700m, e configura seu alinhamento orientado a SSO/NNE. Prevaecem nos topos os Neossolos Litólicos, nas vertentes os Cambissolos associados aos Latossolos Vermelho-Amarelo presentes nas áreas menos declivosas. A vegetação nativa que se apresenta é composta de remanescentes da Floresta Estacional, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista e Campos do Cerrado. Em níveis hierarquicamente inferiores é integrada de dez grupos de fácies.

A dinâmica está estabelecida de forma similar à classe de fácies das Cristas sieníticas, cujo fluxo energético tem seu cerne na interceptação da umidade das massas de ar atuantes na região, garantindo o abastecimento hídrico da drenagem local. A forte declividade e o uso da terra caracterizam a fragilidade ambiental emergente desta classe de fácies, em que predominam as classes de fragilidade “Muito alta” nos topos e “Alta” nas vertentes que, dada à interferência antrópica ligada às práticas agrícolas, o pastoreio e à mineração de rochas ornamentais, implicam na

elevação de suas classes de fragilidade para “Muito alta” em quase a totalidade da área.

Figura 21 - Cristas fonolíticas sob uso atual de pastagem e, em menor grau, urbano.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.921262, Long. -46.373676 S.

4.4.1.3 Morros intermontanos

A classe de fácies denominada por Morros intermontanos (Figura 22), encontra-se na porção Sudoeste, estando embasada por fonólito do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. O relevo integra a zona rebaixada do Planalto de Poços de Caldas, cuja topografia se caracteriza por morros dissecados em cotas altimétricas que atingem desníveis de até 150 m, conotando o trabalho de dissecação realizado pela drenagem principal composta pelo Rio Verde e pelo Ribeirão Soberbo juntamente com seus tributários. Os Cambissolos Háplicos se apresentam nos topos e nas vertentes e prevalecem sobre os demais tipos de solos, Latossolos Vermelho-Amarelo presentes nas cotas mais baixas das vertentes e os Gleissolos, cuja ocorrência é manifestada no contato com os leitos, principalmente no alto curso das drenagens.

A vegetação nativa caracteriza-se por remanescentes da Floresta Estacional, Floresta Estacional Semidecidual e Campos do Cerrado que recobrem as margens dos rios e esparsamente o topo de alguns morros, indicando a forte pressão antrópica marcada, principalmente, pela expansão das pastagens e da silvicultura nas porções ao Norte e a Oeste, seguida pela extração de minério nas porções a Oeste anteriormente recobertas por Campos do Cerrado e, manifesta-se pressões nas

porções a Leste originalmente recobertas pela Floresta Estacional Semidecidual, dada pela prática agrícola geralmente ligada ao cultivo de frutas e tubérculos.

Onze grupos de fácies totalizam a composição da paisagem nesta classe de fácies, em que a dinâmica é dada por processos erosivos, laminares e lineares, decorrentes das interferências ocasionadas pelas práticas antrópicas, como o transporte de sedimentos para as áreas contidas na classe de fácies das Planícies e Terraços.

A fragilidade ambiental potencial é marcada pela predominância das classes “Baixa” e “Média” a Sul e “Média” a “Muito Alta” a Norte, essas classes de fragilidade, ao se considerar as pressões antrópicas, são elevadas para “Alta” a “Muito alta” em ambas as porções.

Figura 22 - Morros intermontanos sob uso atual agrícola e de pastagem.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.969335, Long. -46.428794 S.

4.4.1.4 Planaltos

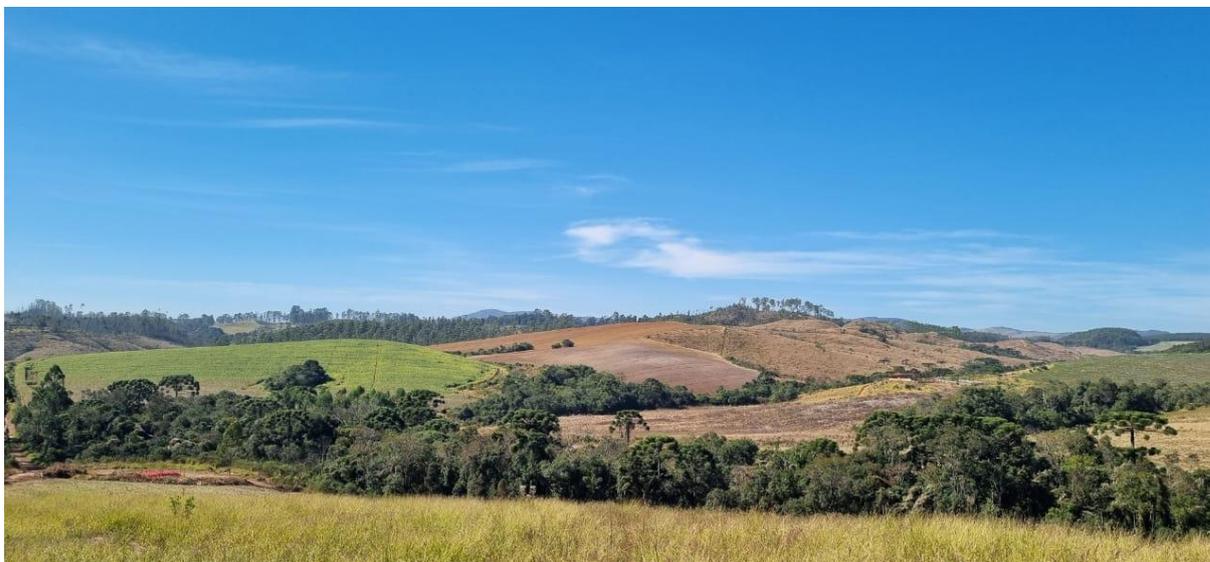
Localizada na porção Oeste do município de Caldas e marcada pelo relevo reafeiçoado em patamares que alçam cotas altimétricas superiores ao relevo nas porções adjacentes ao Sul, a classe de fácies denominada “Planaltos” (Figura 23) integra a porção rebaixada do Planalto de Poços de Caldas, sendo embasada por rochas alcalinas do tipo fonólito. Esta classe de fácies subdivide-se em quatro grupos de fácies que compõem sua paisagem.

A cobertura vegetal nativa é composta por Campos do Cerrado e pela Floresta Estacional, concentrando os maiores fragmentos remanescentes em sua porção central. São presentes os Neossolos Litólicos nos topos situados em uma incipiente porção à Leste; predominam os Cambissolos Háplicos em quase a totalidade das vertentes suaves, restando às proximidades das drenagens a presença de Latossolo Vermelho - Amarelo e pequenas manchas de Gleissolos Háplicos.

O uso da terra e a declividade figuram como principais variáveis atuantes na dinâmica local. Os usos da terra variam entre o cultivo agrícola temporário, a silvicultura, áreas de pastagens e a mineração, por sua vez, configurando a manifestação dos processos erosivos lineares e laminares, desencadeando o carreamento de sedimentos para as áreas adjacentes, como a classe de fácies dos Morros Intermontanos e a classe de fácies das Planícies e Terraços, estabelecidas em cotas altimétricas inferiores.

A fragilidade ambiental, antes configurada por variações no intervalo das classes “Média” à “Muito alta”, é aumentada para o intervalo entre as classes “Alta” à “Muito alta”, com significativa expansão das áreas correspondentes a esta última.

Figura 23 - Planaltos sob uso atual de agricultura, silvicultura e pastagens.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.918431, Long. -46.482989 W.

4.4.1.5 Planícies e Terraços

Estabelecidas em duas áreas, uma ao Norte e outra na porção Sudoeste, com as menores declividades do Planalto Poços de Caldas, figura a classe de fácies das Planícies e Terraços (Figura 24), embasada por fonólito do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. A cobertura vegetal nativa engloba os Campos do Cerrado e a Floresta Estacional em áreas que acolhem dois grupos de fácies. Os solos que prevalecem são os Gleissolos e os Latossolos Vermelho – Amarelo.

O cerne da dinâmica está orientado pela mudança no nível de base local das drenagens referentes ao alto curso do Rio Verde para a área localizada ao Sudoeste e, ao médio curso do Rio Taquari para a área estabelecida ao Norte, configurando-as como áreas receptoras da carga de matéria das sub-bacias à montante. As interferências decorrem do uso da terra marcado por cultivos agrícolas e expansão das pastagens, ocasionando a supressão da vegetação nativa, e ao manejo que expõe os solos para o plantio sazonal, desencadeando o carreamento de sedimentos, que é intensificado nos períodos de precipitações mais acentuadas, elevando a fragilidade ambiental emergente para as classes “Alta” e “Muito alta”.

Figura 24 - Planícies e terraços sob uso atual agrícola.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.886615, Long. -46.478555 NW.

4.4.2 Geossistemas do Planalto de São Pedro de Caldas

4.4.2.1 Cristas graníticas

Embasadas por granito, a classe de fácies das Cristas graníticas (Figura 25) se subdivide em dois grupos de fácies integrando a Serra do Cervo, estando sua localização manifestada na porção Sudeste do município de Caldas, cuja morfologia está orientada ao quadrante NE/SO expressando diferença altimétrica entre 200 e 400 m em relação ao relevo adjacente e alcançando cotas superiores a 1400 m. Prevaecem os Cambissolos seguidos pela presença de Neossolos Litólicos, Argissolos Vermelho - Amarelo e Argissolos Vermelho, recobertos por Floresta Estacional e Floresta Ombrófila Mista.

A classe de fácies das Cristas graníticas configura-se como uma morfologia difusora dos fluxos energéticos em face da elevada declividade, estando sua dinâmica vinculada aos processos de denudação e, também relacionada aos processos de infiltração e evaporação promovidos pela presença da vegetação nativa, bem como ao subsídio hídrico da drenagem local, que inclui o Rio Capivari, o Rio Pardo e seus tributários.

As interferências na dinâmica funcional ocorrem em decorrência das expansões da pastagem e da agricultura, desdobrando-se na manifestação de processos erosivos laminares e lineares que, por sua vez, intensificam o processo de transporte de sedimentos para as áreas adjacentes, cujo estabelecimento se dá em cotas altimétricas inferiores.

Face a interferência dos fluxos dada pelo *input* antrópico, a fragilidade ambiental potencial, antes prevalecendo nas classes “Baixa” e “Média”, é aumentada para as classes “Alta” e “Muito alta” estabelecidas na fragilidade emergente.

Figura 25 - Cristas graníticas sob uso atual de pastagem.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.832792, Long. -46.291248 NW.

4.4.2.2 Morrarias altimontanas

A classe de fácies denominada Morrarias altimontanas (Figura 26) está embasada por charnockito (charnoenderbito) ocupando a porção Leste do município de Caldas. A prevalência dos solos está marcada por Argissolos Vermelho – Amarelo com a presença de Cambissolos e Neossolos Litólicos. Os solos são recobertos por Floresta Estacional e Floresta Ombrófila Mista e em níveis hierárquicos inferiores às classes de fácies, dois grupos de fácies compõem a paisagem.

A morfologia é representada por morrarias de vertentes concavas expostas aos processos de denudação, tem sua dinâmica fortemente vinculada aos processos de estabelecimento mantenedor dos mananciais que abastecem o ribeirão São Pedro e seus tributários, à dissecação fluvial, cuja intensidade é orientada conforme a variação da declividade e nos processos atrelados ao intemperismo quanto à gênese dos solos, conformando sua atuação emissora dos fluxos de energia e matéria.

A fragilidade ambiental potencial é substancialmente elevada para as classes “Alta” e “Muito alta”, cuja configuração associa-se às interferências ocasionadas pelo cultivo do café e da pastagem em comuta à vegetação nativa.

Figura 26 - Morrarias altimontanas sob uso atual de pastagem no limite urbano.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.821028, Long. -46.257708 N.

4.4.2.3 Morros alongados

Estruturados por sienito figuram as feições morfológicas da classe de fácies “Morros alongados” (Figura 27) que se dissociam em três grupos de fácies, cuja espacialidade se distribui nas porções Norte estendendo-se até contato com as porções à Sudeste. Os solos que se apresentam são: os Cambissolos ao Sudeste, os Argissolos Vermelho na porção Central, os Neossolos Litólicos nos topos de cimeira distribuídos na área em análise, e os Latossolos Vermelho e Vermelho - Amarelo ao Norte e Nordeste, prevalecendo estes últimos sobre os demais.

A Floresta Estacional e a Floresta Ombrófila Mista compõem a cobertura vegetal original, sustentando o suprimento dos lençóis freáticos e mananciais dos tributários do Rio Pardo, cuja bacia hidrográfica realiza o entalhamento do relevo e o transporte de sedimentos desta área que desempenha, conjuntamente, os papéis de transmissão e emissão de fluxos de matéria e energia.

A dinâmica que se estabelece tem como principal variável o uso da terra, sinalizando a interferência no fluxo energético, dado principalmente pela expansão da pastagem em substituição à mata nativa e pela prática agrícola de cultivo temporário do tomate e da batata, marcado pelo manejo sazonal do solo desamparado das práticas conservacionistas e ao uso intensivo de defensivos e insumos químicos,

culminando na intensificação do transporte de sedimentos, este último associado a processos de eutrofização e assoreamentos nos mananciais hídricos.

Face às interferências antrópicas descritas, a fragilidade ambiental é significativamente ampliada para as classes “Alta” e “Muito alta”.

Figura 27 - Morros alongados sob uso atual de pastagem e agricultura.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.859942, Long. -46.426694 SW.

4.4.2.4 Morros e morrotes

A classe de fácies “Morros e morrotes” (Figura 28) localiza-se na porção Centro-Sul do município de Caldas, está embasada por ortognaisse e por duas intrusões, na porção central composta por granito e na porção Sul composta por sienito. Subdivide-se em onze grupos de fácies compondo o mosaico da paisagem em que prevalecem os Latossolos Vermelho – Amarelo recobertos originalmente por Floresta Estacional, Floresta Ombrófila Mista e Campos do Cerrado.

Quanto à dinâmica funcional, trata-se de área transmissora e emissora de fluxos de energia e matéria por meio dos processos de intemperismo e da gênese dos solos, do transporte de sedimentos para as áreas adjacentes e da manutenção do abastecimento hídrico do Ribeirão dos Bugres e do Córrego da Fazenda, tributários dos rios Verde e Pardo, respectivamente.

A variável uso da terra determina as principais interferências e perturbações, configurando uma dinâmica pautada, principalmente, na supressão da vegetação nativa dada pela expansão de pastagens, na exposição dos solos ocasionada pela

prática agrícola sazonal e na ocupação urbana com conseqüente contaminação e impermeabilização dos solos. A fragilidade ambiental inerente à esta área é marcada, em decorrência das pressões descritas, pela alteração das classes “Muito baixa” e “Baixa” para “Alta” e “Muito alta”, principalmente na área correspondente à ocupação urbana.

Figura 28 - Morros e morrotes sob uso atual de pastagens e agricultura.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.941313, Long. -46.338558 N.

4.4.2.5 Morros e colinas

Localizada na porção Sudeste da área em análise, a classe de fácies “Morros e colinas” (Figura 29) subdivide-se em três grupos de fácies embasados por ortognaisse. Os solos prevalentes são os Cambissolos, recobertos por Campos do Cerrado e Floresta Ombrófila Mista. A morfologia encontra-se em avançado reafeiçoamento e desgaste das formas decorrentes dos processos de denudacionais, assumindo a dinâmica funcional de área transmissora e emissora, em caráter dispersor de fluxos energéticos e de matéria para áreas estabelecidas em cotas altimétricas inferiores.

As interferências decorrem do intenso cultivo de grãos e da criação de gado, conformando áreas com solo exposto e manifestações de processos erosivos laminares e lineares. Tais práticas culminam na elevação da fragilidade ambiental, configurada, principalmente, nas classes “Alta” e “Muito alta”.

Figura 29 - Morros e colinas sob uso atual de pastagem e agricultura.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.896879, Long. -46.251167 S.

4.4.2.6 Pontões

Situada na porção Norte, a classe de fácies denominada “Pontões” (Figura 30) se dissocia em dois grupos de fácies, é embasada por granito que integra os afloramentos do Complexo Varginha, figurando como área emissora, cuja morfologia revela as superfícies rebaixadas do relevo que integra a bacia hidrográfica do Rio Pardo. Os Neossolos Litólicos se apresentam nos topos de cimeira, os Cambissolos e os Latossolos Vermelho – Amarelo distribuídos ao longo das vertentes. A cobertura vegetal nativa é composta de fragmentos remanescentes da Floresta Estacional e Floresta Ombrófila Mista.

A dinâmica é fortemente condicionada pelas variáveis declividade e uso da terra, determinando a intensidade dos processos denudacionais desencadeados pelo intemperismo, dos processos ligados ao subsídio hídrico dos lençóis freáticos, da circulação de superfície e da drenagem hídrica local, todos fortemente vinculados à presença da vegetação nativa; e dos processos erosivos laminares e lineares advindos das interferências vinculadas à agricultura e à pastagem.

As pressões antrópicas desenvolvidas nas porções mais declivosas, em face à disponibilização intensa de sedimentos que são transportados durante a ocorrência de fortes precipitações pluviométricas, conferem à fragilidade ambiental seu estabelecimento nas classes “Alta e “Muito alta”.

Figura 30 - Pontões sob uso atual de pastagem e agricultura.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.824707, Long. -46.350742 N.

4.4.2.7 Vales estruturais

A classe de fácies “Vales estruturais” (Figura 31) é composta por três grupos de fácies, está embasada por ortognaisse e se distribui em duas áreas localizadas nas porções, Leste em contato com a classe de fácies “Cristas graníticas”, e Sul no contato com a classe de fácies “Cristas fonolíticas”. A feição morfológica dos vales está desenvolvida a partir das linhas de fraturamento, que acompanham o anel de cristas do Planalto Poços de Caldas orientada a N/S e que se apresentam no contato com as cristas graníticas do Planalto São Pedro de Caldas orientadas a W/E, conferindo forte controle estrutural sobre a drenagem hídrica que trabalha o entalhamento destes vales. Prevaecem os Cambissolos e os Latossolos Vermelho – Amarelo recobertos por remanescentes da Floresta Estacional e Floresta Ombrófila Mista.

O processo de dissecação, no qual a variável declividade associada ao controle estrutural determina a intensidade do entalhamento, pauta a dinâmica local, conformado estas áreas como transmissoras e emissoras de fluxos de energia e matéria. As interferências e perturbações são determinadas pela variável uso da terra, dada pelos cultivos agrícolas temporários, com constante exposição dos solos, e pela pastagem, desdobrando-se em processos erosivos laminares e lineares, com consequente aumento da disponibilidade de materiais disponíveis na superfície

seguido de seu carreamento quando do aumento do volume de vazão hídrica dos rios, direcionando-os para as áreas estabelecidas em cotas altimétricas inferiores.

A interferência na dinâmica funcional nessas áreas promove a elevação das classes de fragilidade ambiental potencial, antes estabelecidas na prevalência das classes “Muito baixa” e “Baixa”, para os patamares das classes “Alta” e “Muito Alta”.

Figura 31 - Vales estruturais sob uso atual de pastagem e agricultura.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.885190, Long. -46.266330 L.

4.4.2.8 Planícies e terraços

A classe de fácies “Planícies e terraços” (Figura 32) está subdividida em oito grupos de fácies, cujas manifestações espaciais ocorrem nas superfícies que margeiam a rede de drenagem do rio Pardo e de seus tributários, do rio Capivari e do rio Verde. A consolidação dessas áreas se dá, principalmente, a partir das dinâmicas contidas nas mudanças dos níveis de base regional e local dos cursos dos leitos da drenagem ora citada, geralmente, ocorrendo nas áreas de contato litológico. As planícies e terraços estabelecidas ao longo do curso dos rios Capivari e Verde admitem caráter de continuidade, compondo as áreas mais extensas deste tipo de superfície, enquanto ao rio Pardo figura o estabelecimento de pequenas planícies e terraços, caracterizados pela formação de segmentos descontínuos, cuja variação é dada pelo escalonamento do relevo.

Prevalecem Latossolos Vermelho – Amarelo e Gleissolos Háplicos nas planícies e terraços dos rios Capivari e Verde e nos compartimentos planos do rio

Pardo prevalecem os Argissolos Vermelho e os Gleissolos Háplicos. A cobertura vegetal nativa das áreas aqui descritas são a Floresta Estacional e a Floresta Ombrófila Mista.

As planícies e terraços contidos nesta classe de fácies configuram áreas de morfologia agradacional e, em termos de dinâmica – funcional, caracterizadas como áreas receptoras dos fluxos de energia e matéria direcionados dos subsistemas à montante, por conseguinte, acomodam as cargas sedimentares oriundas destes. A dinâmica inclui, ainda, o trabalho de remoção e deposição dos materiais disponíveis na superfície, quando do aumento da vazão dos canais da drenagem face às precipitações sazonais e à existência de cobertura fixa dos solos.

O uso da terra figura como forte variável na interferência da dinâmica local, sendo marcado pela expansão das áreas de pastagem em substituição à vegetação nativa, juntamente com a prática agrícola de cultivo temporário, caracterizada pelo manejo sazonal do solo e pelo uso intensivo de defensivos e insumos químicos, resultando na contaminação do corpo hídrico e intensificação do transporte de sedimentos. Esse processo está associado à eutrofização, à perda da biodiversidade e ao assoreamento de diversos mananciais, elevando a fragilidade ambiental das áreas mencionadas para as classes “Alta” e “Muito alta”.

Figura 32 - Planícies e terraços sob uso atual de pastagem e agricultura.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Nota: Localização e orientação do ponto de visada: Lat. -21.901685, Long. -46.240081 NE.

Um quadro síntese contendo o diagnóstico ambiental das unidades geossistêmicas, bem como um prognóstico com orientações ao uso da terra otimizado e medidas mitigadoras a processos de superfície é apresentado no Apêndice IV.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho estudamos os geossistemas do município de Caldas, integrados a duas áreas distintas: o Complexo Alcalino do Planalto de Poços de Caldas e o Planalto de São Pedro de Caldas. Analisamos as características ambientais de cada geossistema, identificando as principais classes de fácies e os grupos de fácies a elas associados, buscando compreender a dinâmica ambiental presente em cada uma delas.

A hipótese inicial foi aqui comprovada, sugerindo que os relevos montanhosos, devido às características morfométricas específicas, associam-se às altas classes de fragilidades e demandam um manejo cuidadoso, justificando a elaboração de um plano de uso sistemático baseado no reconhecimento das limitações ambientais da área (diagnóstico) e na proposição de orientações para adequar os usos da terra (predições).

Os objetivos propostos foram alcançados e consistiram em identificar, interpretar, classificar, mapear e caracterizar as unidades geossistêmicas da paisagem no município de Caldas - MG. Inicialmente, foi realizado um abrangente diagnóstico ambiental, considerando os elementos físico-naturais e socioeconômicos, resultando na produção de uma coletânea de mapas temáticos que serviram de base para o estudo. A interpretação integrada entre os compartimentos geomorfológicos foi estruturada de forma satisfatória, proporcionando uma melhor compreensão acerca das formas do relevo, da sua distribuição espacial e da sua relevância para o estudo geossistêmico aqui concretizado.

Assim, o estudo abordou as problemáticas centrais relacionadas ao panorama geoambiental do município de Caldas, MG, investigando o alinhamento do uso atual da terra com os potenciais oferecidos pela paisagem e identificando incongruências ambientais resultantes do uso indevido ou excedente da terra na região. Para tanto, a capacidade de uso da terra foi analisada detalhadamente, fornecendo informações importantes para um planejamento adequado do território.

A proposta metodológica de Sochava (1971, 1977, 1978), representada pela abordagem geossistêmica de análise das paisagens, foi aplicada com sucesso, integrando aspectos socioeconômicos delineados por Christofolletti (1999), permitindo uma análise integrada e abrangente da área de estudo. A classificação dos

geossistemas foi realizada com base em suas integridades homogêneas e heterogêneas, resultando em uma compreensão mais aprofundada sobre a dinâmica que se impõe sobre os terrenos inseridos no contexto municipal de Caldas, atrelados à troca e distribuição de energia e matéria entre os sistemas físico-naturais e antrópico abordados. Para tanto, as fragilidades do terreno foram minuciosamente examinadas, enriquecendo a interpretação da dinâmica presente nos geossistemas mapeados e contribuindo para a identificação de áreas de potencial risco de degradação ambiental. Nesse contexto, os resultados têm implicações significativas tanto teóricas quanto práticas pois, comprovam a eficiência das análises integradas nas abordagens físico-geográficas voltadas ao estudo das paisagens.

De forma mais específica, os resultados obtidos no âmbito desse trabalho, não deixaram dúvidas sobre a importância do relevo para a conformação das classes de fácies (ou das unidades superiores de paisagem) em ambientes montanhosos, em função, como já mencionado, das características morfométricas a eles associados; reforçaram a importância das investigações sobre a fragilidade ambiental potencial e emergente em consórcio com aquelas sobre a capacidade de uso e uso excedente da terra para avaliação da dinâmica sistêmica presente nas unidades de paisagem; e destacaram a relevância do planejamento ambiental e do manejo do território, especialmente no que diz respeito à conservação da biodiversidade e à gestão dos recursos naturais.

Um quadro síntese foi apresentado, contendo o diagnóstico ambiental e orientações voltadas à conservação das unidades geossistêmicas em nível de classe de fácies e grupos de fácies, consolidando os principais resultados obtidos ao longo do estudo.

Diante de todos os méritos aqui apontados é importante reconhecer dificuldades que, de certa forma, trouxeram limitações ao estudo, dentre elas, destacam-se: a indisponibilidade de dados, especialmente em relação às informações climáticas de longo prazo; as restrições metodológicas e de acesso à dados inerentes à escala da pesquisa a exemplo dos mapeamentos de solos preexistentes; as condições climáticas e as atividades antrópicas que podem influenciar os resultados de forma variável ao longo do tempo e no espaço, o que traz a necessidade de atualizações periódicas e em acordo com a escala analítica adotada;

Em conclusão, este estudo oferece, com detalhamento adequado, dados sobre o funcionamento dos sistemas físico-naturais em contato com o sistema antrópico do

município e suas interações com os processos ambientais, sugerindo novas direções para pesquisas futuras e ações práticas voltadas à promoção da conservação ambiental e do bem-estar das comunidades locais a partir de uma visão abrangente dos geossistemas, destacando sua importância como unidades de planejamento e gestão do território.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas no Brasil. **Orientação**, São Paulo, n. 3, p. 45-48, 1967.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332 p.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973. 240p.
- BEROUTCHACHVILI, N. ; BERTRAND, G. Le Géosystème ou "Système territorial naturel". **Revue Géographique Des Pyrénées Et Du Sud-ouest**, Toulouse, v. 49, n. 2, p. 167-180, 1978.
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Revue Géographique Des Pyrénées Et Du Sud-ouest**, Toulouse, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n.13, 1972.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004.
- CAMPOS, J. A. **Fragilidade ambiental e capacidade de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Caratinga, MG**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.
- CAVALCANTE, J. C. *et al.* **Projeto Sapucaí: relatório final – Geologia**. São Paulo: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1979.
- CAVALCANTI, L. C. S. **Da descrição de áreas à teoria dos geossistemas: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas**. 2013. 216 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
- CAVALCANTI, L. C. S. Geossistemas de Curaçá, Bahia. **Clio Arqueológica**, v. 32, n. 3, p. 61-87, 2017.
- CAVALCANTI, L. C. S. *et al.* Técnicas de campo para descrição de geossistemas: reconhecimento expedito na borda oeste do maciço residual de Poço das Trincheiras, Alagoas. **Geoambiente on-line**, n. 15, p. 01-31, 2010.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas do planalto de Poços de Caldas (MG)**. 1970. 215 f. Tese (Livre-docência em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, SP, 1970.
- CHRISTOFOLETTI, A. A unidade morfoestrutural do planalto de Poços de Caldas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 13, n. 26, p. 77-85, 1973.
- CHRISTOFOLETTI, A. Definição e objetivo da geografia. **Geografia**, p. 01-28, 1983.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 1974. 149p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Büchler, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. Some recent Brazilian studies in fluvial geomorphology. **Progress in Physical Geography**, v. 4, n. 3, p. 414-420, 1980.

CREPANI, E. *et al.* **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. São José dos Campos: INPE, 2004.

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

DE CARLO, S. **Gestão ambiental nos municípios brasileiros: impasses e heterogeneidade**. 2006. 329 f. Tese (Doutorado em Gestão Ambiental) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

DE FREITAS ROLDÃO, A. I.; SANTOS, J. G.; DE OLIVEIRA, L. A. Correlação entre as variáveis climáticas (altitude, temperatura e precipitação) na mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais–MG. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 8, p. 515-525, 2012.

DEMEK, J. The landscape as a geosystem. **Geoforum**, v. 19, p. 29-34, 1978.

DOLFUSS, O. **A análise geográfica**. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1973. 130 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.

ERHART, H. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos. **Notícia Geomorfológica**, v. 6, p. 51-8, 1966.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de exatidão global Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 5755-5762.

FRANCO, G. B. *et al.* Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 1, n. 42, p. 114-127, dez. 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77716/1/Relacao-qualidade-da-agua-e-fragilidade-ambiental-da-Bacia-do-Rio-Almada.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS. **Base de dados cartográfica**. Belo Horizonte: CODEMIG, 2015. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br>. Acesso em: 05 jan. 2022.

GUIMARÃES, F. S. *et al.* Uma proposta para automatização do Índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 2017.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. **Bulletin**, Chicago, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, nov.1967.

IBGE. **Base cartográfica**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 12 jan. 2022.

IBGE. **Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em 12 jan. 2024.

IBGE. **Enciclopédia dos municípios brasileiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: IBGE, v. 24, 1958. 280-284 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: set 2022.

IBGE. **Glossário Geológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 224 p.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em 12 jan. 2022.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 178 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: out 2022.

IBGE. **Mapeamento de recursos naturais do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em 12 jan. 2022.

IBGE. **Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 179 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (BRASIL). **TOPODATA Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br> Acesso em: 05 jan. 2022.

KAPLAN, R. D. **A vingança da geografia**: a construção do mundo geopolítico a partir da perspectiva geográfica. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1997.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, p. 159-174, 1977.

LEPSCH, I. F. *et al.* **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

LIBAULT, A. Os quatro níveis da pesquisa geográfica. **Métodos em Questão**, São Paulo, n. 1, p. 14, 1971.

LIMA, M. I. C. **Manual de análise de drenagem e seu significado geomorfológico e geológico**. Belém, PA: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia**, Londrina, v. 17, n. 2, p. 67-87, 2008.

MARQUES NETO, R. Considerações sobre a paisagem enquanto recurso metodológico para a Geografia Física. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, p. 243-255, 2008.

MARQUES NETO, R. **Estudo evolutivo do sistema morfoclimático e morfotectônico da bacia do Rio Verde (MG), Sudeste do Brasil**. 2012. 429 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2012.

MARQUES NETO, R. **Paisagem e geossistemas: bases teórico-metodológicas da Geografia Física aplicada**. Curitiba: CRV, 2022.

MARQUES NETO, R.; PEREZ FILHO, A.; OLIVEIRA, T. A. Geossistemas na bacia do Rio Verde (MG): proposta de mapeamento de sistemas ambientais físicos em escala regional. **Geografia**, v. 39, n. 2, 2014.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo - SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 24, p.57-79, ago. 2012. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/52754>. Acesso em: 10 fev. 2022.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MONTEIRO, C. A. F. Os geossistemas como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar na compreensão do ambiente. **Revista de Ciências Humanas**, v. 14, n. 19, p. 67-100, 1996.

MONTEIRO, L. I. B. **Pagamento por serviços ambientais em condições de uso intensivo do solo**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

MONTEIRO, J. M. **Tupis, Tapuias e Historiadores. Estudos de História Indígena e do Indigenismo**. Tese (Livre-docência em Etnologia) – Departamento de Antropologia. IFCH-UNICAMP, Universidade de Campinas, Campinas, SP, 2001.

MOORE, I.D. *et al.* Soil attribute prediction using terrain analysis **Sci. Soc.Am. J.**, v. 57, p. 443-452, 1993.

NOWATZKI, A. **Utilização de atributos topográficos no mapeamento preliminar de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno (Antonina/PR)**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

OLIVEIRA, T. A. **A concepção geossistêmica aplicada ao estudo da dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Lourenço Velho, Sul do Estado de**

Minas Gerais - Brasil. 2013. 176 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, SP, 2013.

OLIVEIRA, T. A.; RIEDEL, P. S. Os quatro níveis da pesquisa geográfica aplicados à organização e sistematização de atividades envolvidas na compartimentação de terrenos. **Revista Geonorte**, Edição especial, v. 1, n. 4, p. 69-77, 2012.

OLIVEIRA, T. A.; VIADANA, A. G.; PEREIRA, A. A. Fragilidade ambiental e dinâmica geossistêmica: mapeamento da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Lourenço Velho, Sul do Estado de Minas Gerais - Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 71, p. 504-516, 2019.

PASSOS, M. M. dos. A conceituação da paisagem. **Formação (Online)**, v. 1, n. 3, 1996.

PEDRON, F. A. *et al.* Solos urbanos. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1647-1653, 2004.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental.** Fortaleza: Edições UFC, 2017.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator**, v. 1, n. 1, p. 95-112, 2002.

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

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

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

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

SILVA, B. A. *et al.* Mapeamento digital de solos e os atributos topográficos das vertentes no alto curso da sub-bacia hidrográfica do Córrego Quatro Pontes, PR – Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, 2018.

SILVEIRA, C.T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais.** 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

SIRTOLI, A. E. *et al.* Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 317-329, 2008.

SOUZA, C. G. *et al.* **Manual técnico de pedologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 1995.

SOUZA, M. M.; COSTA, L. H.; CARVALHO, D. A. S. Utilização de ferramentas de geoprocessamento para mapear as fragilidades ambientais na área de influência direta da UHE de Belo Monte, no Estado do Pará. **Espaço Plural**, São Paulo, n. 25, p. 73-85, 2011. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/espacoplural>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SOCHAVA, V. B. Geography and ecology. **Soviet Geography: Review and Translation**, New York, v. 12, n. 5, p. 277-293, 1971.

SOCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em Questão**, São Paulo, n. 6, p. 1-51, 1977.

SOCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação dos geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**, São Paulo, n. 14, p. 1-21, 1978.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. 165 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2001.

THEDESCHI, M. F.; VIEIRA, P.; NOMO, T. A. **Projeto fronteiras de Minas Gerais: Folha Caldas/Poços de Caldas**. Escala 1: 100.000. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015. 80 p.

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

TRICART, J. **Paisagem e ecologia**. São Paulo: IGEO/USP, 1981.

TRICART, J. Principes et méthodes de la géomorphologie. **Soil Science**, v. 100, n. 4, p. 300, 1965.

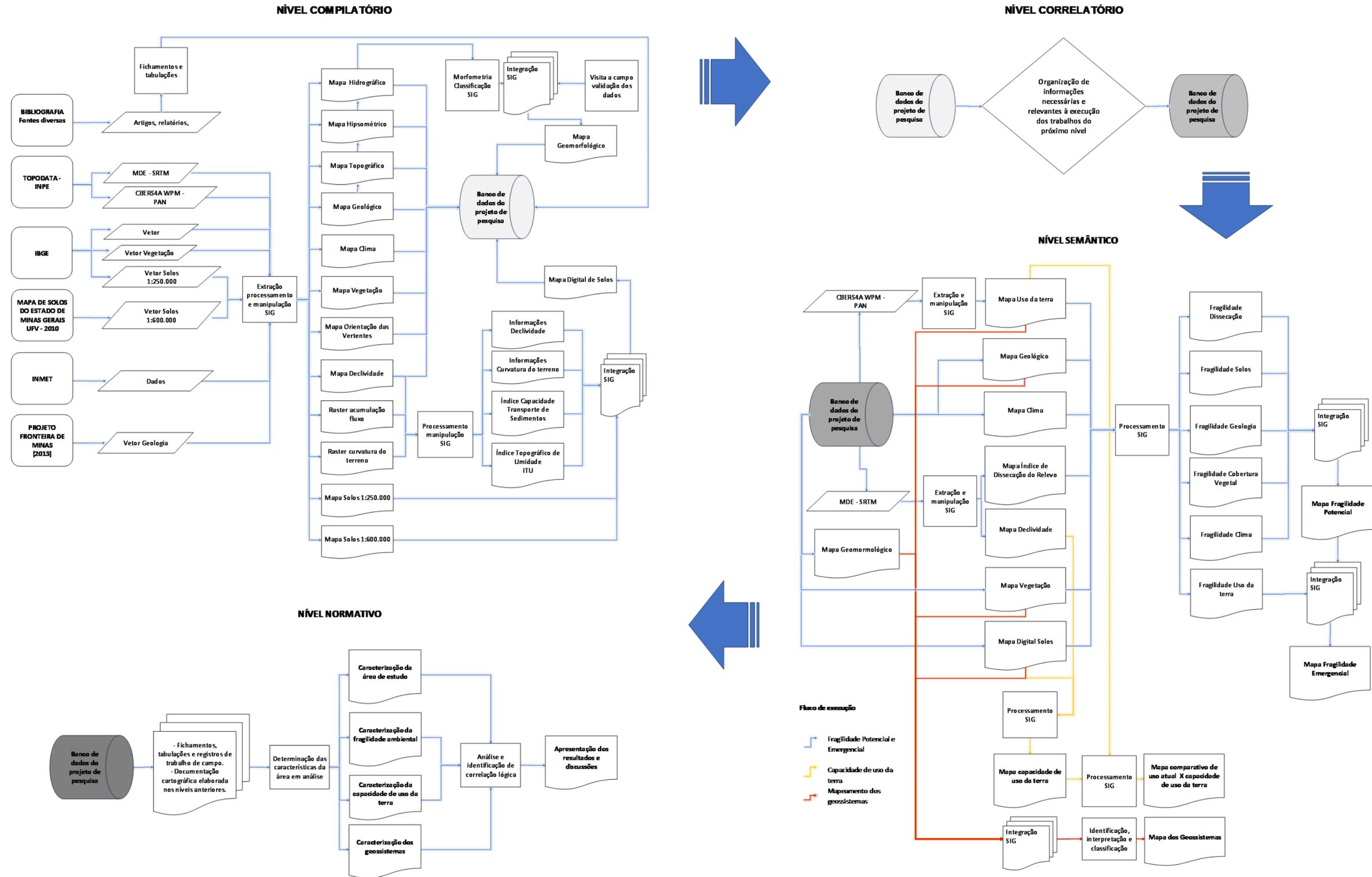
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Escala 1: 650.000. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

VALERIANO, M. M. **Topodata. Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, SP, INPE, 2008.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: 06 out. 2022.

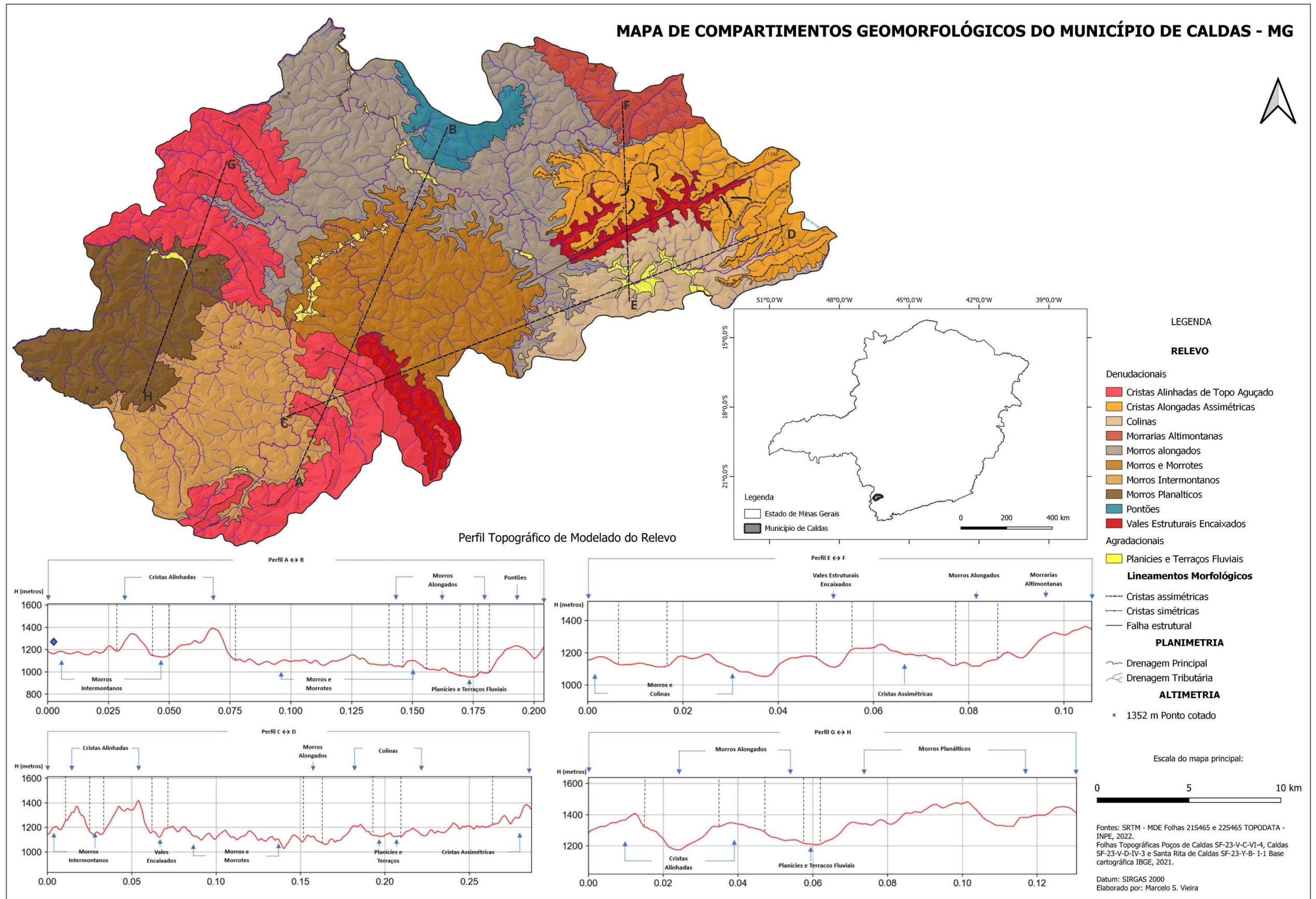
YEFREMOV, Y. K. The place of physical Geography among the natural sciences. **Soviet Geography: Review and Translation**, New York, v. 5, n. 2, p. 3-10, 1964.

APÊNDICE I - FLUXOGRAMA DE ORGANIZAÇÃO DAS ETAPAS DE TRABALHO



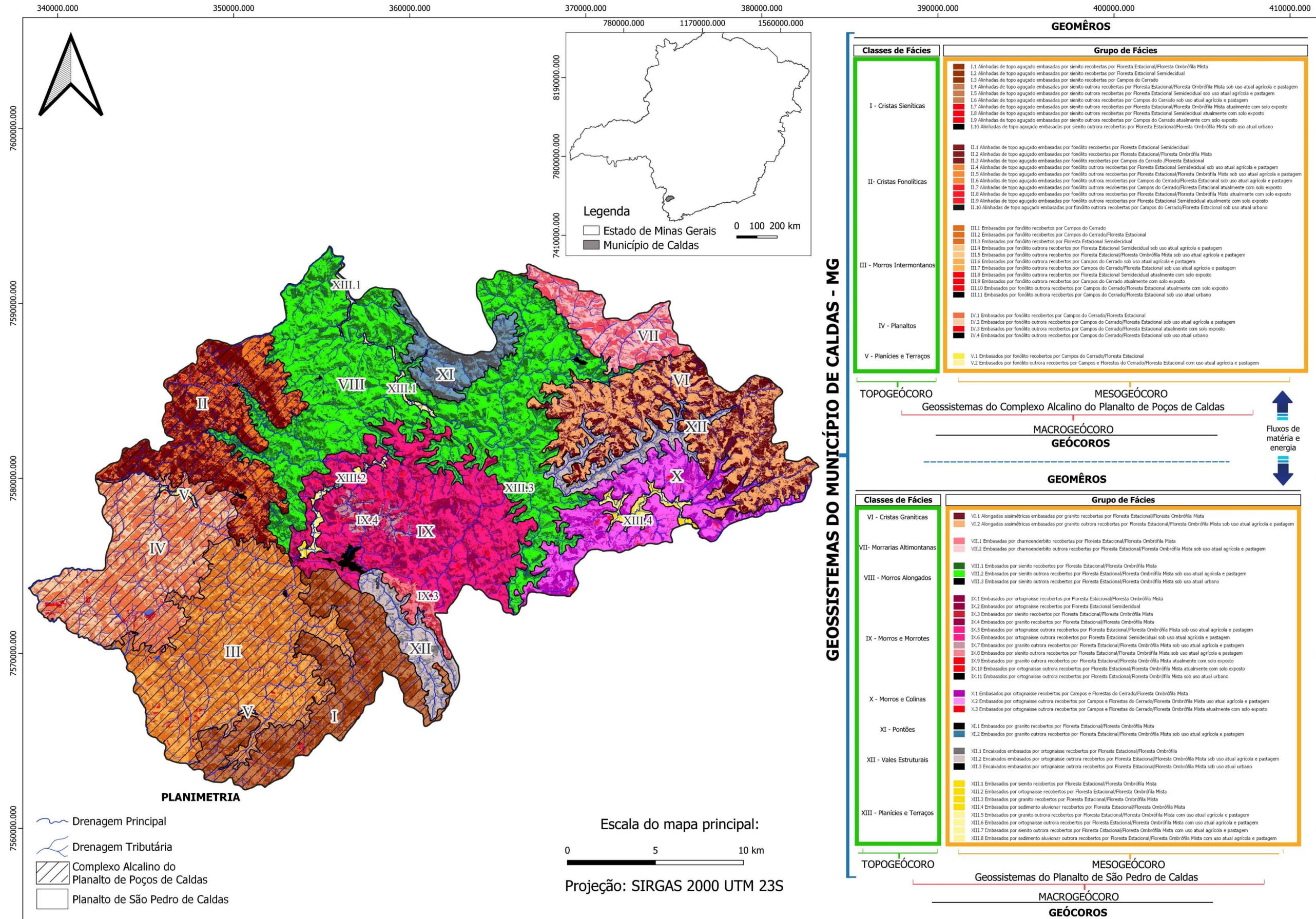
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

APÊNDICE II - MAPA DE COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS DO MUNICÍPIO DE CALDAS – MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

APÊNDICE III - MAPA DOS GEOSSISTEMAS DO MUNICÍPIO DE CALDAS - MG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

APÊNDICE IV - SÍNTESE DE CARACTERÍSTICAS E PROGNÓSTICOS AMBIENTAIS

Diagnóstico e Orientações com Vistas ao Planejamento Ambiental dos Mosaicos Geossistêmicos do Município de Caldas-MG			
<i>Geossistemas do Complexo Alcalino do Planalto de Poços de Caldas</i>			
UNIDADES GEOSSISTÊMICAS CLASSES DE FÁCIAS	GRUPOS DE FÁCIAS	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	Orientações
I - Cristas Sieníticas	I.1 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito recobertas por Floresta Estacional/Ombrófila Mista	Áreas com elevados percentuais de declividade entre 45% e 75% e impróprias ao aproveitamento agrícola sustentando remanescentes da Mata Atlântica, além de Campos do Cerrado e Campos de altitude. A fragilidade ambiental potencial esta estabelecida nas classes "Média" "Alta" e "Muito Alta".	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de medidas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. • Promoção de práticas agrícolas sustentáveis e a criação de Áreas de Proteção Permanente que visem proteger a biodiversidade local. • Implementação de práticas conservacionistas, como terraceamento e plantio em nível. • Monitoramento e controle do pastoreio para evitar a degradação do solo.
	I.2 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito recobertas por Floresta Estacional Semidecidual		
	I.3 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito recobertas por Campos do Cerrado		
	I.4 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito outrora recobertas por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem		
	I.5 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito outrora recobertas por Floresta Estacional Semidecidual sob uso atual agrícola e pastagem		
	I.6 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito outrora recobertas por Campos do Cerrado sob uso atual agrícola e pastagem		
	I.7 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito outrora recobertas por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista atualmente com solo exposto		
	I.8 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito outrora recobertas por Floresta Estacional Semidecidual atualmente com solo exposto		
	I.9 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito outrora recobertas por Campos do Cerrado atualmente com solo exposto		
	I.10 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito recobertas por Floresta Estacional/Ombrófila Mista		
II - Cristas Fonolíticas	II.1 Alinhadas de topo aguçado embasadas por fonólito recobertas por Floresta Estacional Semidecidual	Áreas com declividades entre 45% e 75% e impróprias ao aproveitamento agrícola sustentando remanescentes da Mata Atlântica e Campos de altitude. A fragilidade ambiental potencial esta estabelecida nas classes "Média" "Alta" e "Muito Alta".	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégias de restauração ecológica, juntamente com políticas de uso da terra mais sustentáveis que visem reverter a degradação. • Implementação de políticas públicas e programas de educação ambiental como envolvimento da comunidade local para promover a conscientização e a conservação. • Implementação de medidas de conservação do solo, como rotação de culturas e plantio direto. • Restauração e proteção das áreas de vegetação nativa. Regulamentação mais restritiva e monitoramento das atividades mineradora e silvicultura para reduzir impactos ambientais.
	II.2 Alinhadas de topo aguçado embasadas por fonólito recobertas por Floresta Estacional/Ombrófila Mista		
	II.3 Alinhadas de topo aguçado embasadas por sienito recobertas por Campos do Cerrado		
	II.4 Alinhadas de topo aguçado embasadas por fonólito outrora recobertas por Floresta Estacional Semidecidual sob uso atual agrícola e pastagem		
	II.5 Alinhadas de topo aguçado embasadas por fonólito outrora recobertas por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem		
	II.6 Alinhadas de topo aguçado embasadas por fonólito outrora recobertas por Campos do Cerrado sob uso atual agrícola e pastagem		
	II.7 Alinhadas de topo aguçado embasadas por fonólito outrora recobertas por Floresta Estacional Semidecidual atualmente com solo exposto		
	II.8 Alinhadas de topo aguçado embasadas por fonólito outrora recobertas por Floresta Estacional/Ombrófila Mista atualmente com solo exposto		
	II.9 Alinhadas de topo aguçado embasadas por fonólito outrora recobertas por Campos do Cerrado atualmente com solo exposto		
	II.10 Alinhadas de topo aguçado embasadas por fonólito outrora recobertas por Campos do Cerrado atualmente sob uso atual urbano		
III - Morros Intermontanos	III.1 Embasados por fonólito recobertos por Campos do Cerrado	Áreas com elevados percentuais de declividades entre 20% e 45 % abrigando a vegetação nativa composta por remanescentes da Floresta Estacional, Floresta Estacional Semidecidual e Campos do Cerrado que recobrem às margens dos rios e esparsamente o topo de alguns morros. A fragilidade ambiental potencial está estabelecida nas classes "Média" "Alta" e "Muito Alta".	<ul style="list-style-type: none"> • Investimentos em reflorestamento com espécies nativas e práticas agrícolas sustentáveis para restaurar a cobertura vegetal e reduzir a erosão do solo. • O monitoramento ambiental contínuo é recomendado para a efetiva conservação. • Implementação de práticas de conservação do solo, como manejo adequado de pastagens e controle de erosão com plantio de forrageiras • Restauração de áreas degradadas. • Fiscalização e regulamentação mais restritivas às atividades de mineração e silvicultura para reduzir impactos ambientais.
	III.2 Embasados por fonólito recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional		
	III.3 Embasados por fonólito recobertos por Floresta Estacional Semidecidual		
	III.4 Embasados por fonólito outrora recobertos por Floresta Estacional Semidecidual sob uso atual agrícola e pastagem		
	III.5 Embasados por fonólito outrora recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem		
	III.6 Embasados por fonólito outrora recobertos por Campos do Cerrado sob uso atual agrícola e pastagem		
	III.7 Embasados por fonólito outrora recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional sob uso atual agrícola e pastagem		
	III.8 Embasados por fonólito outrora recobertos por Floresta Estacional Semidecidual atualmente com solo exposto		
	III.9 Embasados por fonólito outrora recobertos por Campos do Cerrado atualmente com solo exposto		
	III.10 Embasados por fonólito outrora recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional atualmente com solo exposto		
	III.11 Embasados por fonólito outrora recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional sob uso atual urbano		

Diagnóstico e Orientações com Vistas ao Planejamento Ambiental dos Mosaicos Geossistêmicos do Município de Caldas-MG			
<i>Geossistemas do Complexo Alcalino do Planalto de Poços de Caldas</i>			
IV - Planaltos	IV.1 embasados por fonólito recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional	Áreas estabelecidas em terrenos com declividades entre 3% a 45% abrigando a vegetação nativa remanescente. A fragilidade ambiental potencial encontra-se nas classes "Média" "Alta" e "Muito Alta".	<ul style="list-style-type: none"> • A implementação de práticas de conservação do solo, como terraceamento e rotação de culturas visando mitigar os impactos. • Promover o manejo sustentável dos recursos naturais e incentivar a participação da comunidade na gestão ambiental. Implementação de políticas públicas de apoio às práticas sustentáveis de agricultura. • Restauração e proteção das áreas de vegetação nativa. Controle e mitigação dos impactos das atividades mineradora e de silvicultura.
	IV.2 embasados por fonólito outrora recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional sob uso atual agrícola e pastagem	Áreas que representam terrenos com declividades entre 8% e 45%, os quais prevalecem o uso inadequado da terra para agricultura, silvicultura e pastagens ocasionando processos erosivos e transporte de sedimentos. A fragilidade ambiental emergente encontra-se nas classes "Alta" a "Muito alta", especialmente em áreas adjacentes estabelecidas em cotas altimétricas inferiores.	
	IV.3 embasados por fonólito outrora recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional atualmente com solo exposto		
	IV.4 embasados por fonólito outrora recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional sob uso atual urbano		
V - Planícies e terraços	V.1 embasados por fonólito recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional	Áreas portadoras da cobertura vegetal nativa composta por Campos do Cerrado e a Floresta Estacional. As declividades estão estabelecidas em até 5% e a fragilidade ambiental potencial encontra-se na classe "Média".	<ul style="list-style-type: none"> • Restauração de áreas degradadas e a criação de Áreas de Preservação Permanente da biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. • Medidas de controle de erosão e manejo integrado de bacias hidrográficas também são recomendadas. • Implementação de políticas públicas de apoio às práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas e cultivo mínimo próximo às margens da rede de drenagem. • Restauração e proteção das matas ciliares.
	V.2 embasados por fonólito outrora recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Estacional sob uso atual agrícola e pastagem	Áreas com baixa declividade de até 5%, as quais ocorrem a supressão da vegetação nativa devido ao cultivo agrícola e expansão das pastagens. A fragilidade ambiental emergente corresponde às classes "Alta" e "Muito alta". O transporte intensificado de sedimentos durante períodos de alta vazão hídrica agrava essa fragilidade.	

Diagnóstico ambiental e Orientações com Vistas ao Planejamento Ambiental dos Mosaicos Geossistêmicos do Município de Caldas-MG			
<i>Geossistemas do Planalto São Pedro de Caldas</i>			
UNIDADES GEOSISTÊMICAS CLASSES DE FÁCIES	GRUPOS DE FÁCIES	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	Orientações
VI - Cristas Graníticas	VI.1 Alongadas assimétricas embasadas por granito recobertas por Floresta Estacional/Ombrófila Mista	Áreas em terrenos com declividade entre 45% a 75% abrigando a vegetação nativa composta por remanescentes da Floresta Estacional e Floresta Ombrófila Mista. A fragilidade ambiental potencial está estabelecida nas classes "Baixa" a "Alta".	<ul style="list-style-type: none"> • A implementação de práticas de conservação do solo e restauração de áreas degradadas que visem reduzir os impactos negativos. • A criação de Áreas de Proteção Permanentes e corredores ecológicos para a proteção da fauna e flora locais. Regulamentação do pastoreio para reduzir a degradação do solo.
	VI.2 Alongadas assimétricas embasadas por granito recobertas por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem	Áreas estabelecidas em terrenos com forte declividade entre 20% a 75%. Sofre pressão antrópica em decorrência das expansões da pastagem e da agricultura, desdobrando-se na manifestação de processos erosivos laminares e lineares que, por sua vez, intensifica o processo de transporte de sedimentos para as áreas adjacentes. A fragilidade ambiental emergente encontra-se nas classes "Alta" a "Muito alta".	
VII - Morrarias altimontanas	VII.1 Embasadas por charnoenderbitos recobertas por Floresta Estacional/Ombrófila Mista	Áreas distribuídas em terrenos com declividades entre 45% e 75% recobertas por Floresta Estacional e Floresta Ombrófila Mista. A fragilidade ambiental potencial está estabelecida nas classes "Baixa" a "Alta".	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificação das atividades agrícolas e a adoção de técnicas agroecológicas que visem reduzir a pressão sobre os ecossistemas locais. • Regulamentação do pastoreio para reduzir a degradação do solo. • A promoção do ecoturismo e a valorização dos serviços ambientais prestados pela comunidade.
	VII.2 Embasadas por charnoenderbitos outrora recobertas por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem	Áreas em que se estabelecem o cultivo de café e pastagens configurando a fragilidade ambiental emergente para "Alta" e "Muito alta". Os terrenos possuem declividades entre 20% a 75%. São presentes os processos erosivos e o transporte de sedimentos intensificados.	
VIII - Morros alongados	VIII.1 Embasados por sienito recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista	Áreas com cobertura vegetal nativas formadas por Floresta Estacional e a Floresta Ombrófila Mista assentadas em terrenos com declividades entre 20% e 75%. Possui fragilidade ambiental potencial estabelecida nas classes "Baixa" a "Muito Alta" em face do aumento da declividade	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de práticas agrícolas sustentáveis, como o plantio agroflorestal e técnicas de conservação do solo. • Estabelecimento de Áreas de Proteção Permanente e a restauração da vegetação nativa. • Controle do desmatamento. • Regulamentação do pastoreio para reduzir a degradação do solo.
	VIII.2 Embasados por sienito outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem	Áreas em terrenos com declividades entre 8% e 45% com forte pressão da expansão das pastagens, agricultura e urbana sem medidas conservacionistas adequadas. Fragilidade ambiental emergente estabelecida nas classes "Alta" a "Muito alta". A manifestação de processos erosivos lineares e laminares é recorrente e acentuada.	
	VIII.3 Embasados por sienito outrora recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista sob uso atual urbano		
IX - Morros e morrotes	IX.1 Embasados por ortognaisse recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista	Áreas localizadas em terrenos com declividades entre 3% e 20% recobertos por Floresta Estacional, Floresta Ombrófila Mista e Campos do Cerrado. A fragilidade ambiental potencial está estabelecida nas classes "Baixa" a "Média".	<ul style="list-style-type: none"> • A adoção de políticas de planejamento urbano sustentável e o estabelecimento de áreas de preservação permanente que visem a proteção dos ecossistemas locais. • Envolvimento da comunidade na gestão ambiental e a implementação de políticas públicas educacionais e de incentivo às práticas conservacionistas.
	IX.2 Embasados por ortognaisse recobertos por Floresta Estacional Semidecidual		
	IX.3 Embasados por sienito recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista		
	IX.4 Embasados por granito recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista		

Diagnóstico ambiental e Orientações com Vistas ao Planejamento Ambiental dos Mosaicos Geossistêmicos do Município de Caldas-MG		
<i>Geossistemas do Planalto São Pedro de Caldas</i>		
	IX.5 Embasados por ortognaisse outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem IX.6 Embasados por ortognaisse outrora recobertos por Floresta Estacional Semidecidual sob uso atual agrícola e pastagem IX.7 Embasados por sienito outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem IX.8 Embasados por granito outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem IX.9 Embasados por granito outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista atualmente com solo exposto IX.10 Embasados por ortognaisse outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista atualmente com solo exposto IX.12 Embasados por ortognaisse outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual urbano	Áreas com ocupação urbana, expansão das pastagens e agricultura em terrenos com declividade entre 3% e 20%. A fragilidade ambiental emergente é estabelecida nas classes "Alta" e "Muito alta", especialmente em áreas urbanas e de aproveitamento agrícola, em que vigoram a prática do plantio de culturas temporárias e constante exposição dos solos, bem como a impermeabilização e contaminação dos solos e drenagem.
X - Morros e colinas	X.1 Embasados por ortognaisse recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Ombrófila Mista X.2 Embasados por ortognaisse outrora recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem X.3 Embasados por ortognaisse outrora recobertos por Campos do Cerrado/Floresta Ombrófila Mista atualmente com solo exposto	Áreas localizadas em terrenos com declividades entre 3% e 20% recobertos por Campos do Cerrado e Floresta Ombrófila Mista. A fragilidade ambiental potencial está estabelecida nas classes "Baixa" a "Alta". Áreas distribuídas em terrenos com baixa declividade figurando valores entre 3% a 20%. Prevalece a intensificação das práticas agrícolas de cultivo temporário configurando a fragilidade ambiental emergente nas classes "Alta" e "Muito alta".
XI - Pontões	XI.1 Embasados por granito recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista XI.2 Embasados por granito outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem	Áreas com cobertura vegetal nativas formadas por Floresta Estacional e a Floresta Ombrófila Mista assentadas em terrenos com declividades entre 20% e 75%. Possui fragilidade ambiental potencial estabelecida nas classes "Baixa" a "Muito Alta" Áreas em terrenos com declividades entre 8% e 75% com forte pressão da expansão das pastagens e agricultura sem medidas conservacionistas adequadas. Fragilidade ambiental emergente estabelecida nas classes "Alta" a "Muito alta". A manifestação de processos erosivos lineares e laminares é recorrente e acentuada.
XII - Vales estruturais	XII.1 Encaixados embasados por ortognaisse recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista XII.2 Encaixados embasados por ortognaisse outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem XII.3 Encaixados embasados por ortognaisse outrora recobertos por Floresta Estacional/Ombrófila Mista sob uso atual urbano	Áreas com cobertura vegetal nativas formadas por Floresta Estacional e a Floresta Ombrófila Mista assentadas em terrenos com declividades entre 3% e 75%. Possui fragilidade ambiental potencial estabelecida nas classes "Baixa" a "Alta". Áreas que prevalecem prática agrícola e pastagem em terrenos com declividades entre 3% a 75%. São presentes os processos erosivos laminares e lineares e o carreamento de sedimentos, elevando a fragilidade ambiental emergente para "Alta" e "Muito alta".
XIII - Planícies e terraços	XIII.1 Embasados por sienito recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista XIII.2 Embasados por ortognaisse recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista XIII.3 Embasados por granito recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista XIII.4 Embasados por sedimento aluvionar recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista XIII.5 Embasados por sienito outrora recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem XIII.6 Embasados por ortognaisse outrora recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem XIII.7 Embasados por granito outrora recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem XIII.8 Embasados por sedimento aluvionar outrora recobertos por Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista sob uso atual agrícola e pastagem	Áreas estabelecidas em terrenos de baixa declividade alcançando valores de até 5%. Abriga a cobertura vegetal nativa composta Floresta Estacional e a Floresta Ombrófila Mista. A fragilidade ambiental é estabelecida nas classes "Alta" e "Muito alta". Áreas estabelecidas em terrenos de baixa declividade alcançando valores de até 5%. Vulneráveis à erosão do solo devido às práticas agrícolas de cultivo temporário. Suscetíveis a inundações sazonais e assoreamento devido à ocupação humana e à modificação dos cursos d'água.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

- A implementação de práticas agrícolas sustentáveis e o incentivo à agroecologia que visem reduzir os impactos ambientais.
- O monitoramento ambiental e a implementação de políticas públicas de educação ambiental.

- A implementação de práticas de conservação do solo, como o plantio de cobertura vegetal e o terraceamento.
- O manejo sustentável dos recursos hídricos e a proteção de nascentes são fortemente recomendados.

- A implementação de práticas agrícolas sustentáveis, como a agricultura de precisão e a rotação de culturas.
- A recuperação de áreas degradadas e a proteção de cursos d'água são medidas essenciais para preservar os ecossistemas locais.
- A implementação de práticas de conservação do solo. O manejo sustentável dos recursos hídricos e a proteção de nascentes são fortemente recomendados.

- Restauração de áreas degradadas e a proteção de habitats naturais para preservar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.
- Medidas de controle de erosão e manejo integrado de bacias hidrográficas.
- Implementação de políticas públicas de apoio às práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas e cultivo mínimo próximo às margens da rede de drenagem.
- Restauração e proteção das matas ciliares.