

RAFAEL VILELA PEREIRA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL A PROCESSOS EROSIVOS NO
MUNICÍPIO DE CAMPOS GERAIS-MG

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan

JUIZ DE FORA

2014

RAFAEL VILELA PEREIRA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL A PROCESSOS EROSIVOS NO
MUNICÍPIO DE CAMPOS GERAIS-MG

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração: Espaço e Ambiente, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção parcial do grau de mestre.

JUIZ DE FORA

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
CURSO DE MESTRADO

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL A PROCESSOS EROSIVOS NO
MUNICÍPIO DE CAMPOS GERAIS-MG

Autor: Rafael Vilela Pereira

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan

JUIZ DE FORA

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Vilela Pereira, Rafael.

Análise da fragilidade ambiental a processos erosivos no município de Campos Gerais-MG. / Rafael Vilela Pereira. -- 2014.

94 p.

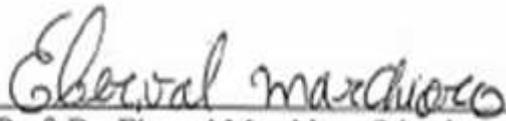
Orientador: Ricardo Tavares Zaidan

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014.

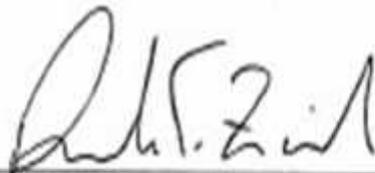
1. Fragilidade Ambiental. 2. Geoprocessamento. 3. Campos Gerais-MG. I. Tavares Zaidan, Ricardo, orient. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL A PROCESSOS EROSIVOS NO
MUNICÍPIO DE CAMPOS GERAIS-MG**



Prof. Dr. Eberval Marchioro (Membro externo)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Roberto Marques Neto (Membro interno)
Universidade Federal de Juiz de Fora

JUIZ DE FORA

2014

RESUMO

A finalidade deste projeto foi mapear a fragilidade ambiental a processos erosivos de Campos Gerais-MG adotando a metodologia da fragilidade empírica de Ross (1994). O município localiza-se no sul de Minas Gerais na micro-região de Varginha, entre as coordenadas geográficas 21°14'06" de latitude S e 45°45'31" de longitude W, tendo como cidades limítrofes, Boa Esperança e Campo do Meio ao norte, Santana da Vargem e Três Pontas a leste, a sul Paraguaçu e Fama e a oeste Alfenas. Integra juntamente com estas cidades o *Circuito das Águas*, que compreende todo o complexo da Represa de Furnas. Devido à intensa produção agrícola no município, grandes extensões de matas nativas foram extintas e as que restaram são fragmentos esparsos de vegetação nativa e secundária. Vários são os problemas ambientais causados pelo mal uso desses recursos, mas pode-se destacar os ligados à erosão que tornou-se muito acelerada, com sedimentos provenientes dos espaços destinados à produção agropecuária. Por isso, tornou-se válida a aplicação da metodologia na qual a análise foi realizada utilizando-se de fatores naturais e antrópicos do local, que contribuiu para o entendimento de sua complexidade. Este mapeamento da fragilidade ambiental permitiu avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma inter-relacionada. Entende-se que esse enfoque exerce papel fundamental no planejamento ambiental do município.

Palavras Chave: Campos Gerais-MG, fragilidade ambiental, geoprocessamento.

ABSTRACT

The purpose of this project was to map the environmental fragility of the erosion of Campos Gerais- MG adopting the methodology of empirical fragility of Ross (1994) . The municipality is located in the south of Minas Gerais in the micro-region of Varginha, between the geographical coordinates $21^{\circ} 14'06''$ S latitude and $45^{\circ} 45'31''$ W longitude, with the neighboring cities, Boa Esperança and Campo do Meio at north, Santana da Vargem at east, at south Paraguaçu and Fama and at west Alfenas. Integrates these cities along with the *Circuito das Águas, which comprises the entire complex of Represa de Furnas*. Due to intense agricultural production in the county , large tracts of native forests were extinguished and the remaining are scattered fragments of native and secondary vegetation . There are many environmental problems caused by the misuse of these resources , but can highlight those related to erosion that has become greatly accelerated , with sediments from the spaces destined for agricultural production . So it became valid application of the methodology on which the analysis was performed using natural and anthropogenic factors of the site , which contributed to the understanding of its complexity. This mapping of environmental fragility allowed evaluate the potential of the environment in an interrelated manner. It is understood that this approach has a fundamental role in environmental planning of the municipality .

Keywords: Campos Gerais MG, environmental fragility, geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Exemplo de uma área com ocorrência de erosão laminar	34
Figura 2 - Exemplo de uma área com ocorrência de ravinas	35
Figura 3- : Exemplo de uma área com ocorrência de voçoroca	36
Figura 4- Ilustração de escorregamento rotacional	37
Figura 5 – :Ilustração de escorregamento translacional	37
Figura 6 - Ilustração do movimento de rastejo	38
Figura 7 - – Localização do município de Campos Gerais na meso-região do sul de Minas Gerais	39
Figura 8 - Modelo esquemático representativo de sobreposição de Planos de Informações para o mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente	45
Figura 9 - Representação esquemática das Unidades Taxonômicas propostas por Ross	49
Figura 10- Legenda das classes de fragilidade ambiental potencial do município de Campos Gerais – MG	59
Figura 11- Quadro do comando <i>Weighted Overlay</i> , com influência de cada variável e peso das classes à fragilidade ambiental potencial	60
Figura 12 - Quadro do comando <i>Weighted Overlay</i> , com influência de cada variável e peso das classes à fragilidade ambiental emergente	61
Figura 13 - Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente do município de Campos Gerais	61
Figura 14 – Hipsometria do município de Campos Gerais – MG	62
Figura 15 - Serra do Paraíso, município de Campos Gerais – MG	64
Figura 16 - Serra da Fortaleza, município de Campos Gerais – MG	64
Figura 17 - Mapa clinográfico do município de Campos Gerais – MG	65
Figura 18 - Mapa de morfologia do relevo do município de Campos Gerais – MG	68
Figura 19 - Litologia do município de Campos Gerais – MG	70
Figura 20 - Mapa pedológico do município de Campos Gerais – MG	72
Figura 21 - Mapa uso do solo e cobertura vegetal do município de Campos Gerais – MG	74
Figura 22 - Cultivo Agrícola no município Campos Gerais – MG	75

Figura 23 - Pastagem no município de Campo Gerais– MG	76
Figura 24- Fragmentos de mata na Serra do Paraíso	77
Figura 25 - Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial do município de Campos Gerais – MG	78
Figura 26 - Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente do município de Campos Gerais	81
Figura 27 - Chaves de interpretação para o mapeamento de processos erosivos e movimentos de massa	82
Figura 28 - Processos erosivos e movimentos de massa identificados no município de Campos Gerais	83
Figura 29 - Ravinas, em meio a plantações, devido ao escoamento superficial	84
Figura 30 - Voçoroca localizada na Serra da Fortaleza	85
Figura 31 - Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente, associado aos processos erosivos e movimentos de massa localizados no município de Campos Gerais – MG	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro comparativo entre a Cartografia Sistemática e cartografia Temática	6
Quadro 2 - Material cartográfico e produtos de sensoriamento remoto utilizados na pesquisa	44
Quadro 3 - Classes hipsométricas do município de Campos Gerais – MG	47
Quadro 4 - Classes de declividades e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campo- MG	48
Quadro 5 - Classes de morfologia do relevo e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campos Gerais – MG	50
Quadro 6 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns	52
Quadro 7 - Unidades litológicas e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campos Gerais – MG	52
Quadro 8 - Classes de fragilidade de acordo com os tipos de solos	54
Quadro 9 - Valores de Vulnerabilidade dos Solos	54
Quadro 10 - Classes de solo e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campos Gerais – MG	55
Quadro 11 - Chave de interpretação para as classes de uso identificadas	56
Quadro 12 - Grau de proteção da cobertura vegetal	58
Quadro 13 - Classes de uso do solo e cobertura vegetal e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campos Gerais – MG	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área das classes hipsométricas por km ² e por proporções percentuais da área total	63
Tabela 2 - Área das classes clinográficas por km ² e por proporções percentuais da área total	66
Tabela 3 - Área das unidades de relevo por km ² e por proporções percentuais da área total	67
Tabela 4 - Área das unidades litológicas por km ² e por proporções percentuais da área total	69
Tabela 5 - Área das classes de solo por km ² e por proporções percentuais da área total	73
Tabela 6 - Área das classes de uso do solo e cobertura vegetal por km ² e por proporções percentuais da área total	75
Tabela 7 - Área das classes de fragilidade ambiental potencial por km ² e por proporções percentuais da área total	78
Tabela 8 - Área das classes de fragilidade ambiental emergente por km ² e por proporções percentuais da área total	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
2.1. Objetivo Geral	03
2.2. Objetivos Específicos	03
3. EMBASAMENTO TEORICO	04
3.1. A Cartografia Temática Ambiental e as novas Tecnologias Contribuindo na Análise Socioambiental	04
3.2. Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental	13
3.3. Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)	17
3.4. Fragilidade Ambiental	22
3.4.1. Metodologias e Aplicações de Estudos de Fragilidades Ambiental	22
3.4.2. Evolução de Processos Erosivos e Movimentos de Massa	30
4. ÁREA DE ESTUDO	39
5. MATERIAL E MÉTODO	43
5.1. Descrição das Técnicas e etapas de elaboração dos Mapas Temáticos	45
5.2. Arquivos Base	46
5.2.1. Mapa Hipsométrico	46
5.2.2. Mapa Clinográfico	47
5.2.3. Mapa de Morfologia do Relevo	48
5.2.4. Mapa Litológico	50
5.2.5. Mapa Pedológico	53
5.2.6. Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	55
5.2.7. Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial	59
5.2.8. Mapa de Fragilidade Emergente	60
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
6.1. Mapa Hipsométrico	62
6.2. Mapa Clinográfico	65
6.3. Mapa de Morfologia do Relevo	66
6.4. Mapa Litológico	68

6.5. Mapa Pedológico	71
6.6. Mapa de uso da Terra e Cobertura Vegetal	73
6.7. Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial	77
6.8. Mapa de Fragilidade Emergente	80
6.9. Processos erosivos e movimentos de massa	82
CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

1.INTRODUÇÃO

A grande eliminação das matas e conseqüente fragmentação florestal no Brasil nos últimos anos têm causando um aumento significativo dos processos de erosão dos solos nos sistemas ambientais. Estas modificações são perceptíveis quando se constata intensa redução da biodiversidade presente nos sistemas naturais, além da degradação de imensas áreas submetidas às ações antrópicas. Dessa forma, tornou-se necessário que a sociedade iniciasse um debate cada vez mais intenso acerca da problemática ambiental e os possíveis riscos que a não observância das principais questões sobre o tema possam acarretar para a sobrevivência da humanidade e dos diversos ecossistemas mundiais.

Após diversas discussões, foram elaboradas políticas que possibilitem o uso sustentável dos recursos naturais, o que demonstra que a questão ligada ao meio ambiente tornou-se de extrema relevância. Pode-se afirmar que estas políticas são de extrema relevância em regiões expostas à rápida deterioração ou áreas com recursos de valor significativo, tanto por seu papel econômico, quanto por seu significado para a sobrevivência de outras espécies.

Pertencendo ao pólo regional de Varginha, o município de Campos Gerais tem vocação agropecuária destacando a produção de café como principal produto, merecendo destaque a pecuária, na criação de gado de corte e leiteiro. Grande parte da atividade agrícola exercida está voltada para o cultivo de subsistência predominando as culturas de arroz, batata, mandioca, feijão, milho, alho, cana de açúcar, soja, banana, entre outras. Algumas indústrias já fazem parte do cenário municipal, se caracterizando como micro-empresas. As atividades terciárias estão concentradas em Varginha permanecendo em Campos Gerais um setor de comércio e serviços pouco diversificado, mas que atende as necessidades da população.

Devido à intensa produção agrícola no município, grandes extensões de matas nativas foram extintas e as que restaram são fragmentos esparsos de vegetação nativa e secundária. Outra causa do intenso desmatamento em Campos Gerais é a expansão urbana que vem destruindo parte considerável da diversidade florística do local, trazendo sérias conseqüências para a rede

hidrográfica da região. Vários são os problemas ambientais causados pelo mal uso desses recursos, mas pode-se destacar os ligados à erosão que tornou-se muito acelerada, com sedimentos provenientes dos espaços destinados à produção agropecuária. Essa destinação da terra provoca a perda de solos, de sua fertilidade e produtividade em médio prazo, e, também, causa o assoreamento do canal principal e de seus tributários. A erosão acelerada diminui a qualidade das águas destinadas ao abastecimento doméstico do município.

Os ambientes alterados pela utilização antrópica saem de seu estado natural de equilíbrio dinâmico, o que, muitas vezes, promove a perda de recursos naturais, como no caso dos solos. Os diversos usos do solo pelo homem têm provocado perdas significativas desse recurso tão importante para a manutenção da vida e desenvolvimento das nações.

Dentro desse contexto surgiram métodos, modelos e estudos encarregados de fazer o diagnóstico da relação entre a ocupação humana e as transformações dos ambientes, como a Análise Empírica da Fragilidade Ambiental, proposta por Ross (1994). Esse estudo pressupõe a qualificação da fragilidade dos solos à erosão decorrente das características naturais do ambiente (Fragilidade Potencial) correlacionada aos usos do solo pelo homem (Fragilidade Ambiental). Portanto, está relacionada à geologia, geomorfologia, classe dos solos, clima e uso dos solos.

Por meio da análise ambiental, que tem como objetivo primordial inventariar o meio físico é possível recorrer a diferentes metodologias e abordagens em função das complexidades dos sistemas ambientais. Dentre as diversas opções, este projeto focará o mapeamento da fragilidade ambiental, analisando a inter-relação dos componentes físicas e bióticas na dinâmica de Campos Gerais- MG.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a fragilidade ambiental a processos erosivos do município de Campos Gerais-MG utilizando o método Análise Empírica da Fragilidade Ambiental, proposto por Ross (1994).

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1 Criação da base de dados digital do município que subsidiará o método de Análise Empírica da Fragilidade Ambiental.

2.2.1.1 Analisar hipsometricamente o município;

2.2.1.2 Verificar as características de declividade da área de estudo;

2.2.1.3 Analisar o mapa de relevo de Campos Gerais-MG;

2.2.1.4 Adequar mapa geológico para a escala de estudo, via compilação de cartas disponíveis;

2.2.1.5 Adequar do mapa pedológico via compilação de cartas disponíveis;

2.2.1.6 Analisar o mapa de uso e ocupação da terra atual.

2.2.2 Analisar a fragilidade ambiental a erosão dos solos

3. EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1. A Cartografia Temática Ambiental e as novas tecnologias contribuindo na análise socioambiental

Desde os primórdios da humanidade, o homem registrou de alguma forma aspectos de sua vida social na superfície terrestre. Os povos primitivos com o objetivo de garantir sua subsistência, deslocavam-se continuamente no espaço, acumulando informações sobre os caminhos percorridos, podendo-se dizer que assim surgiram os “primeiros mapas” (FERREIRA & SIMÕES, 1986).

A própria definição de cartografia passou por várias transformações, para Sanchez (1981, p. 74), a Cartografia é definida com a

Ciência que se preocupa com os estudos e as operações científicas, artísticas e técnicas resultantes de observações e medidas diretas ou explorações de documentações visando à obtenção de dados e informações para a elaboração de representações gráficas tipo: plantas, cartas, mapas, gráficos, diagramas e outras formas de expressão, bem como, sua utilização.

Num contexto de progresso e afirmação das ciências, com o surgimento dos diferentes ramos de estudo que advieram da divisão do trabalho científico no fim do século XVIII e início do século XIX, solidificados no século XX, e a necessidade de uma Cartografia mais específica que fosse capaz de traduzir graficamente outros fenômenos espaciais integrados ao objeto de estudo de uma determinada área, com o fim de estabelecer resultados mais completos e precisos, surge a denominada Cartografia Temática.

A Cartografia Temática é usada na elaboração de mapas temáticos e cartogramas. São convenções, símbolos e cores usadas para que haja uma melhor compreensão do tema exposto e seu espaço geográfico. Ademais, indica o fenômeno e onde ele ocorre, podendo também, através de símbolos, indicar a qualidade, a quantidade e a dinâmica desse fenômeno.

Cumprindo aqui ressaltar que a Cartografia Temática é utilizada concomitantemente com a Cartografia Topográfica, pois o surgimento deste

tipo de Cartografia não substituiu, tão pouco excluiu, a Cartografia Sistemática, apenas agregou valores a esta última.

Frise-se que o objetivo maior de uma representação gráfica é o de transcrever as três relações fundamentais, quais sejam: Diversidade, Ordem e Proporcionalidade, e fazer com que essa transcrição represente exatamente o tema proposto.

Para Duarte (1991), a Cartografia Temática tem como objetivo principal elaborar e utilizar mapeamentos temáticos, englobando a coleta, a análise, a interpretação e a representação das informações constantes em uma carta base. Nesse tipo de Carta o que é realmente relevante não são os contornos, paralelos ou meridianos, mas sim o conteúdo que será representado no mapa.

Archela (1999) ressalta que os temas analíticos podem ser obtidos por correlação entre vários temas elementares ou entre séries estatísticas. São representados a partir da utilização da técnica mais conveniente, objetivando a melhor visualização, incluindo, além de mapas, outras formas de representação como gráficos, blocos diagramas e croquis.

Martinelli (1991, p.35), diz:

(...) a Cartografia não é simplesmente uma técnica, indiferente ao conteúdo que está sendo veiculado. Se ela pretende representar e investigar conteúdos espaciais não poderá fazê-lo sem o conhecimento da essência dos fenômenos que estão sendo representados nem sem o suporte das ciências que os estudam.

A exemplo de mapas temáticos podemos citar: os mapas de clima, cartas náuticas e cartas oceanográficas, mapas turísticos, de comunicações, geológicos, de cobertura vegetal, morfológicos, econômicos, entre outros, pois são mapas especiais que atendem a um tema proposto.

Entretanto, cumpre ressaltar que para literatura específica raramente será encontrada a expressão temática para as cartas aeronáuticas, de previsão do tempo, náuticas e turísticas, pois para estas, a terminologia mais considerada como mais adequada é a de Mapas Especiais.

É certo afirmar que a linha divisória entre a Cartografia Sistemática e a Temática é muito tênue, uma vez que não são raros os casos que há diferenças ínfimas, tal como acontece quando as áreas de interpretações

utilizam a superposição de mapas temáticos e mapas de base para se atingir o resultado esperado.

Para melhor esclarecer o tema, Sanchez (1981), cita as principais características que diferenciam a Cartografia Temática da Sistemática, no quadro 1. Vejamos:

Quadro1 - Quadro comparativo entre a Cartografia Sistemática e Cartografia Temática.

Atributos	Cartografia Sistemática	Cartografia Temática
Conteúdo	Mapas topográficos com a representação do terreno.	Mapas temáticos que representam qualquer tema.
Objetivos	Atendem a uma ampla diversidade de propósitos.	Atendem usuários específicos.
Validade	Podem ser utilizados por muito tempo.	Geralmente os dados são superados com rapidez.
Preparo do Usuário	Leitura simples. Não requerem conhecimentos específicos para sua compreensão.	Interpretação complexa. Requerem conhecimentos específicos para sua compreensão.
Quem elabora	Elaborados por profissionais especializados em Cartografia.	Geralmente elaborados por pessoas não especializadas em Cartografia.
Uso das Cores	Utilizam cores de acordo com as convenções estabelecidas para mapas topográficos.	Utiliza cores de acordo com as relações entre os dados que apresenta.
Simbolismo	Uso generalizado de palavras e números para mostrar o fato.	Uso de símbolos gráficos, especialmente planejados para facilitar a compreensão de diferenças qualitativas e quantitativas.
Derivação	Sempre servem de base para outras representações.	Difícilmente serviriam de base para outras representações.

Ao se analisar o quadro comparativo acima exposto, pode-se concluir que se trata de uma ciência única formada por duas vertentes inseparáveis, uma vez que seria impossível se falar em um mapa puramente sistemático, que não traga consigo uma temática, bem como, não há que se falar em um mapa temático que não se prescinda de um mapa base.

A verdade é que com as informações contidas nesse quadro pode-se afirmar que há uma linha tênue entre a Cartografia Temática e a Sistemática, sendo certo que esse limiar não está tão bem definido.

Duarte (1991) diz que um mapa pode ser classificado como temático ou sistemático, sendo que essa definição dependerá da situação. A fim de se uniformizar essa classificação, convencionou-se internacionalmente, que o termo Cartografia Temática será adotado para designar todos os mapas que tratam de outro assunto além da simples representação do terreno.

Cabe aqui ressaltar que de forma geral, em qualquer um dos campos da Cartografia, a coleta, o registro, a análise e a edição dos dados em formato gráfico são operações tradicionais e rotineiras.

Embora seja correto afirmar que existe certa dependência da Cartografia Temática em relação à Sistemática, por ser esta a base para todos os tipos de mapas, deve-se observar que há uma grande diferença quanto aos métodos utilizados por ambas.

A Cartografia é considerada temática quando traz significados além da trilogia latitude, longitude e altitude. A Cartografia Temática é o instrumento de expressão dos resultados adquiridos pela Geografia, mas, ela própria é uma técnica que pode ser aplicada para projetar no espaço qualquer noção ou ação que se torne necessária representar espacialmente sem que essa noção ou ação faça parte de um sistema de relações geográficas propriamente ditas.

A Cartografia Temática representa temas diferentes que não tem necessariamente correlação com uma expressão física no espaço. A exemplo disso podemos representar ideias abstratas por meio de mapas, tais como, as áreas de influência de cidades, a densidade populacional, a produtividade de uma cultura, entre outras.

Martinelli (1991, p.38) entende que:

A Cartografia Temática em seu âmbito específico tem uma função tríplice: registrar, tratar e comunicar informações. Tem, também, como principal propósito ressaltar as três relações fundamentais entre conceitos previamente definidos: de diversidade/similaridade (S), de ordem (O) e de proporcionalidade (Q). Para tanto ela deve transcrever estas relações por relações visuais de mesma natureza, livre de ambiguidades.

Assim, pode-se afirmar que a Cartografia Temática funciona como ferramenta fundamental de análise socioambiental para fins de planejamento de ocupação de uma determinada área e visa promover a harmonia entre as várias formas de ocupação e o ambiente natural, pois através dela é possível direcionar o uso e ocupação do território, proteger os recursos naturais e prevenir/prevenir os riscos naturais e induzidos.

A crescente preocupação acerca dos problemas de degradação do meio ambiente teve repercussões sobre a Cartografia, no aspecto de definir e conceituar especificamente o tema e a forma de representação deste assunto.

É certo afirmar que a problemática ambiental envolve questões físicas, sociais, culturais e políticas do ambiente e tem sido área de interesse de um conjunto de pesquisadores.

E é nesse contexto que a representação gráfica se mostra eficiente, pois tem um grande potencial para contribuir nesta temática, tendo em vista que os mapas possuem uma tríplice função: registrar informações, processar dados e denunciar as distorções comunicando, posteriormente, os resultados obtidos.

A Cartografia Ambiental é um seguimento específico da Cartografia Temática. Em matéria ambiental almeja-se uma Cartografia que possa abranger os diferentes aspectos do ambiente, galgando uma Cartografia integrada.

Com o desenvolvimento das tecnologias de Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto, esta contribuição para a questão ambiental se tornou mais intensa.

A Cartografia Ambiental está enredada na Cartografia Temática, com algumas especificações e aplicações peculiares, na verdade é como uma Cartografia direcionada a um setor específico da Cartografia Temática responsável pela sistematização dos mapas ambientais ou do ambiente. Sousa (2009).

No meio cartográfico é crescente a busca pelo estabelecimento de uma metodologia mais específica para a representação cartográfica ambiental. Dois são os fatores que influenciaram o desenvolvimento da Cartografia na segunda metade do século XX: a ampliação das relações com as ciências naturais e sociais e a utilização de avanços tecnológicos.

Archela (1999) afirma que a Geografia, enquanto ciência, vem produzindo pesquisas em diferentes enfoques, voltados ao meio-ambiente. E, para representar a dinâmica do meio-ambiente, é importante buscar uma Cartografia que incorpore todas as relações existentes entre os elementos sociais.

E essa Cartografia seria a Temática Ambiental que permite representar fenômenos físicos, sociais, econômicos e ambientais estabelecendo relações

existentes entre eles, possibilitando, desta forma, conduzir decisões de planejamento territorial.

Importante salientar que para que a Cartografia Ambiental possa auxiliar realmente nessa questão, é necessário que o produto cartográfico possa revelar o seu conteúdo de forma abrangente e esclarecedora socializando o mapa e sua finalidade.

Acerca do assunto, Martinelli (1991, p.40):

(...) a Cartografia não poderá ter uma função meramente ilustrativa. Na pesquisa ela deve constituir um meio lógico capaz de revelar, sem ambiguidades, o conteúdo embutido na informação mobilizada e, portanto, dirigir o discurso do trabalho científico de forma abrangente, esclarecedora e crítica, socializando e desmistificando o mapa, enaltecendo assim, a finalidade social da ciência cartográfica.

Segundo o autor Raisz (1969), quando se trabalha com representação gráfica ambiental, une-se a técnica e a arte e esse processo de representação gráfica ambiental pode ser dividida em três partes: o agrimensor mede o terreno, o cartógrafo reúne todos os dados obtidos pelo anterior e transporta para o mapa, por último o geógrafo interpreta os assuntos explorados, interpretando a representação gráfica e construindo subprodutos para melhor entendê-lo.

Estes subprodutos são os mapas ambientais e os mapas de impacto ambiental, úteis aos pesquisadores ambientais, como geógrafos, biólogos e ecólogos. Uma questão que a Cartografia Ambiental deve considerar é a escala têmporo-espacial para cada tema a ser representado.

Nesse sentido Martinelli (1991, p.42) diz:

a necessidade, [...] de se conceber uma Cartografia que leve em conta, de um lado, a articulação dos diferentes níveis de análise em conformidade com as ordens de grandeza em que os fenômenos se manifestam, e de outro, as combinações e contradições que acontecem entre os conjuntos espaciais definidos pelos fenômenos sob apreciação, num mesmo nível têmporo-espacial.

Nesse sentido, a escala adequada para um mapa ambiental atende a determinado objetivo, varia de acordo com a categoria de estudo, a parte da realidade de interesse, que deve ser compatível com a resolução do fenômeno ou fenômenos nela manifestados, os quais, por sua vez demandam certo tempo para organização e consequente manifestação espacial.

Para Martinelli (1994) entre a variedade de escalas possíveis de serem adotadas não há somente diferenças qualitativas, há também diferenças quantitativas, pois um fenômeno tem sua organização e representação apenas em dada escala. Em outras escalas pode passar a não ter mais representação, alterando seu significado.

Assim tem-se que a realidade aparecerá de forma diferente de acordo com a escala utilizada nos mapas, segundo os níveis de análise que ela foi considerada. Esta questão poderia encobrir a realidade, o que se caracterizaria como uma omissão perante a sociedade.

Nessa perspectiva, Martinelli (1994) apresenta a necessidade de se ter uma Cartografia que articule os níveis de análise conforme ordens de grandeza dos fenômenos manifestados. Para tanto é necessário que a escala seja adequada para cada mapa ou categoria de estudo, parte da realidade interessada e a resolução dos fenômenos.

Dessa forma, conclui-se que alguns fenômenos só têm representação em dadas escalas e em outras passa a não ter. Dentro das propostas metodológicas, segundo o citado autor, os estudos só se tornam ambientais quando se inclui o homem no meio com suas interações e atividades, ou seja, o homem passa a ser um elemento.

Para Ross (1992), "a questão da representação gráfica das formas de relevo não pode ser tratada de forma a negligenciar a classificação ou taxonomia destas", uma vez que os diferentes tamanhos de formas estão diretamente associados à cronologia e à gênese.

A representação gráfica das vertentes e das pequenas formas de relevo, onde aparecem as ações do homem, tais como, ravinas, voçorocas e cicatrizes de deslizamentos, só poderão ser representadas em escalas grandes ou de detalhe, onde é possível cartografar detalhes dos fatos geomórficos identificados em fotografias aéreas, imagens de satélite de alta resolução ou no

campo. As escalas recomendadas para estas representações são: 1:25000, 1:10000, 1:5000 ou maior (ROSS, 1992).

Outra pesquisa metodológica de Cartografia Ambiental foi apresentada por André Journaux (1985 apud MARTINELLI, 1994, ARCHELA et al, 2002), que propõe três níveis de classificação para as cartas que tratam da temática ambiental:

- a) 1º nível: mapas de análise têm por objetivo cartografar elementos ou processos simples;
- b) 2º nível: mapas de síntese Cartografia de associações de elementos ou de processos para definir sistemas, ou para realizar mapas de aptidão ou dos riscos. São de sensibilização aos problemas ambientais, destinadas à conscientização do estado e da dinâmica ambiental e;
- c) 3º nível: mapas de sistemas objetivam cartografar as associações de elementos ou de processos. Destinados não só a conscientização do estudo do meio ambiente como também para subsidiar ações de planejamento territorial.

Journaux (1985 apud MARTINELLI, 1994, ARCHELA et al, 2002) ressalta a conveniência de se adotar uma precisão nos parâmetros da Cartografia ambiental. Sua legenda apresenta duas categorias de signos:

a) Dados do meio-ambiente que representam os elementos naturais como toponímia e topografia (cor cinza); hidrografia e hidrologia (cor azul); ar (cor branca); espaços construídos (cor laranja) e espaços cultivados (cor marrom).

b) Dinâmica do meio-ambiente que representam os fenômenos de modificações e de degradação do meio-ambiente como: degradação do solo (cor vermelha); poluição das águas (cor lilás); poluição do ar (cor roxo) e trabalhos de produção e melhoria do meio-ambiente (cor preta).

Ainda ressalta que a carta temática ambiental deve vir acompanhada de um texto explicativo. Recomenda a manutenção da simbologia e das cores fundamentais. Na presença de novos fenômenos, acrescentar novas cores.

Monteiro (1987), idealiza uma Cartografia que desemboca no "Mapa da Qualidade Ambiental", produto final da análise geográfica integrada sob a égide do paradigma dos geossistemas.

Estabelece os seguintes princípios para organização do mapa:

1) a ordenação dos graus de derivação, desde os ecossistemas primitivos até os mais complexos;

2) a distinção entre padrões ambientais ligados ao natural e aqueles atrelados a ação antrópica;

3) registros de tipos de poluição e

4) a abordagem dos impactos.

Já Tricart (1977) propõe uma Cartografia Ambiental baseada na classificação dos ambientes tendo a ecodinâmica como ponto de partida da avaliação, resultando em três grandes tipos de meios morfodinâmicos em função da intensidade, frequência e interação dos processos evolutivos atuais. São eles: "meios estáveis", "meios intergrades" e "meios fortemente instáveis", possibilitando uma abordagem dialética da paisagem.

A partir dos conceitos de Unidades Ecodinâmicas, preconizados por Tricart, Ross propõe o estudo das fragilidades ambientais a partir da individualização de Unidades Ecodinâmicas Instáveis e de Unidades Ecodinâmicas Estáveis.

As Unidades Ecodinâmicas Instáveis foram definidas como aquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais e as Unidades Ecodinâmicas Estáveis àquelas que estão em equilíbrio dinâmico, poupadas da ação humana, encontrando-se, portanto, em estado natural.

Segundo Martinelli (1991), embora a Cartografia Ambiental ainda não tenha alcançado uma sistematização completa, é necessário estabelecer esforços para que se construa uma metodologia adequada ao tratamento das questões ambientais, visto que o estabelecimento de uma fundamentação metodológica para uma Cartografia adequada para estudos ambientais é indispensável.

Embora os mapas analíticos abordem todos os componentes ambientais de forma integrada segundo o autor é a Cartografia de Síntese que tem maior consonância à citada proposição, esta é a que mais se apresenta como método.

Para Martinelli (1991) um dos problemas desta forma de representação é a dificuldade do usuário de entender o que está sendo apresentado, por ser exaustivo.

Diante disso, o autor propõe que seja realizada a introdução de uma outra questão na coleção de mapas, além da questão: o que há? Seja inserida a questão: tal atributo onde está?

Por fim, conclui-se que os documentos cartográficos ambientais permitem, além de localizar com precisão fenômenos físicos, humanos e econômicos, estabelecer relações existentes entre eles, possibilita conduzir decisões de planejamento territorial.

3.2. Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental

A degradação do meio ambiente, o uso não sustentável dos recursos naturais e as mudanças climáticas têm sido algumas das preocupações recorrentes de vários cientistas no mundo inteiro. Os temas acima, de grande abrangência e complexidade, necessitam cada vez mais da adoção de metodologias de monitoramento sistemático e sinóptico. Destaca-se, assim, o sensoriamento remoto como uma importante ferramenta à análise e controle das questões ambientais.

O avanço tecnológico das últimas décadas favoreceu o desenvolvimento de vários satélites de monitoramento terrestre-ambiental, os quais possibilitam, em escala global, regional ou local, a coleta de dados (quantitativos e qualitativos) sobre o grau de degradação ao meio ambiente, incluindo o acompanhamento de biomas ameaçados de extinção, alterações climáticas, níveis de poluição da água e da atmosfera, dentre outras medições possíveis.

Com a inovação das tecnologias fez-se necessária a adaptação da Geografia aos procedimentos científicos vinculados às mesmas. Com o passar dos anos, a Geografia buscou novos recursos para tentar, de alguma forma, se modernizar e acompanhar os avanços da humanidade incorporando, assim, os avanços de outras ciências.

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

Alguns autores entendem que a importância e as vantagens do Sensoriamento Remoto vão desde o mapeamento, monitoramento de recursos naturais à proteção de ambientes decorrentes da exploração deteriorante.

Cabe aqui tecer breves comentários acerca da definição de Sensoriamento Remoto para uma melhor compreensão do sistema e sua aplicação.

Inicialmente vejamos o que o renomado professor Novo (1998, p.1) leciona acerca do Sensoriamento Remoto, que o define como sendo:

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

Em suma, segundo Moreira (2003), pode-se dizer que o sensoriamento remoto é uma tecnologia de obtenção de imagens e dados da superfície terrestre através da captação e registro da energia refletida/emitida pela superfície sem que haja contato físico entre o sensor e a superfície estudada, daí vem a expressão “remoto”.

Os sensores óptico-eletrônicos utilizados para a captura dessa energia funcionam como uma câmera fotográfica, responsável por captar e registrar a radiação (energia eletromagnética) emitida/refletida pelo objeto, como se houvessem sido tiradas fotos da superfície terrestre, só que um pouco mais sofisticadas.

Moreira (2003), afirma que a quantidade e a qualidade da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resultam das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos. Essas interações serão determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens dos sensores remotos.

Ainda, insta salientar que diferentemente das câmeras fotográficas convencionais que captam apenas o espectro de luz visível, os sensores utilizados no sensoriamento remoto costumam captar outras bandas, como o

infravermelho, que é muito importante para o estudo das vegetações, por exemplo.

Portanto, pode concluir que a energia eletromagnética refletida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo processo de sua identificação, uma vez que permite quantificar a energia refletida/emitida por estes, podendo-se avaliar suas principais características.

Após feita a captura da imagem, geralmente por satélites, estas serão analisadas, transformadas em mapas ou constituirão um banco de dados georreferenciados caracterizando o que chamamos de Geoprocessamento.

Logo, pode-se afirmar que os sensores remotos são ferramentas indispensáveis e essenciais para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais.

O Sensoriamento Remoto não auxilia apenas a Geografia, pois tem um papel importante em várias outras áreas, especialista Novo (1998), destaca como principais áreas de aplicação dos produtos de Sensoriamento Remoto:

a) **Arqueologia** - as técnicas de Sensoriamento Remoto funcionam tanto como ferramenta de busca e identificação de novos sítios, bem como são fontes de dados para o planejamento de sistema de amostragem, são utilizadas na descoberta de sítios arqueológicos; estudos e mapeamento dos mesmos.

b) **Avaliação dos Recursos Hídricos:** o Sensoriamento Remoto auxilia na determinação dos limites dos corpos d'água, no mapeamento de enchentes, na determinação do padrão de turbidez e da quantidade de sedimentos dispersos, na determinação da profundidade dos corpos d'água, na definição dos campos irrigados e no inventário dos lagos e açudes.

c) **Cartografia** - utiliza os dados de Sensoriamento Remoto visando a elaboração de mapas e cartas, tendo como principal objetivo a atualização dos produtos cartográficos obtidos através das metodologias convencionais.

d) **Florestas** - as aplicações em áreas de florestas estão relacionadas às atividades de levantamento e caracterização dos tipos de floresta presentes nos solos.

e) **Geografia** - as principais aplicações de Sensoriamento Remoto em Geografia concentram-se na utilização de informações para monitoramento do uso da terra e para monitoramento de processos geomorfológicos.

f) **Geologia** - o objetivo do Sensoriamento Remoto é a coleta de informações relevantes sobre todos os fenômenos terrestres e o estudo de suas propriedades registradas via aeronave ou satélite, são duas as atividades principais desenvolvidas pelo sensoriamento na geologia, uma voltada ao mapeamento geológico básico, e a outra voltada à pesquisa visando à extração de minérios.

g) **Geomorfologia ambiental** - Na geomorfologia ambiental o sensoriamento é essencial, uma vez que estuda e identifica os reflexos da atividade antrópica sobre a estabilidade dos sistemas de formas de relevo, sendo capaz de descrever com precisão toda a consequência da intervenção do homem no meio ambiente.

As imagens obtidas através do Sensoriamento Remoto proporcionam uma visão de conjunto de extensas áreas da superfície terrestre. Esta visão sinóptica do meio ambiente ou da paisagem possibilita estudos regionais e integrados, envolvendo vários campos do conhecimento.

Elas mostram os ambientes e suas transformações, destacam os impactos causados por fenômenos naturais, como as inundações e a erosão do solo, fenômenos estes que tem como causa direta as ações antrópicas, como os desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana, ou outras alterações do uso e da ocupação da terra (FLORENZANO, 2002).

O Sensoriamento pode ser inclusive aplicado no monitoramento do uso da terra, como na atualização dos registros cartográficos; no mapeamento de culturas utilizadas na agricultura moderna, determinando a área plantada, caracterização do solo, tipo de culturas; estudos florestais, fazendo o inventário florestal, prevenção de incêndios, locação de estradas, tipologias de estratos florestais; mapeamento geológico básico e pesquisa mineral.

Insta salientar que a integração das técnicas de Sensoriamento Remoto com as informações do Sistema de Informações Geográficas (SIGs) proporciona interpretações com qualidade e confiabilidade altamente fidedignas do objeto de estudo, na Geografia.

Dessa maneira, o recente e rápido desenvolvimento das tecnologias de Sensoriamento Remoto e de SIG contribuem para a evolução das próprias ciências da terra e ambientais, ao mesmo tempo em que facilitam a inter-relação entre elas.

Como ressalta Baker (1986 apud FLORENZANO, 2005), em qualquer ciência o surgimento de novas técnicas não é importante em si mesmo, mas sim por permitir novas descobertas que estimulam o progresso científico.

3.3. Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)

Geoprocessamento é uma área do conhecimento onde diversos tipos de informações geográficas são processadas por meio de técnicas matemáticas e computacionais. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta do geoprocessamento, através da qual são geradas informações por meio da análise e integração de dados geográficos.

Tais dados permitem a criação de diferentes mapas temáticos, onde vários tipos de informações podem ser sobrepostas e interpretadas. Assim é possível gerar novos mapas contendo informações complexas sobre a área em estudo, facilitando as decisões acerca de medidas a serem tomadas para sanar determinado problema por exemplo.

Aliados ao Sensoriamento Remoto e à Ciência Cartográfica os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), apresentam-se como ferramentas indispensáveis à produção de dados e informações geográficas, contribuindo de modo significativo em pesquisas que enfatizam a temática ambiental.

A aplicação da informática na Cartografia, segundo Câmara (2004) teve sua aplicação de modo mais acentuado a partir das décadas de 1960 e 1970, permitindo assim a criação de mapas utilizando recursos de animação, interatividade, hipertextualidade, multimídia e outros, estando estes, cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas.

Rocha (2000), define Sistemas de Informações Geográficas como sendo uma tecnologia transdisciplinar, que, através da integração da localização e do processamento de dados geográficos, une várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e agentes para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas e mapas digitais georreferenciados. A absorção da tecnologia de Informação pela Cartografia gerou profundos efeitos nessa ciência, modificando e ampliando a forma de elaboração e as funções dos mapas.

Ramos (2005) argumenta que para a sociedade contemporânea a elaboração de mapas caracteriza-se pelo "advento da informática e a introdução do seu uso no fazer cartográfico", que agrega à Cartografia potencial interativo, permitindo ao usuário interagir com os mapas, por meio do uso de SIGs, da multimídia e da Internet.

SIG - Sistema de Informações Geográficas é um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies.

Ainda, Rocha (2000) define o SIG como:

Um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos.

Os SIG's integram numa única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.

Ainda, oferecem mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados e gerar mapas.

Um SIG ainda auxilia na produção de mapas, no suporte para análise espacial de fenômenos e na formação de banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Dessa forma resta demonstrado que o uso de sistemas computadorizados capazes de gerenciar o banco de dados georreferenciados é de suma importância no que se refere à utilização do SIGs. Estes sistemas de informação estão cada vez mais modernos e aperfeiçoados, tornaram-se capazes de permitir a formulação de diagnósticos, avaliação de alternativas de ação e manejo ambiental.

Hodiernamente, a maioria das etapas de organização, geração, e fornecimento de informação está automatizada, provendo assim, a elaboração, análise e divulgação dos produtos cartográficos.

Este conjunto de dados, que gera um diagnóstico mais preciso acerca do objeto de estudo, auxilia a aplicação da Geografia na análise das relações dos homens entre si e destes com o ambiente.

Isso somente é possível porque os SIG's oferecem condições tecnológicas capazes de atender à crescente demanda por mapeamentos, que tem por objetivo a elaboração de diagnósticos, prognósticos, zoneamentos, entre outros, elementos estes essenciais no auxílio das ações de planejamento ambiental.

Nesse sentido, o Geoprocessamento apresenta-se como eficaz no auxílio do processamento de dados georreferenciados, implicando num processo de implantação de metodologias que visa um progresso na grafia ou representação da Terra.

É um conjunto de conceitos, métodos e técnicas erigido em torno do processamento eletrônico de dados que opera sobre registros de ocorrência georreferenciados, analisando suas características e relações geotopológicas para produzir informação geográfica, Rocha (2000, p. 30) coloca que as atividades desenvolvidas em Geoprocessamento são executadas por SIGs:

Eles são destinados ao processamento de dados georreferenciados desde a sua coleta até a geração de produtos como mapas, relatórios de arquivos digitais, oferecendo recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise dos dados.

Esse processo segundo Câmara et al (2004) utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, o que vem influenciando de maneira incisiva e crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia, planejamento urbano e regional.

Assim, geoprocessamento é uma área do conhecimento, onde diversos tipos de informações geográficas são processadas por meio de técnicas matemáticas e computacionais.

Rosa (1996) afirma que enquanto o Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite a obtenção e coleta de informações sobre diferentes

alvos ou fenômenos na superfície terrestre, sem contato físico com os mesmos, o geoprocessamento pode ser definido como a técnica que permite o processamento de diferentes informações geográficas, ou mesmo o conjunto de tecnologias voltadas ao tratamento de informações espaciais para um objetivo específico.

De acordo com Guerra (1999), dados existentes sobre uma determinada área em formato digital, como imagens de satélite, mapas geológicos, imagens geofísicas, mapas geoquímicos, pedológicos, geomorfológicos, fotografias e todo material que descreve o mundo real com um mínimo de interpretação, são considerados, individualmente, como mapas observacionais.

Esse conjunto de mapas observacionais ao serem manipulados na sua forma digital produzem produtos como: imagens de falsa cor, modelos de elevação digital, mapas de declividade e aspecto, ou seja, modelamentos numéricos através de processamento digital de imagens geram os chamados mapas analíticos.

Destaca-se o uso de operações de superposição, uma vez que, estas são extensivamente utilizadas em SIG, pois, os Planos de Informação (PIs) georreferenciados permitem que superposições sejam implementadas eficazmente, sem um número limitado.

As principais operações de superposição são: a) imposição ou máscara definida como a seleção de uma determinada área para ser observada e analisada em todos os PIs de um projeto definido; b) a colagem, que representa a imposição de regiões geográficas de um determinado mapa a outro, ou seja, as regiões são preservadas, os atributos mudam de codificação, porém as qualidades permanecem; c) a comparação, que permite identificar áreas com atributos análogos, sendo preservadas, desde que ocupem a mesma região geográfica; d) a associação, que corresponde à geração de áreas georreferenciadas controladas por determinados argumentos e, por fim, e) a sincronização que se refere à superposição de mapas, na qual cada interseção representa uma nova categoria (SILVA, 1999).

Segundo o INPE (1998), o objetivo de um SIG é promover uma ferramenta eficiente de planejamento para todas as aplicações que fazem uso de mapas. Todas as atividades que envolvem a coleta de dados sobre a

distribuição espacial desses sobre a superfície terrestre podem se beneficiar de sistemas dessa natureza.

As aplicações desses sistemas são inúmeras. Como exemplo, baseado em Rocha (2000) citam-se:

- monitoramento de florestas;
- monitoramento e controle de pragas e doenças nas áreas rurais;
- simulação de plantios e colheitas;
- gestão de redes de distribuição de energia elétrica e de água e coleta de esgoto;
- administração, caracterização e localização de recursos naturais;
- monitoramento das bacias hidrográficas;
- avaliação de aptidão agrícola,
- planejamento do transporte;
- mapeamento dos solos e
- planejamento da expansão urbana.

Os SIGs podem ser extensivamente usados em pesquisas abrangendo um amplo leque de aplicações, que incluem análise de recursos ambientais, planejamento de uso do solo, análise locacional, avaliação de impostos, planejamento de infra-estrutura, análise de bens imóveis, marketing e análise demográfica, análise arqueológica, etc.

Cabe aqui apresentar uma relação das diversas áreas de aplicação prática do SIG, divididas em cinco grupos principais, segundo Ramirez (1994):

a) **Atividades Econômicas** - planejamento de marketing; pesquisas socioeconômicas; distribuição de produtos e serviços; transporte de matéria-prima.

b) **Meio Ambiente** - controle de queimadas; estudos de modificações climáticas; acompanhamento de emissão e ação de poluentes; gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento.

c) **Ocupação Humana** - redes de infra-estrutura; planejamento e supervisão de limpeza urbana; cadastramento territorial urbano; mapeamento eleitoral; rede hospitalar; rede de ensino; controle epidemiológico; roteamento de veículos;

sistema de informações turísticas; controle de tráfego aéreo; sistemas de cartografia náutica; serviços de atendimentos emergenciais.

d) **Uso da Terra** - planejamento agropecuário; estocagem e escoamento da produção agrícola; classificação de solos; gerenciamento de bacias hidrográficas; planejamento de barragens; cadastramento de propriedades rurais; levantamento topográfico e planimétrico; mapeamento do uso da terra.

e) **Uso de Recursos Naturais** - controle do extrativismo vegetal e mineral; classificação de poços petrolíferos; planejamento de gasodutos e oleodutos; distribuição de energia elétrica; identificação de mananciais; gerenciamento costeiro e marítimo.

Insta salientar que a utilização dos SIGs não é capaz de garantir que com absoluta certeza e segurança que o produto final corresponda às alternativas de soluções perfeitas.

A precisão tão almejada gera a necessidade de se manter um rígido controle de qualidade do banco de dados e dos dados em si que serão analisados, pois, caso haja imprecisão nessa base, o resultado final não será um mapa capaz de ser utilizado, uma vez que se resumirá a um mapa sem significado, impróprio para uso (GUERRA, 1999).

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

3.4. Fragilidade ambiental

3.4.1. Metodologias e aplicações de estudos de fragilidade ambiental

A fragilidade dos ambientes naturais, diante as intervenções humanas, é maior ou menor, devido às características genéticas. A princípio, os ambientes

se mostravam em estado de equilíbrio dinâmico, até o momento em que as sociedades passaram a interferir cada vez mais, de forma intensa na exploração de recursos minerais (ROSS, 1994). Desde a aparição do homem, ele participa do ecossistema em que vive, modificando-o. Por sua vez, os ecossistemas reagem, determinando adaptações ao homem. No momento atual, não há ecossistemas que não sejam modificados (TRICART, 1977). As alterações nos diferentes componentes da natureza levam ao comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o equilíbrio dinâmico (SPÖRL E ROSS, 2004)

“Os modelos para a análise da funcionalidade dos sistemas procuram focalizar só fluxos de matéria e energia, as características dos processos atuantes e os mecanismos de retroalimentação, assim como a interação entre a morfologia e a dinâmica dos sistemas a fim de salientar os entrosamentos entre forma – processos” (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 77). O tratamento de diferentes variáveis de forma integrada, como relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos, possibilita a obtenção de um diagnóstico da fragilidade dos ambientes naturais (SPÖRL E ROSS, 2004).

As fragilidades dos ambientes naturais devem ser avaliadas, quando se pretende aplicá-la ao planejamento territorial ambiental, baseado no conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977), analisando o meio ambiente sob o prisma da Teoria dos Sistemas. Desta forma, deve-se partir da ideia de que as trocas de energia e matéria se processam por relações de equilíbrio dinâmico. O ser humano, por sua vez, a partir de suas intervenções, pode levar à alteração deste equilíbrio, de forma temporária ou permanente (ROSS, 1994).

Os ambientes podem ser distinguidos em três grandes tipos de meios morfodinâmicos: meios estáveis, meios intergrades e meios fortemente estáveis. Nos meios estáveis, o modelado evolui lentamente, havendo equilíbrio entre pedogênese e morfogênese, muitas vezes de maneira imperceptível. O termo intergrades, no vocabulário dos geólogos, significa transição, onde, sob um espaço, há a interferência constante de pedogênese e morfogênese. Por fim, os meios fortemente instáveis são aqueles em que a morfogênese é o elemento predominante na dinâmica natural, ou seja, onde há um desequilíbrio dinâmico (TRICART, 1977).

Na elaboração de trabalhos voltados à geomorfologia aplicada, recorreu-

se à metodologia de Tricart (1977). Contudo, há certa dificuldade de se produzirem representações em cores, sobrecarga de informações das cartas morfo e ecodinâmicas e problemas com a escala de trabalho. Isto levou que se fizessem adaptações e modificações significativas na metodologia e representação cartográfica (ROSS, 2012).

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

Primeiramente, cruzam-se os dados relativos ao relevo e aos solos (Tabela 1), obtendo-se um produto intermediário – fragilidade potencial, através de uma média dos valores. Deve-se ressaltar que, para a caracterização do relevo, ao trabalhar com escalas médias e pequenas, devem-se utilizar os índices de dissecação do relevo, e em escalas grandes, as classes de declividade ou forma das vertentes. O grau de fragilidade de cada classe varia entre 1 e 5, o que significa que, quanto mais próximo de 1, menos frágil e, próximo de 5, maior a fragilidade (ROSS, 1994).

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

Por sua vez, Crepani *et al.* (1992) adaptaram o conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), para a geração de uma metodologia voltada à vulnerabilidade natural e erosão. O método foi aplicado no zoneamento ecológico-econômico da Amazônia Legal. Baseou-se na relação pedogênese/morfogênese e potencialidade das imagens TM/Landsat, as quais permitem uma visão sinótica

e holística da paisagem.

Neste método, as Unidades Territoriais Básicas são trabalhadas em diferentes categorias. em duas categorias. A primeira delas, unidades de paisagem natural, devem ser traçadas em imagens de satélite, através de elementos interpretativos, como textura, relevo, drenagem, matrizes de cores e conhecimento referentes aos aspectos naturais, como Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Cobertura Vegetal e Climatologia. Em seguida, devem-se definir os polígonos de ação antrópica, os quais mostram a atuação do homem alterando o espaço (CREPANI *et a.l.*, 1992).

Deve-se trabalhar um cruzamento, a partir da média aritmética, de informações de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Cobertura vegetal e Climatologia. São atribuídos valores próximos de 1 em áreas estáveis, onde predominam os processos pedogenéticos; próximos de 2 em situações intermediárias; próximos de 3, em áreas vulneráveis, em que há um predomínio da ocorrência de processos morfogenéticos. Obtém-se, após este cruzamento, um produto final, com escala de vulnerabilidade de 21 classes de vulnerabilidade à perda do solo (CREPANI *et a.l.*, 1992).

“Estudos relativos às fragilidades dos ambientes são de extrema importância ao Planejamento Ambiental. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território” (SPÖRL E ROSS, 2004). Devido à importância dos métodos para a análise de fragilidade ambiental, Spörls e Ross (2004) avaliaram três modelos metodológicos relativos a este tema. Para isto, escolheu-se uma área localizada na divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, nos municípios de São João da Boa Vista (SP), Águas da Prata (SP) e Poços de Caldas (MG).

Aplicou-se, primeiramente, o modelo utilizado foi o de Ross (1994), apoiando-se nos índices de dissecação do relevo. Foram combinados ao Índice de Dissecação do Relevo, informações de Solos, Pluviosidade e Cobertura Vegetal para que se hierarquizassem os graus de fragilidade natural. Obtiveram-se os graus de fragilidade fraca, média, forte e muito forte, havendo o predomínio de média fragilidade. O mesmo modelo de Ross (1994), foi

aplicado, mas com a utilização de classes de declividades. Foram obtidos graus de fragilidade muito fraca, fraca, média, forte e muito forte, sendo que a classe muito forte foi predominante. Trabalhou-se, ainda, o modelo desenvolvido por Crepaniet *al.* (1992), onde foram cruzadas informações referentes a Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima, obtendo-se os graus baixa, média e forte e predomínio de fragilidade média (SPÖRL E ROSS, 2004).

Os autores citados não apontaram qual o melhor modelo, visto que não se estabeleceram comparações, considerando a realidade em campo. Contudo, observaram-se deficiências. A maior delas, seria o peso dado a cada variável, visto que esta avaliação é geralmente arbitrária e subjetiva. “A grande contribuição dos modelos de fragilidade ambiental é proporcionar uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável, evitando problemas de ocupação desordenada” (SPÖRL E ROSS, 2004).

Cabral *et al.* (2011) aplicaram a metodologia de Ross (1994) para avaliar a fragilidade ambiental da área da bacia hidrográfica do rio Doce-GO, inserida na Região Centro-Oeste brasileira. Para atingir o objetivo, correlacionaram-se informações do meio físico, como clima, relevo, litologia, solos, uso da terra, cobertura vegetal. Dados de classes de solos, altimetria e pluviosidade média, foram utilizados na geração de mapas de solos, declividade e erosividade, os quais foram cruzados para a geração do mapa de Fragilidade Potencial. Combinando-o ao mapa de uso da terra, produzido através da interpretação da imagem Landsat 5 / TM, elaborou-se o mapa de Fragilidade Emergente.

O mapa de fragilidade ambiental mostra que há a predominância de médio grau, relacionado a aproximadamente 65% da área. As áreas de alta fragilidade ocorreram em pontos isolados, em apenas 0,01% do total. A classe baixa representa 34,04% e, ressaltaram-se que são áreas atualmente bastante degradada, devido à utilização na pecuária extensiva “O modelo proposto por Ross (1994), baseado em classes de declive, proporcionou resultados favoráveis para a compreensão do grau de influência dos componentes naturais – relevo, solo, vegetação, uso da terra e clima” (CABRAL *et al.*, 2011).

Cruz *et al.* (2010) buscaram analisar fatores ambientais que se inter-relacionam em uma bacia hidrográfica, a fim de alcançar informações a

respeito da qualidade ambiental do local. Utilizou, como área de estudo, a bacia de drenagem do Córrego Glória, na Fazenda Experimental do Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia. Geraram mapas contendo diferentes informações espaciais, tais como uso do solo, utilizando-se a base aerofotogramétrica do ano de 2002; declividades, através da extração automática em SIG de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*); mapa de solos, obtido por meio da coleta, análise e classificação dos solos.

Observou-se que, as áreas de fragilidade alta e muita alta, apresentam qualidade ambiental baixa e merecem atenção e manejo, para se evitar que haja degradação. Nelas, são observadas áreas urbanas e solo exposto. As áreas de baixa fragilidade, são visualizadas com boa qualidade ambiental, sendo que parte delas manteve sua vegetação natural, mas há algumas áreas de média qualidade, devido ao uso de atividades agrícolas em locais declivosos, sendo estes os locais preferenciais ao plantio. Este diagnóstico ambiental se mostrou eficaz em apontar áreas potencialmente frágeis do ponto de vista ambiental (CRUZ *et. al.*, 2010).

Kawakubo *et al.* (2005) mapearam a fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento, como Modelagem Numérica do Terreno (MNT), Sensoriamento Remoto (SR) e álgebra de campo. O estudo foi aplicado bacia hidrográfica do córrego do Onofre, principal afluente do rio Atibaia no município. Utilizaram-se imagens Landsat 7 ETM+ para mapear o uso da terra e cobertura vegetal, MNT para declividades e classes de solos mapeadas em outros estudos.

Gerou-se o mapa de fragilidade a partir ferramentas da tabela de dupla entrada ou tabela bidimensional, fazendo combinações forma pareada (linha x coluna). Percebeu-se que as mais baixas fragilidades estão associadas ao núcleo urbano consolidado de Itatiba e locais de Latossolo Vermelho-Amarelo. Observou-se que há uma predominância fragilidade muito forte e forte, o que ocorre pelo predomínio de altas declividades e solos rasos e pouco desenvolvidos (KAWAKUBO *et. al.*, 2005).

De acordo com Gonçalves *et. al.* (2011), a bacia hidrográfica, como uma unidade de manejo ambiental, apresenta especificidades, como relevo, tipo de solo e geologia, formando juntas a vulnerabilidade natural. O homem, por sua vez, introduz fatores não naturais, dos quais é possível avaliar o nível de

degradação. Por este motivo, a fragilidade ambiental é uma ferramenta de grande importância no planejamento ambiental estratégico. Neste sentido, os autores propuseram adaptações à metodologia de Ross (1994), com novos procedimentos de determinação, tendo como área de estudo a bacia do rio Dourados, sul do estado de Mato Grosso do Sul.

No trabalho em questão, além de utilizarem declividade e cobertura vegetal, fatores aplicados na metodologia de Ross (1994), adicionaram-se neste trabalho os fatores erodibilidade dos solos, erosividade das chuvas e Geologia, objetivando-se obter uma maior diferenciação quanto aos diferentes níveis de fragilidade do ambiente. Além disso, atribuíram-se graus de fragilidade às variáveis, que variam entre 0 e 10, o que aumentam os intervalos possíveis (GONÇALVES *et al.*, 2011).

Gerou-se então, por meio de média aritmética, o mapa de fragilidade potencial em cinco classes, em que considerando apenas as características naturais, obtiveram-se 31,1% com médio e 67,7% com baixo graus de fragilidade. Em seguida, cruzou-se este mapa ao de uso do solo, obtendo-se a fragilidade emergente, em que 20,1% se relaciona a grau muito baixo, 70,1% baixo e 9,2% médio. “A integração dos fatores de análise declividade, erodibilidade dos solos, erosividade das chuvas e geologia à metodologia proposta por Ross (1994) promoveu diferenciação significativa na elaboração do mapa final de fragilidade potencial” (GONÇALVES *et al.*, 2011).

Oliveira *et al.* (2012) avaliaram a fragilidade ambiental da bacia do córrego São João, Mato Grosso do Sul, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, aplicando o método de Ross (1994). Para a produção da carta de uso da terra, interpretaram-se produtos Landsat 7 ETM+; a declividade foi extraída através de SIG do SRTM e as classes de solos foram compiladas de trabalhos preexistentes. Por comandos de análise espacial em SIG, fizeram-se as álgebras de mapas, gerando produtos de fragilidade potencial e emergente. Além disso, a partir da altimetria, pôde-se calcular também a fragilidade à inundação.

Constatou-se que a bacia estudada, apresenta a predominância de médio grau de fragilidade, sendo necessário que se haja um controle do uso nestes locais, impedindo que este grau aumente pelo uso indevido das áreas de pastagem. O grau fraco se destaca em locais em que se predomina

vegetação natural, mesmo que hajam altas declividades. Os locais de fragilidade forte estão associados ao desenvolvimento de cultivos agrícolas, especialmente em locais de relevo íngreme. Já os graus muito fortes se relacionam às planícies de inundação, devido ao tipo de solo e, estes locais, são também considerados de alto risco à ocorrência de inundações (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Messias *et al.* (2012) destacam que a ação antrópica tem utilizado o meio natural como um sistema que garante a sua sobrevivência, mas como recurso financeiro. Uma das alterações mais significativas na paisagem é a construção de hidrelétricas, que atuam como modificadores da paisagem. Por este motivo, os autores mapearam a fragilidade ambiental na área de influência da Hidrelétrica do Funil – MG, utilizando a metodologia de Ross (1994). Utilizando dados morfométricos, calculados em cartas topográficas, produziu-se o mapa de dissecação do relevo; pela relação solo/paisagem estudada por outros autores, correlação com dados SRTM e trabalhos de campo, gerou-se o mapa de solos; a aplicação da técnica de estereoscopia, sobre imagens ALOS/PRISM, foi possível mapear o uso do solo em escala de detalhe.

O mapa de fragilidade potencial apresenta grandes áreas médio grau, nas quais é possível o desenvolvimento de atividades antrópicas, desde que estas sejam acompanhadas de profissionais especializados e respeitando as áreas de preservação permanente – APP. Em seguida, tem-se as fragilidades fortes, nas quais o mau uso pode levar à evolução de processos erosivos. Por sua vez, o mapa de fragilidade emergente também mostra grande parte da área de estudo com médio e forte graus, o que se relaciona ao predomínio de pastagens, utilizadas para a criação do gado, áreas declivosas e solos pouco desenvolvidos, intensificando processos erosivos (MESSIAS *et al.*, 2012).

“A carta de fragilidade ambiental ou potencial erosivo consiste em um fundamental instrumento ao planejamento físico-territorial, para fins de destacar importantes e frágeis ecossistemas regionais, como também na identificação de áreas que necessitem de uma intervenção para se mitigar ocorrentes problemas ambientais” (SOARES FILHO *et al.*, 1998, p. 45). É importante destacar que estes estudos levam em conta os dados obtidos em um período específico. Desta forma, devido às alterações constantes de uso do solo em alguns locais do espaço, devem ser realizados novos levantamentos da

fragilidade ambiental periodicamente (CRUZ *et. al.*, 2010).

Para auxiliar esta análise, é possível que se utilizem técnicas de Geoprocessamento, como *Modelagem Numérica do Terreno (MNT)* e *Álgebras de Mapas*. Os resultados de trabalhos provam a eficácia dos *Sistemas e Informação Geográfica (SIGs)* para a análise de fragilidade ambiental (KAWAKUBO *et. al.*, 2005). Contudo, o uso das geotecnologias não eliminam a necessidade de profissionais qualificados, mas simplificam a manipulação dos dados, reduzem tempo e possibilitam rápida atualização dos dados (DONHA *et. al.*, 2006).

3.4.2. Evolução de processos erosivos e movimentos de massa

As alterações no meio natural, pelas intervenções antrópicas no meio físicos, tem intensificado a ocorrência de eventos naturais: processos erosivos, movimentos de massa, erosão costeira, enchentes e inundações. A expansão das paisagens culturais acaba por promover a aceleração dos processos superficiais e o aumento da suscetibilidade a riscos, em prejuízos ou diretamente às pessoas afetadas (GIRÃO, 2013).

A luta humana contra a erosão do solo é tão antiga como a agricultura. Ao passar de ser nômade, para se fixar em certos locais, o homem passou a intensificar o uso do solo, destruindo a vegetação da superfície e expondo o solo. Percebeu-se então que, quando se removia a cobertura vegetal pelo cultivo ou intensificação da pecuária, a erosão se tornava mais ativa. Observou-se também, que a cobertura vegetal retarda o escoamento superficial nas vertentes (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010).

“A erosão pela água é um dos fenômenos mais comuns. Provoca o nivelamento das montanhas e a formação das planícies, planaltos, vales, várzeas e deltas (BRADY, 1989, p. 616). “O processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os índices totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta” (GUERRA, 1999). “A erosão é agravada pela concentração das chuvas num determinado período do ano que, normalmente na região sudeste do Brasil, corresponde à primavera e

ao verão (SANTORO, 2012).

O processo erosivo tem início ao chover e evolui-se quando a água infiltra no solo e torna-o saturado (GUERRA, 1999). O impacto das gotas exercem influência sobre três importantes aspectos: fracionam o solo, tendem a destruir a granulação e seus salpicos transportam quantidade apreciável de solo (BRADY, 1989). Formam-se então poças e segue ao escoamento superficial. O escoamento inicia-se de forma difusa, levando à erosão em lençol, e em seguida à formação de fluxo linear, em canais, O terceiro estágio da erosão é o desenvolvimento de microrravinas, as quais evoluem em microrravinas com cabeceiras (GUERRA, 1999). A passagem gradual de erosão laminar, para linear, em sulcos e ravinas, pode evoluir em níveis, que levam à formação de voçorocas (DAEE, 1989).

A evolução de processos erosivos e movimentos de massa nas encostas são controladas por fatores que determinam as variações nas taxas de erosão. Os fatores podem ser subdivididos em erosividade (causada pela chuva), erodibilidade (tendo como causa as propriedades do solo), características das encostas e cobertura vegetal (GUERRA, 2012). A extensão de uma erosão e, conseqüentemente, a quantidade de sedimentos produzidos, dependem destes fatores (FENDRICH *et. al.*, 1984).

O primeiro fator a ser discutido é a erosividade da chuva, sendo ela um dos fatores climáticos mais importantes na erosão. Médias mensais e anuais são pouco significativas com relação à erosão, visto que em duas áreas distintas, pode-se chover a mesma quantidade, mas em intensidades diferentes. “No que se refere à erosão dos solos, a unidade deve ser a chuva, definida como a quantidade que cai em forma contínua em um período mais ou menos longo, individualizada através de suas características de intensidade, duração e frequência” (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010, p. 46). As águas desempenham o papel principal de deslocamento do solo, desde o salpicamento, até a erosão linear (BRADY, 1989). O número de chuvas é inversamente proporcional à perda de solo média por dia. Por outro lado, a perda de solos é diretamente proporcional à intensidade (MORGAN, 1986).

“A cobertura vegetal das bacias hidrográficas sofre várias modificações quer sejam naturais ou artificiais, e estas modificações produzem os mais variados impactos no meio ambiente. O escoamento superficial é um dos

primeiros fatores a serem alterados quando a cobertura vegetal da bacia é modificada e, conseqüentemente, a produção de sedimentos” (SANTOS, 2000, p. 93). Desta forma, a cobertura vegetal propicia certa proteção aos solos, o que pode ocorrer devido à redução do impacto direto das gotas no solo ou redução do escoamento superficial, diminuindo o poder de remoção e transporte de partículas (DAEE, 1989). Além disso, a cobertura vegetal atua de forma direta na produção de matéria orgânica, que, por sua vez, atua na agregação de partículas constituintes do solo e as raízes, ramificando-se nos solos, ajudam na formação de agregados (GUERRA, 2012). O ser humano está totalmente atrelado a este fator, devido à alterações realizadas na vegetação natural. Algumas das agressões causadas pelo homem, que levam à alteração da proteção do solo pela cobertura vegetal são: a) derrubada de matas, queimadas e capinas; b) agricultura praticada irracionalmente; c) formação de pastos com alta densidade de animais e pisoteio excessivo em determinadas direções; d) abertura de valetas, com a finalidade de separar áreas; e) abertura de estradas, sem o devido cuidado; f) criação de loteamentos (FENDRICH *et. al.*, 1984). Florestas e matas naturais apresentam alto grau de proteção ao solo. Os cultivos oferecem diferentes graus, sendo médio ou baixo graus, o que varia de acordo com o ciclo do cultivo, densidade e manejo. As pastagens dependem da forma de utilização, sendo que com baixo pisoteio do gado, oferecem maior proteção. Por fim, Áreas desmatadas, queimadas, solo arado, terraplanagens culturas sem práticas conservacionistas, oferecem grau de proteção ao solo muito baixo (ROSS, 1994).

“Os fatores relativos às encostas podem afetar a erodibilidade dos solos de diferentes maneiras: por meio da declividade, do comprimento e da forma da encosta” (GUERRA, 2012, p. 163). Maiores velocidades de erosão podem ser esperadas em relevos acidentados, como morros, do que relevos suaves, como colinas amplas. Isto ocorre pois, os declives acentuados, propiciam maior velocidade de fluxo no escoamento superficial, o que aumenta o potencial erosivo (DAEE, 1989). É importante também, além da declividade, analisar o tamanho do trecho em que o escoamento é percorrido, ou seja, comprimento da encosta (DAEE, 1989). Quanto maior o comprimento da rampa, maior o volume acumulado de enxurrada e maior energia de erosão (BERTONI E

LOMBARDI NETO, 2010, p. 46). Entretanto, no caso dos processos erosivos, devido ao decréscimo de material disponível em locais muito íngremes, o potencial erosivo diminui nestas áreas (MORGAN, 1986).

“As variáveis físicas do solo, principalmente textura, estrutura, permeabilidade, profundidade e densidade, e as características químicas, biológicas e mineralógicas, exercem diferentes influências na erosão, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas” (SANTORO, 2012, p. 59). A erodibilidade do solo indica a capacidade de erosão, sendo duas características importantes para isto, a capacidade de infiltração e estabilidade estrutural. A capacidade de infiltração é bastante influenciada pela estabilidade estrutural, textura, conteúdo orgânico, profundidade e presença de camadas impermeáveis. A estabilidade dos agregados do solo exerce influência sobre a erosão, devido à resistência do grânulos, mesmo que haja escoamento (BRADY, 1989). Solos como Latossolos, podem ter graus de fragilidade que variam de baixo, no caso dos Roxos ou Vermelho-escuro, a médio, nos Vermelho-amarelo. Os solos mais frágeis tratam de Argissolos Cascalhentos, NeossolosLitólicos e NeossolosQuartzênicos (ROSS, 1994).

A erosão é vista como um fenômeno natural, que pode ocorrer em todas as paisagens que possuam declividades geralmente superiores a 3° (JORGE E GUERRA, 2012). É um processo que constitui na desagregação, transporte e deposição do solo e rocha em decomposição, pelas águas, ventos e geleiras. Os processos erosivos são diferenciados de acordo com o agente erosivo (vento, água, gelo, gravidade etc), origem (ravinas, sulcos, laminar) e natureza (geológica ou acelerada) (FENDRICH *et al.*, 1984). A erosão é considerada normal, quando diversos processos atuam de forma contraditória, formando e erodindo os solos. Entretanto, quando esse equilíbrio é rompido, há uma intensificação do processo, recebendo o nome de erosão acelerada (DAEE, 1989).

Com relação aos processos erosivos decorrentes da ação das águas, dois devem ser destacados: erosão laminar e erosão linear. A erosão laminar (Figura 1) ocorre pelo escoamento uniforme da água pela superfície, transportando partículas, sem formar canais bem definidos. É responsável por grandes prejuízos à agricultura, visto que transporta grande quantidade de sedimentos, os quais assoreiam rios, lagos e represas (SANTORO, 2012). A

erosão laminar após o *splash*, que ocorre devido ao impacto da chuva na superfície, removendo partículas. Também chamada de erosão em lençol, quanto maior turbulência, maior a capacidade erosiva gerada pelo fluxo (GUERRA, 2012).



Figura 1: exemplo de uma área com ocorrência de erosão laminar. Fonte: Embrapa Sistemas de Produção (2014)

A erosão linear ocorre após surgirem incisões no solo, após a erosão laminar, quando o fluxo de água começa a se concentrar, podendo dar início a ravinas. “À medida em que o fluxo se concentra em canais bem pequenos, em pontos aleatórios da encosta, a profundidade do fluxo aumenta e a velocidade diminui, devido ao aumento da rugosidade e há uma queda simultânea da energia de fluxo [...] (GUERRA, 1999).

Pequenas escavações que, embora insignificantes a princípio, podem então se ampliar em ravinas (Figura 2). Estas consomem rapidamente a parte superior do solo, aumentando as erosões laminar e em sulcos (BRADY, 1989). As ravinas ocorrem em locais desprovidos de vegetação na superfície, terras utilizadas para a agricultura e onde há o pisoteio de gado, em locais íngremes ou não (BIGARELLA, 2003). As ravinas são, muitas das vezes, características efêmeras das encostas, algumas formadas após eventos chuvosos. Iniciam-se a uma distância crítica das encostas, quando o escoamento superficial se torna canalizado. O desmatamento e uso agrícola podem acelerar a evolução das ravinas, especialmente em períodos de concentração de chuvas (GUERRA, 2012).



Figura 2: exemplo de uma área com ocorrência de ravinas. Fonte: Alunos online (2014)

As voçorocas (Figura 3) são estágios avançados da erosão em córregos, sendo que sua ocorrência se deve à ação do homem no meio ambiente (FENDRICH *et. al.*, 1984). Com relação aos conceitos mais difundidos na comunidade acadêmica nacional, as ravinas são consideradas incisões menores que 50 centímetros, enquanto as voçorocas, incisões de largura e profundidade maiores que 50 centímetros (OLIVEIRA, 1999) Neste processo, são observados quatro diferentes estágios: a) erosão do canal onde há o escoamento; b) aumento da profundidade e largura, carreando grande parte do material; c) declínio do aumento da voçoroca, com o crescimento de vegetação; d) estabilização. O desenvolvimento da voçoroca depende de vários fatores, sendo alguns deles: erosão na cabeceira, erosão do canal, perda da coesividade do solo no contorno e queda das paredes laterais. As voçorocas rurais se desenvolvem em locais de pastagens e culturas, utilizadas de forma inadequada. Em áreas urbanas, ocorrem com a instalação de casas em locais inapropriados, onde o solo apresenta baixa resistência à erosão (FENDRICH *et. al.*, 1984). Desta forma, é necessário que se avalie a influência da ação antrópica na ocorrência de voçorocas, não só por mapas atuais de uso do solo, mas também mapas históricos (DAEE, 1989). As voçorocas são importantes fontes de sedimentos para os cursos d'água, mas, com relação às terras agricultáveis não geram tanto prejuízo, pois as áreas de grande ocorrência não são propícias ao uso agrícola (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010, p. 46).



Figura 3: exemplo de uma área com ocorrência de voçoroca. Fonte: Dicionário ilustrado Tupi-Guarani (2014)

Por outro lado, evoluem-se também nas vertentes os movimento de massa, os quais tratam do “deslocamento de grande volume de material (solo e rocha) vertente abaixo sob influência da gravidade, sendo desencadeado pela interferência direta de outros meios ou agentes independentes, como água, gelo ou ar” (BIGARELLA, 2003). “Estes processos estão presentes nas regiões montanhosas e serranas de várias partes do mundo, principalmente naquelas onde predominam climas úmidos. No Brasil, são mais frequentes nas regiões sul, sudeste e nordeste (TOMINAGA, 2012).

Considerado um movimento de massa rápido, os escorregamentos chamam bastante atenção no território brasileiro, especialmente na região sudeste e na Serra do Mar. Estes podem ser definidos como “ [...] movimentos rápidos, de porções do terreno (solos, rochas) com volumes definidos, deslocando-se sob a ação da gravidade, para baixo e para fora do talude ou vertente (TOMINAGA, 2009, p. 28). A topografia é um dos principais influenciadores na geração de escorregamentos, tanto através da declividade, quanto no controle da dinâmica hidrológica superficial e subsuperficial (GUIMARÃES *et. al.*, 2009). Os escorregamentos são causados por desequilíbrio entre a gravidade e a resistência do solo, tendo como são causas externas as escavações ou cortes no sopé e a deteriorização progressiva da resistência do solo (BIGARELLA, 2007). Estes movimentos de massa podem ser divididos com base na forma do plano de ruptura, subdividindo-se em translacionais e rotacionais, ou no tipo de material em movimento, que pode ser constituído por solo, rocha e misturas.

Os escorregamentos rotacionais (Figura 4) apresentam uma superfície de

ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá um movimento rotacional da massa do solo. Ocorrem geralmente em solos espessos e homogêneos, iniciando-se, muitas vezes, em cortes na base, feitos para a implantação de estradas ou por erosão fluvial (FERNANDES E AMARAL, 1996).

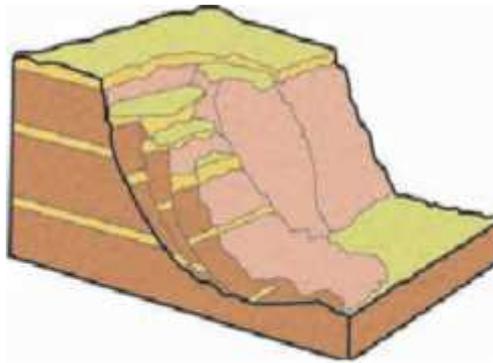


Figura 4: ilustração de escorregamento rotacional. Fonte: Tominaga (2009)

Por sua vez, os escorregamentos translacionais (Figura 5) [...] “formam superfícies de ruptura planar associada às heterogeneidades dos solos e rochas, que apresentam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos e pedológicos (TOMINAGA, 2009, p. 28). Ocorrem, na maioria das vezes, em período de intensa precipitação (FERNANDES E AMARAL, 1996).

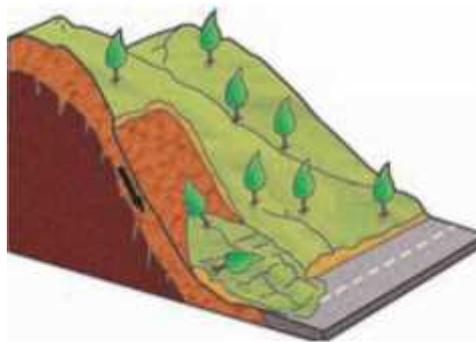


Figura 5: ilustração de escorregamento translacional. Fonte: Tominaga (2009)

Os rastejos e escorregamentos se diferenciam conforme o mecanismo de deformação (BIGARELLA, 2007). “Rastejos são movimentos de massa lentos e contínuos de material de encostas com limites indefinidos. Envolvem, muitas vezes, grandes volumes de solos, sem que apresente uma diferenciação visível entre o material em movimento e o estacionário (TOMINAGA, 2012).



Figura 6: ilustração do movimento de rastejo. Fonte: Editora do Brasil (2014)

As quedas de blocos são movimentos gravitacionais de massa, muito comuns na Serra do Mar. Ocorrem pelo deslocamento de blocos ou lascas dos maciços rochosos que caem de penhascos ou taludes íngremes, pela ação da gravidade (TOMINAGA, 2009). Estes movimentos são favorecidos pelas descontinuidades nas rochas, como fraturas e bandamentos deposicionais e pelo avanço dos processos de intemperismo físico ou químico (FERNANDES E AMARAL, 1996).

Tendo em vista a inegável importância dos processos erosivos e dos escorregamentos, a avaliação das possibilidades ou riscos para ocorrência desses fenômenos é decisiva na gestão de terras agrícolas, nas obras de construção civil, no planejamento urbano e em empreendimentos que causam profunda alteração no meio (MARTINI *et. al.*, 2006). A utilização de produtos de sensoriamento remoto, como imagens de satélite, radar e fotografias aéreas, aliadas a técnicas de análise espacial e procedimentos operacionais em SIG, permitem avanços nos estudos de processos erosivos e movimentos de massa (LOUREIRO E FERREIRA, 2013). As fotografias aéreas são registros detalhados da superfície terrestre, aumentando a eficiência do levantamento geomorfológico (VERSTAPPEN E ZUIDAM, 1975).

Os estudos de feições erosivas e dos movimentos de massa tem, como finalidade, proteger o meio ambiente de diversos danos e assegurar à sociedade como um todo, condições adequadas de moradia, atividades econômicas e lazer, reduzindo os problemas os quais os fenômenos naturais podem causar (LOUREIRO E FERREIRA, 2013).

4. ÁREA DE ESTUDO

Localização

Campos Gerais está localizada entre as coordenadas 21°14'06" de latitude S e 45°45'31" de longitude W, na mesorregião sul/sudoeste de Minas Gerais e na micro região de Varginha. Tem como limites municipais as cidades de Alfenas, Campo do Meio, Boa Esperança, Fama, Paraguaçu, Santana da Vargem e Três pontas, e está inserida nas cidades do circuito dos lagos (localizadas ao entorno do lago de furnas).

Sua principal atividade econômica é a agricultura, onde destaca-se a produção de café. Segundo dados do IBGE, Campos Gerais é a terceira maior produtora de café do sul de Minas Gerais. Na agricultura também pode se destacar a pecuária, porém em menor quantidade. A distância de Campos Gerais a capital mineira é de 331 km, da cidade de São Paulo e Rio de Janeiro 450 km e 520 km respectivamente, e de Brasília dista 1015 km.

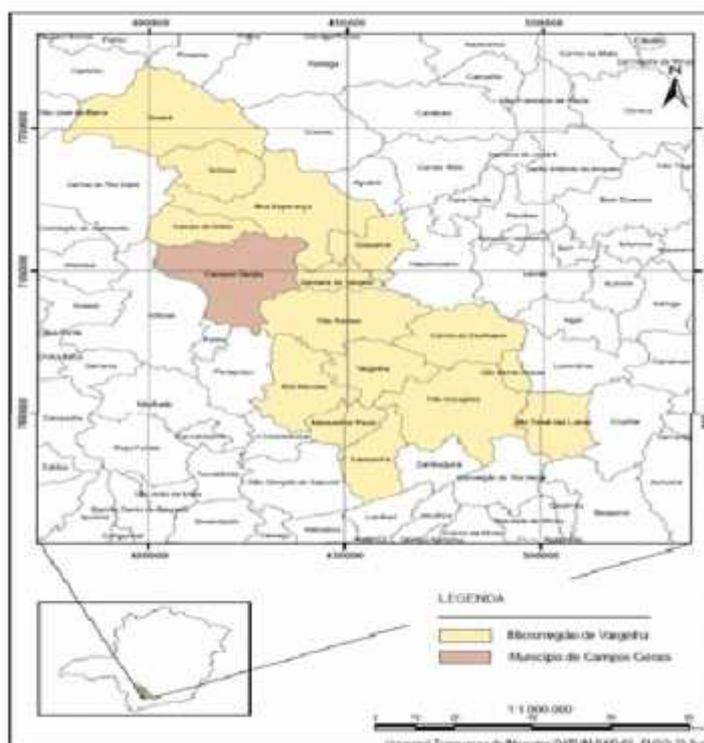


Figura 7– Localização do município de Campos Gerais na meso-região do sul de Minas Gerais. (PEREIRA, 2010.)

Clima

O clima de Campos Gerais é abordado em escala regional e local, devido à ausência de uma estação meteorológica na cidade. Em uma análise regional é destacado características genéricas do clima tropical que predominam na região sudeste, dados que são fornecidos pelas estações meteorológicas em Lavras e Machado. Já em escala local o clima é abordado a partir da consideração de uma série de dados históricos pluviométricos gerados pelo próprio município.

SERRA, A & RATISBONNA (1942) afirmaram que o regime climático, no verão, é determinado pelas ações da Massa Tropical Atlântica (MTa), da Massa Polar Atlântica (MPa), Massa Equatorial Continental (MEc), da Frente Polar Atlântica (FPa) e das Linhas de Instabilidade ou Calhas Induzidas (CI).

A temperatura média da região é baseada na análise das duas estações já citadas. Em Machado a temperatura média mensal, varia entre 15,3°C em julho e 22,4°C em fevereiro. A média das máximas permanece entre 23,1°C em julho e 29°C em fevereiro, já a média das mínimas muda de 8,8°C em julho a 17,8°C em janeiro. Já em Lavras, a média mensal, varia de 15,8°C em julho a 21,7°C em janeiro. As medias das máximas varia entre 23,7°C em julho e 28,4°C em fevereiro, e as mínimas de 10,4°C em julho a 17,9°C em fevereiro. (UFMG 2007).

Hidrografia

A rede hidrológica do município de Campos Gerais é abastecida pelo Rio Grande, pertencente à Bacia do Paraná. Na região também é abastecida pelo Córrego Ribeirão da Onça, Córrego do Cervo, do Galo e do Barreirinho, além de ser banhada pela represa de furnas. (UFMG 2007).

O Córrego do Cervo configura-se como o principal eixo de drenagem local, situando na porção centro-oeste do município. As elevações próximas como a serra do macuco, e a da fortaleza, constituem-se em um grande divisor d água da região.

Aspectos Geomorfológicos

Esta paisagem está inserida no Planalto de Varginha (GATTO *et al.* 1983) ou Planalto Sul de Minas (alto Rio Grande) o qual, juntamente com o conjunto de serras, faz parte do Planalto Atlântico do Sudeste (AB'SABER 1975). O relevo da área é muito acidentado, possui serras altas com vertentes íngremes. Deve se dar destaque a áreas de topos de colinas e morros, onde ocorre alteração de rochas sob condições bioclimáticas intertropicais. Como a serra do paraíso que possui vertentes íngremes, e atinge 1266m de altitude, e altitudes menores de 786m estão localizadas próximas à represa de furnas, e a serra da fortaleza que possui altitude aproximada de 1000m. A área urbana esta localizada a 850 metros de altitude. (PEREIRA 2010).

Cobertura Vegetal

O município de Campos Gerais possui uma cobertura vegetal do tipo campestre, e inclui cobertura vegetal de porte arbórea, sendo constituída pela mata fechada, em diferentes estágios, primaria ou secundaria.

Devido à grande atividade agrícola da região, a cobertura vegetal é rapidamente substituída por culturas permanentes ou provisórias, e também pela formação de pastagens. O município de Campos Geras possui uma vegetação de Mata Secundária, Mata Ciliar, Capoeira, Cerradão, Cerrado, Cerrado com Floresta Galeria, Campo Cerrado, Campo Cerrado com Floresta Galeria, e Várzea, além de vegetação rasteira e gramíneas, que são utilizadas como pastagem. (UFMG 2007).

Aspectos pedológicos

Os solos do município de Campos Gerais variam conforme a altitude de cada área. As áreas elevadas caracterizam-se por rochas mecanicamente resistentes ao intemperismo, predominando o quartzito, encontradas na faixa central e na zona norte da serra de Campos Gerais, e são cobertas por Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e Argissolo Vermelho distrófico. Esses

solos são formados através da lavagem ácida sobre o material de origem arenoso de regiões úmidas. A espessura do solo varia conforme o tipo de relevo, mas sua espessura é muitas vezes inferior a 50 cm. Esse tipo de solo dificulta a agricultura. (UFMG 2007).

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

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

Geologia da área

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

Se tratando do aspecto estratigráfico geral, as rochas que afloram na região são das unidades do Complexo Basal de Campos Gerais, (composto de granito e gnaiss), do Grupo Araxá (composto por xistos verdes micaxistos e migmatitos) e do Grupo Canastra, composto por filitos e quartzitos. (UFMG, 2007). As relações entre estratigrafia e condições tecto-estruturais apontam para o seguinte:

- o Complexo Basal teria idade Pré-cambriana Médio a Inferior e teria sido afetado pelos ciclos tectônicos Transamazônicos ou Uruaçuano, com retrabalhamento pelo Ciclo Brasileiro, no Proterozóico Superior;
- os grupos Araxá e Canastra teriam idade do Proterozóico Médio e impressões tectônicas ligadas aos ciclos Uruaçuano e Brasileiro (UFMG, 2007). O complexo Basal situa-se nos municípios de Boa Esperança e Campos

Gerais, e se inserem na Zona Estrutural Guaxupé. Já os grupos Araxá e Canastra situam-se alojados aos municípios de Ilcinia e Guapé (UFMG, 2007).

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

Do ponto de vista da geologia regional, Campos Gerais tem seu território sobre duas zonas estruturais regionais, e a sede se situa no limite dessas. Portanto o município é composto por duas áreas de geologia bem diferenciadas. A área meridional é constituída por rochas pertencentes ao Complexo Campos Gerais. A área central é representada por quartzo-dioritos. A área setentrional esta inserida na zona estrutural Araxá-Canastra, constituída de rochas metamórficas, onde se destacam quartzitos puros, ou intercalados com xistos e filitos. E a região do distrito de Córrego do Ouro é ocupada por duas faixas com largura menores, caracterizadas por gonditos e anatexitos e rochas metabásicas e calcissilicáticas (UFMG, 2007).

5. MATERIAL E MÉTODO

Neste item do trabalho são apresentados os materiais utilizados e os métodos empregados. Inicialmente foi realizado um levantamento e revisão bibliográfica, que possibilitam a elaboração da revisão teórica tomadas como aporte ao desenvolvimento da pesquisa. A partir destas leituras, foi feito um esboço de todo material cartográfico e produtos de sensoriamento remoto disponíveis e que poderiam ser empregados no estudo. Tais bases cartográficas são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Material cartográfico e produtos de sensoriamento remoto utilizados na pesquisa.

Documentação Cartográfica	Articulação	Escala/Resolução	Ano	Executor
Carta topográfica de Varginha	SF-23-V-D	1:250.000	1979	IBGE
Carta topográfica de Alfenas	SF-23-I-I-3	1:50.000	1970	IBGE
Carta topográfica de Boa Esperança	SF-23-V-D-II-2	1:50.000	1970	IBGE
Carta topográfica de Campos Gerais	SF-23-I-I-1	1:50.000	1970	IBGE
Carta topográfica de Três Pontas	SF-23-I-I-4	1:50.000	1970	IBGE
Mapa Geológico do Município de Campos Gerais – MG	-	1:175.000	2006	L.S
Mapa Pedológico do Município de Campos Gerais	-	1:250.000	2006	L.S
ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM)	Cena S22W046	30 metros	2011	METI
Imagens multiespectrais do sensor OLI do satélite Landsat 8	Ref. órbita/ponto 219/75	30 metros	2014	GLOVIS

Os mapas temáticos dos aspectos fisiográficos (morfologia, hipsometria, clinografia, geologia, litologia e pedologia) e dos aspectos antrópicos (uso da terra e cobertura vegetal) foram elaboradas no software ArcGIS™10, onde foram gerados os Planos de Informações (PIs) correspondentes a estes mapas.

O mapa de Fragilidade Ambiental Potencial foi gerado no ArcGIS™10, através da ponderação das classes de fragilidade dos mapas morfológico, pedológico, clinográfica e litológico utilizando as operações de sobreposição de camadas disponíveis no ArcGIS™10 (*Overlay*), com pesos igualitários. O mapa hipsométrico não foi ponderado nas combinações de informações, ficando apenas como parâmetro de comparação e análise (Figura 8).

O Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente resultou da sobreposição dos Planos de Informação do mapa de Fragilidade Ambiental Potencial e a do mapa de uso da terra e cobertura vegetal, de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994), para análise empírica de fragilidade dos ambientes naturais (Figura 8).

Este trabalho envolveu a combinação de vários planos de informação (solo, litologia, clinografia, morfologia e uso e cobertura da terra), e nem sempre é possível obter estes na mesma escala cartográfica. Salientamos que

para este trabalho foi adotada a escala do plano de informação que apresentou escala de menor detalhe, ou seja, a escala do mapa pedológico, que é de 1:250.000. As categorias hierárquicas do grau de fragilidade foram definidas conforme proposto por Ross (1994) e Crepani (2001), além de característica referentes à suscetibilidade à erosão, conforme apresentado pela EMBRAPA (2002).

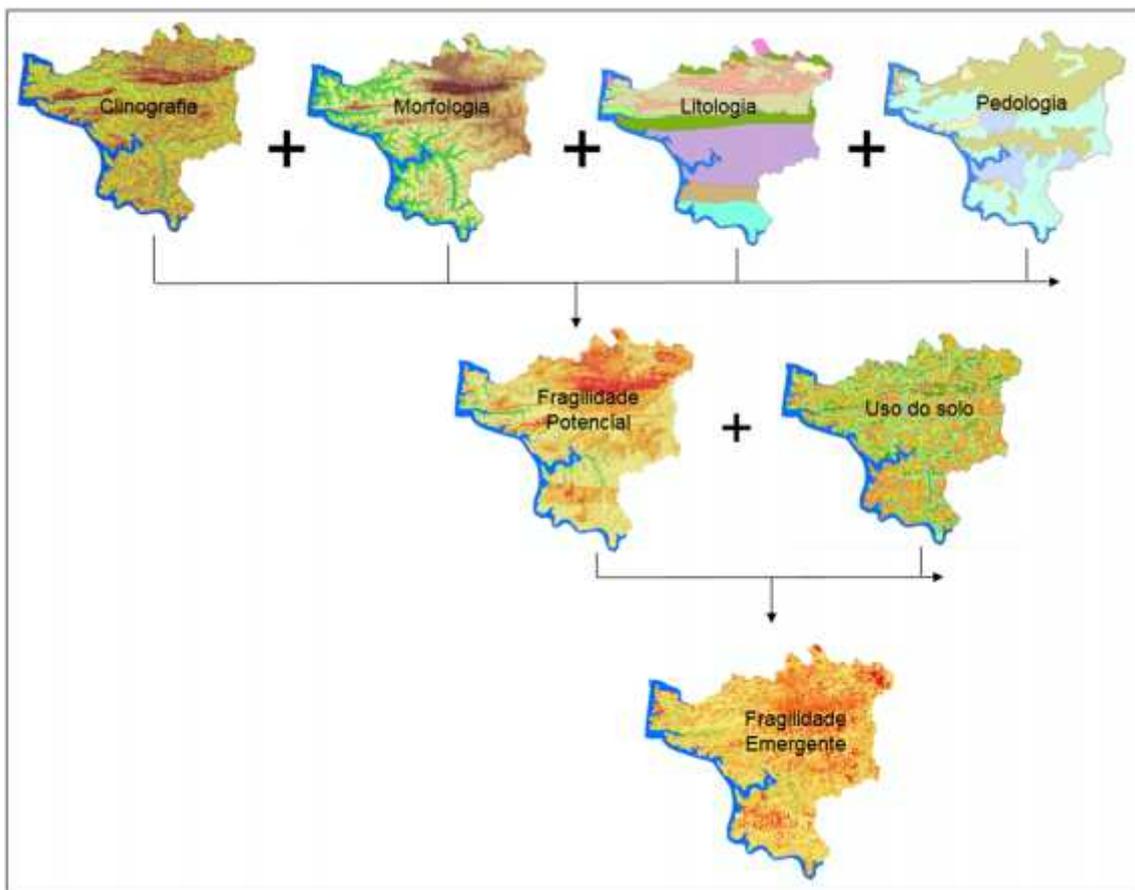


Figura 8 - Modelo esquemático representativo de sobreposição de Planos de Informações para o mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente

5.1. Descrição das técnicas e etapas de elaboração dos mapas temáticas

Neste item do trabalho são descritos os procedimentos metodológicos e técnicos utilizados para a elaboração de cada um dos produtos cartográficos.

5.2. Arquivos Base

Os arquivos base referentes aos limites territoriais e rede hidrográfica do município de Campos Gerais – MG. Optou-se por utilizar a base cartográfica das cartas topográficas citadas no Quadro 1, disponibilizadas no site do IBGE em formato vetorial, em arquivos no formato dxf.

Os arquivos foram convertidos para o formato shapefile, típico arquivo vetorial utilizado no software ArcGIS™10. A conversão foi realizada pelo comando *Export Data*, sendo selecionado o formato shp. Como arquivo de saída. Posteriormente, foi feita a união dos arquivos vetoriais lineares das quatro cartas topográficas, gerando apenas um arquivo referente aos limites territoriais e um arquivo referente à rede hidrográfica. Tal procedimento empregou o comando *Merge*, disponível na ferramenta *Geoprocessing* do SIG ArcGIS™10.

Por fim, o arquivo vetorial linear dos limites territoriais do município foi convertido para um arquivo vetorial poligonal, a fim de ser utilizado no recorte dos demais produtos cartográficos.

5.2.1. Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico foi gerado a partir da Cena S22W046 do (*AdvancedSpaceborneThermalEmissionandReflectionRadiometer - Global Digital ElevationModel- ASTER GDEM*) (2011), com resolução espacial de 30m, o que possibilita a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs)

Inicialmente, a Imagem referente à Cena S22W046 do ASTER GDEM foi recortada a partir do arquivo vetorial poligonal referente aos limites territoriais do município de Campos Gerais, com o emprego da ferramenta *ExtractionbyMask*, disponível na extensão *EspatialAnalyst Tools*, do SIG ArcGis 10.

Posteriormente, o MDE com os limites territoriais do município de Campos Geais - MG foi representado em uma escala tonal de bege claro (menores altitudes) para o marrom (maiores altitudes), em seis classes (Quadro 3), com amplitude de 100 metros, cada, com transparência de 20%, sobreposto à imagem de sombreamento do relevo do MDE, com iluminação de

azimute de 315°, gerada a partir da ferramenta *hillshade* da extensão *3D Analyst* do software ArcGIS™ 10.

Quadro 3 - Classes hipsométricas do município de Campos Gerais - MG.

Classes hipsométricas (m)	
716 - 800	
801 - 900	
901 - 1.000	
1.001 - 1.100	
1.101 - 1.200	
1.201 - 1.308	

5.2.2. Mapa clinográfico

De acordo com Nascimento (2009), o mapa clinográfico é utilizada para representar a inclinação do terreno em relação ao plano. A carta clinográfica pode ser dada em graus ou em porcentagem. Alguns fatores devem estar ligados para que se determine a declividade do terreno, são eles: o distanciamento entre os pontos e a diferença de nível altimétrico.

O mapa clinográfico tomou como base o ASTER GDEM já recortado com limites territoriais do município de Campos Gerais, e foi gerado por meio do comando *Slope*, com declividade representada em porcentagem, presente no módulo *Surface* da extensão *SpatialAnalyst Tools* do software ArcGIS™ 10. O mapa clinográfico foi classificado em cinco classes, com base nas classes de declividades propostas por Ross (1994), representadas pelos seguintes intervalos: <3, 3 a 6%, 6 a 12%, 12 a 20%, 20 a 30%, 30 a 50% e >50%.

Ross (1994) organizou essas classes em 5 categorias hierárquicas, para que fossem utilizadas na construção de cartas de fragilidade potencial e emergente da seguinte forma:

- muito fraca - até 6%,
- fraca - de 6 a 12%,
- média - de 12 a 20%,
- forte - de 20 a 30% e

– muito forte - acima de 30%.

Estes intervalos de classes foram utilizados neste trabalho, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Classes de declividades e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campos Gerais - MG.

Classes de declividades (%)	Categorias hierárquicas de fragilidade	
0 – 6	Muito fraca (1)	
6 – 12	Fraca (2)	
12 – 20	Média (3)	
20 – 30	Forte (4)	
> 30	Muito Forte (5)	

5.2.3 Mapa de Compartimentação do Relevo

O mapa de morfologia do relevo foi gerado a partir do fatiamento do MDE de Campos Gerais-MG em cinco classes, empregando o método de classificação *Quebras-Naturais*, que tende a dividir as classes nas áreas de maior variância em as cotas altimétricas, onde se dão as rupturas de declive, representando, assim, fielmente as formas de relevo. Desta forma, as classes obtidas por este fatiamento são: planície aluvial, Relevo ondulado à colinoso, relevo colinoso, relevo fortemente inclinado e, relevo montanhoso. Estas formas de relevo se enquadram no quarto táxon das unidades taxonômicas têmporo-espaciais, que têm por princípio a dimensão das formas na perspectiva tridimensional (tamanho, gênese e idade). Ross (1992), utilizando-se das unidades taxonômicas apresentadas por Demek (1967), propõe seis níveis para a representação geomorfológica (Figura 9).

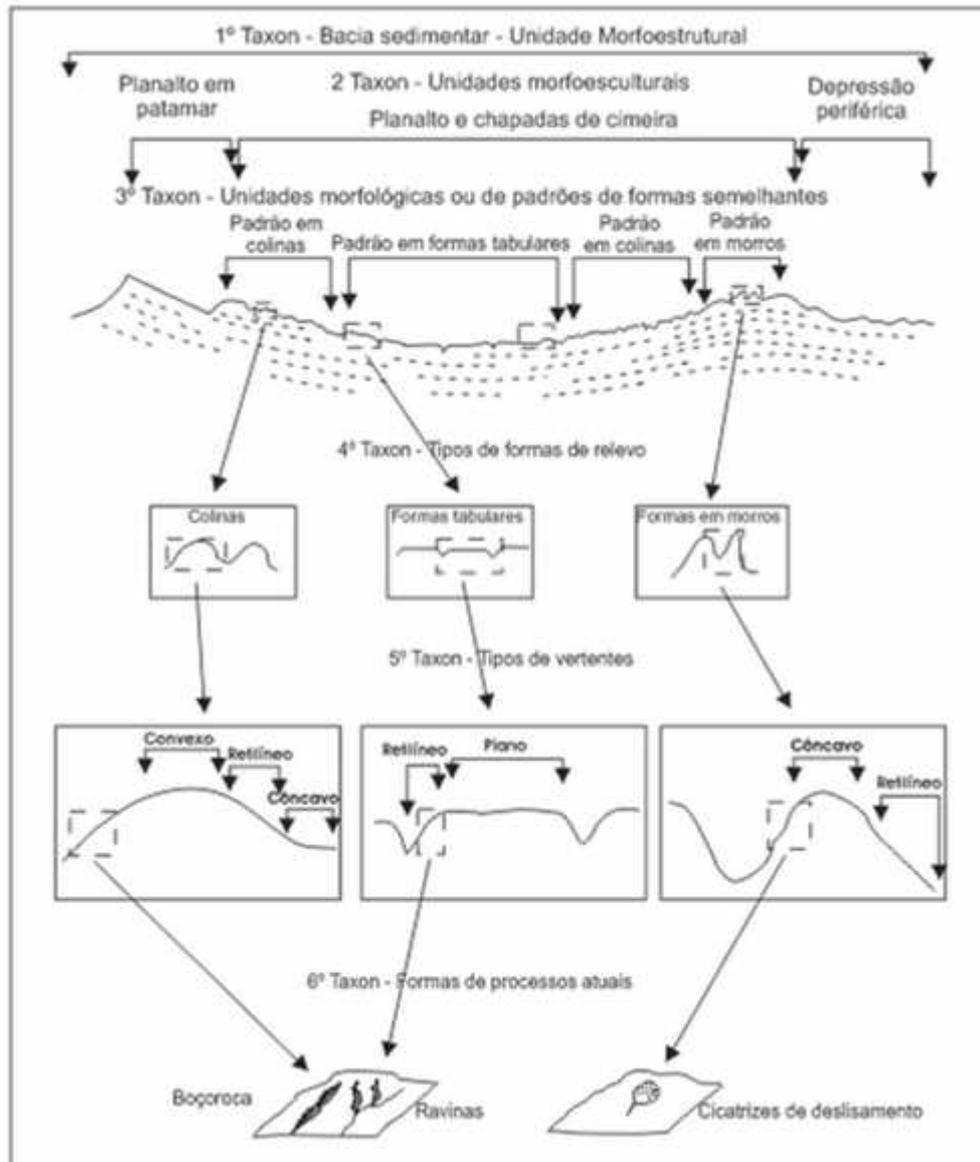


Figura 9 – Representação esquemática das Unidades Taxonômicas propostas por Ross (1992). Fonte: Ross (1992).

O 3º táxon refere-se às formas de relevo individualizadas na unidade de padrão de formas semelhantes. Estas formas, quanto à gênese, podem ser: agradação, como as planícies fluviais ou marinhas, terraços fluviais ou marinhos, ou de denudação, como colinas, morros e cristas.

As planícies aluviais são em geral superfícies planas, decorrentes de processos agradacionais, e apresentam baixas declividades e amplitude altimétrica relativamente baixas, caracterizando-se como áreas de muito baixa fragilidade à ocorrência de processos erosivos.

O relevo ondulado à colinoso e o relevo colinoso são formas de relevo de origem denudacionais, e passam a apresentar declividades e amplitude altimétrica superiores às das planícies aluviais, de forma que se tornam mais suscetíveis à processos erosivos, apresentando de baixa à média fragilidade ambiental.

Já as formas de fortemente inclinado e relevo montanhoso apresentam elevada amplitude altimétrica e alta declividade, também sendo formas de denudação. São altamente suscetíveis à processos erosivos, sendo classificadas como de alta e muita alta fragilidade ambiental, respectivamente.

A partir destas premissas, as classes de morfologia do relevo foram classificadas por categorias hierárquicas de fragilidade, conforme apresentado na Quadro 5.

Quadro 5 - Classes de morfologia do relevo e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campos Gerais - MG.

Formas de Relevo	Categorias hierárquicas de fragilidade	
Planície aluvial	Muito fraca (1)	
Relevo ondulado à colinoso	Fraca (2)	
Relevo colinoso	Média (3)	
Relevo fortemente inclinado	Forte (4)	
Relevo montanhoso	Muito Forte (5)	

5.2.4 Mapa litológico

O Mapa Litológico foi compilado a partir do registro do Mapa Geológico do município Campos Gerais – MG, escala 1:175.000, elaborado pela empresa L.S (2006), disponível no Plano Diretor do município. O Mapa tomou como base o Mapa geológico do Brasil, escala 1:1.000.000 (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais- CPRM) e a tese de doutorado de TAVARES (1986), intitulada “*Caracterização do comportamento geologico-estrutural na região da represa de Furnas-MG com dados de sensoriamento remoto*”.

Com base neste mapa, foram delimitadas as seguintes unidades litológicas:

- Depósitos aluvionares e de cobertura - cascalhos e argilas semiconsolidadas;
- Laterita;
- Cascalho;
- Quartzitos;
- Muscovita quartzitos laminados, intercalados com sericitas xistos e sericitas quartzitos;
- Quartzitos tecnonizados, bancos de quartzitos maciços e quartzitos com pequenas intercalações de filitos de origem de rochas básicas;
- Gondodito, quartzito;
- Anatexisto, quartzito, metabásica e rocha calcissilicática;
- Migmatitos diversos, rochas quartzo-feldspáticas com estruturas gnáissicas e núcleos granitoides; e
- QuartaAnfibólitos, gnaisses e quartzitosrtzodiorito.

As categorias hierárquicas do grau de fragilidade foram definidas com base na escala de vulnerabilidade à denudação (intemperismo + erosão), absolutamente *relativa e empírica*, conforme proposto por Crepani (2001) (Quadro 6). O autor reuniu em uma tabela as litologias mais comumente encontradas, onde se procurou considerar o grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, propondo graus de vulnerabilidade.

Quadro 6 – Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns. Fonte: Crepani (2001).

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgraúvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Graúvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estauroлита xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

A partir dos valores de vulnerabilidades apresentados na Figura 6, foram definidos os graus de fragilidade das unidades litológicas presentes no município de Campos Gerais, conforme apresentado na Quadro 7.

Quadro 7 – Unidades litológicas e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campos Gerais - MG.

Unidade Litológicas	Categorias hierárquicas de fragilidade	
Quartzitos tectonizados, bancos de quartzitos maciços e quartzitos com pequenas intercalações de filitos de origem de rochas básicas	Muito Baixa (1)	
Quartzitos	Muito baixa (1)	
Migmatitos diversos, rochas quartzo-feldspáticas com estruturas gnáissicas e núcleos granitoides	Baixa (2)	
Anfibólios, gnaisses e quartzitos	Baixa (2)	
Quartzo diorito	Baixa (2)	
Muscovita quartzitos laminados, intercalados com sercitas xistos e sercitas quartzitos	Média (3)	
Anatexisto, quartzito, metabásica e rocha calcissilicática	Média (3)	
Laterita	Média (3)	
Gondodito, quartzito	Muito Forte (5)	
Cascalho	Muito forte (5)	
Depósitos aluvionares e de cobertura - cascalhos e argilas semiconsolidadas	Muito forte (5)	

5.2.5 Mapa Pedológico

O Mapa Pedológico foi compilado a partir do registro do Mapa Pedológico do município Campos Gerais – MG, escala 1:250.000, elaborado pela empresa L.S (2006), disponível no Plano Diretor do município. Sua elaboração tomou como base a Carta dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas, elaborada pelo Instituto de Química Agrícola e Instituto de Ecologia e experimentações agrícolas, 1961.

Em virtude do mapa base ser do ano de 1961, fez-se necessário a atualização do mesmo conforme a nova classificação brasileira de solos, de modo que o solo Alissolo foi classificado em duas classes de Argissolo: Argissolo vermelho-amarelo eutrófico e Argissolo vermelho distrófico. As áreas referentes à localização de cada uma destas duas classes de solo tomou como referência o Mapa de Solos do estado de Minas Gerais, na escala de 1:650.000, elaborado pelas Universidades Federais de Viçosa e Lavras, no ano de 2010.

Com base nestes mapas, foram delimitadas as seguintes unidades pedológicas:

- Afloramento rochoso;
- Gleissolo;
- Associação de gleissolos com neossolos;
- Associação Neossololítico (fase de substrato xisto e neossolo fase substrato metaquartzito);
- Latossolo vermelho escuro (fase cerrado);
- Latossolo vermelho escuro (fase floresta tropical);
- Latossolo vermelho escuro húmico (fase tropical);
- Argissolo vermelho-amarelo eutrófico; e
- Argissolo vermelho distrófico.

As categorias hierárquicas do grau de fragilidade foram definidas conforme proposto por Ross (1994) (Quadro 8) e Crepani (2001) (Quadro 9), além de característica referentes à suscetibilidade à erosão, conforme

apresentado pela EMBRAPA em seu portal “http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropical”.

Quadro 8 – Classes de fragilidade de acordo com as classes de solos - Embrapa (2006).

<i>Classes de fragilidade</i>	<i>Classes de solos</i>	<i>Valor</i>
Muito baixa	Latossolo Vermelho Distróférico, Latossolo Vermelho e Vermelho-Amarelo textura argilosa	1
Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo textura média/argilosa	2
Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Nitossolo, Argissolo Vermelho-amarelo, textura média/argilosa	3
Forte	Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média/arenosa, Cambissolos	4
Muito Forte	Argissolo cascalhentos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos	5

Fonte: Adaptado de ROSS (1994), atualizado conforme Embrapa (2006)

Quadro 9 - Valores de vulnerabilidade dos solos. Modificada de Crepani et al. (2001) incluindo a correlação com a nova nomenclatura de solos de Embrapa (1999b) baseada em Prado (2001).

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (Camargo et al., 1987)	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (EMBRAPA, 1999b)	VULN.
Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelho-Escuros Latossolos Roxos Latossolos Brunos Latossolos Húmicos Latossolos Húmicos Brunos	Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos Latossolos Vermelhos Latossolos Brunos Latossolos (...) Húmicos Latossolos Bruno (...) Húmicos	1,0
Podzólicos Amarelos Podzólicos Vermelho-Amarelos Podzólicos Vermelho-Escuros Terras Roxas Estruturadas Brunos Não-Cálcicos Brunizéns Brunizéns Avermelhados Rendzinas Planossolos Solos Hidromórficos (abrupticos) Podzóis	Argissolos Argissolos Luvisolos Alissolos Nitossolos Argissolos Luvisolos Alissolos Nitossolos Argissolos Nitossolos Luvisolos Chernossolos Chernossolos Chernossolos Planossolos Planossolos Espodossolos	2,0
Cambissolos	Cambissolos	2,5
Solos Litólicos Solos Aluviais Regossolos Areias Quartzosas Vertissolos Solos Orgânicos Solos Hidromórficos (não abrupticos) Glei Húmico Glei Pouco Húmico Plintossolo Laterita Hidromórfica Solos Concrecionários Lateríticos Afloramento Rochoso	Neossolos Litólicos Neossolos Flúvicos Neossolos Regolíticos Neossolos Quartzarênicos Vertissolos Organossolos Gleissolos Gleissolos Plintossolos Gleissolos Plintossolos Plintossolos Plintossolos Plintossolos Afloramento Rochoso	3,0

Fonte: Crepani (2001).

A partir das categorias hierárquicas do grau de fragilidade apresentadas na Figura 8 e dos valores de vulnerabilidades apresentados na Quadro 9, foram definidos os graus de fragilidade das classes de solo presentes no município de Campos Gerais, conforme apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 – Classes de solo e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campos Gerais - MG.

Classes de solo	Categorias hierárquicas de fragilidade	
Latossolo vermelho escuro (fase floresta tropical)	Muito baixa (1)	
Latossolo vermelho escuro (fase cerrado)	Muito baixa (1)	
Latossolo vermelho escuro húmico (fase tropical)	Muito baixa (1)	
Argissolo vermelho distrófico	Forte (4)	
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	Forte (4)	
Associação Neossolo litólico (fase de substrato xisto e neossolo fase substrato metaquartzito)	Muito forte (5)	
Associação de gleissolos com neossolos	Muito Forte (5)	
Gleissolo	Muito Forte (5)	
Afloramento rochoso	Muito Forte (5)	

5.2.6 Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal

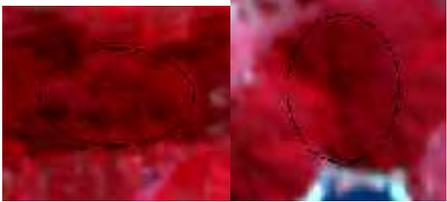
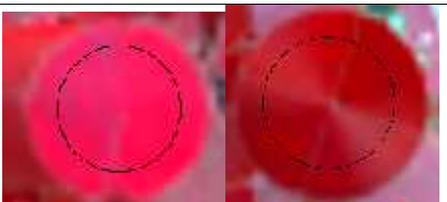
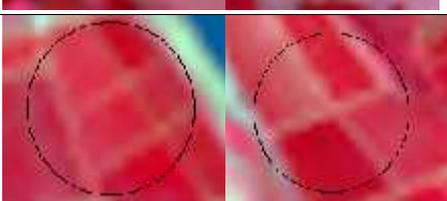
O mapa de uso do solo e cobertura vegetal tomou como base as bandas multiespectrais do sensor (Operational Land Imager- OLI) do satélite landsat 8, órbita/ponto 219/75, com passagem no dia 15/05/2014. Inicialmente foi feito o recorte das mesmas, tendo como máscara o arquivo vetorial do limite da área de estudo. Posteriormente, foi gerada uma composição colorida falsa-cor R5G4B3, a partir do comando *CompositeBands*, da qual foram identificadas sete classes de uso do solo e cobertura vegetal:

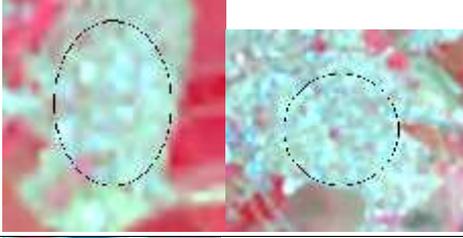
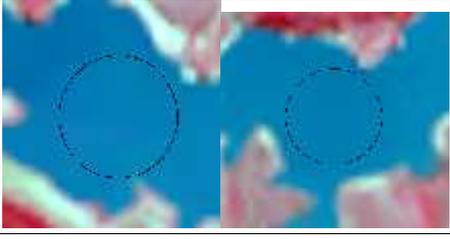
- Remanescentes florestais;
- Pastagem;

- Cultura temporária;
- Café;
- Solo exposto;
- Corpos d'água; e
- Áreas urbanas.

Foi criada uma chave de interpretação para o uso e cobertura da terra, a fim de auxiliar no momento de delimitação e extração das regiões de interesse, conforme apresentado na Quadro 11.

Quadro 11 – Chave de interpretação para as classes de uso identificadas.

Classes	Exemplo das classes na R5G4B3	Textura / Forma
Remanescentes florestais		Rugosa / Irregular
Pastagem		Lisa / Geométrica
Cultura temporária		Lisa / Geométrica
Café		Lisa / Geométrica
Solo exposto		Lisa / Geométrica; irregular

Área urbana		Rugosa / irregular
Corpos d'água		Lisa / Irregular

Posteriormente foram delimitadas as regiões de interesse para cada uso, a fim de se obter a assinatura espectral dos mesmos. Para tanto, foi criado um arquivo vetorial com delimitações de pixels considerados como sendo da mesma classe, e a partir deste, obteve-se a assinatura espectral de cada uso, a partir do comando *CreateSignatures* do SIG ArcGISTM10, que gera as estatísticas dos valores dos pixels das imagens multiespectrais da imagem Landsat delimitados pelos limites de cada região de interesse.

Para o mapeamento das classes de uso foi empregada a classificação supervisionada, que aplica o método de classificação por probabilidade máxima (*MaximumLikelihoodClassification*), que considera as ambas variâncias e co-variâncias dos valores amostrados, *pixels*, e assim, defini a relação de semelhança entre os valores que seguem esse mesmo padrão, agrupando-os na mesma classe. Tal procedimento foi realizado a partir do comando *MaximumLikelihoodClassification*, presente na ferramenta *ArcToolBox / SpatialAnalyst / Multivariate*, do software ArcGis10TM.

A determinado do grau de proteção de cada uma das classes de uso e cobertura vegetal identificada seguiu os valores propostos por Ross (1994), conforme apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 – Grau de proteção da cobertura vegetal, de acordo com Ross (1994)

<i>Graus de Proteção</i>	<i>Tipos de Cobertura Vegetal</i>	<i>Valor</i>
Muito Alta	Florestas / Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade	1
Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo densas (mata secundária Cerrado Denso, Capoeira Densa). Mata Homogênea de Pinus densa. Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como cacau.	2
Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível / terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagem com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.	3
Baixa	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).	4
Muito baixa	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado, gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagem, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.	5

Fonte: ROSS (1994).

Assim, no presente trabalho, as áreas com remanescentes florestais foram consideradas com grau de proteção muito alto e fragilidade muito fraca. A pastagem (vegetação rasteira), com grau médio de proteção, apresenta fragilidade média. As áreas com predomínio de uso agrícola, culturas temporárias e café, apresentam um grau alto de fragilidade e baixa proteção também. Já as áreas urbanas e áreas de solo exposto foram consideradas com grau de proteção muito baixa, e apresentam fragilidade muito forte (Quadro 13).

Quadro 13 - Classes de uso do solo e cobertura vegetal e categorias hierárquicas de fragilidade do município de Campos Gerais - MG.

Classes de uso do solo e cobertura vegetal	Categorias hierárquicas de fragilidade	
Água	Água	
Remanescente florestal	Muito baixa (1)	
Pastagem	Média (3)	
Cultura temporária	Forte (4)	
Café	Forte (4)	
Área urbana	Muito forte (5)	
Solo exposto	Muito forte (5)	

5.2.7 Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial

O mapa de fragilidade ambiental potencial é uma combinação das variáveis declividade, morfologia do relevo, litologia e solos. Para que fosse possível realizar a combinação entre os diferentes níveis de informações e representá-los, foi feita uma hierarquização de suas classes e atribuídos valores (pesos). Tal hierarquização foi escalonada, segundo a proposta de Ross (1994) em cinco classes de fragilidade: muito fraca - peso 1; fraca - peso 2; média - peso 3; forte - peso 4; e muito forte - peso 5 (Figura 10).



Figura 10 - Legenda das classes de fragilidade ambiental potencial do município de Campos Gerais – MG.

A combinação dos planos de informação foi realizada a partir do comando *Weighted Overlay*, do SIG ArcGis 10, em que a ponderação das variáveis é feita através da técnica Processo Analítico Hierárquico(AHP), conforme apresentado na Figura 11.

Raster	% Influence	Field	Scale Value
pi_morfologia	25	VALUE	
		Planície	1
		Relevo ondulado	2
		Colinas	3
		Muito inclinado	4
		Montanhoso	5
		NODATA	NODATA
pi_slope	25	VALUE	
		0 - 6	1
		6 - 12	2
		12 - 20	3
		20 - 30	4
		> 30	5
		NODATA	NODATA
PI_Litologia	25	NOMES	
		Migmatitos diverso	2
		Represa de Furna	1
		Anatexisto, quartzit	3
		Gondodito, quartzit	5
		Antibólitos, gnaiss	2
		Quartzo diodorito	2
		Quartzitos	1
		Laterita	3
		Cascalho	5
		Depósitos aluvion	5
		Muscovita quartzito	3
		Quartzitos tecnoniz	1
		NODATA	NODATA
PI_Solos	25	NOME	
		Latossolo vermelh	1
		Represa de Furna	1
		Alissolo	4
		Associação de gle	5
		Associação Neos	5
		Afloramento rocho	5
		Latossolo vermelh	1
		Latossolo vermelh	1
		Gleissolo	1
		NODATA	NODATA

Figura 11 – Quadro do comando *Weighted Overlay*, com influência de cada variável e peso das classes à fragilidade ambiental potencial.

5.2.8 Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente

O mapa de fragilidade ambiental emergente é a combinação do mapa de fragilidade ambiental potencial com o mapa de uso e cobertura da terra. Sua elaboração segue o mesmo método empregado na elaboração do mapa de fragilidade ambiental potencial, de forma que a fragilidade ambiental potencial teve influência de 50% e o uso do solo e cobertura vegetal tiveram influência de 50% (Figura 12).

Raster	% Influence	Field	Scale Value
★ Frag_Emerg	100	VALUE	↕
		Muito baixa	1
		Baixa	2
		Média	3
		Forte	4
		Muito forte	5
		NODATA	NODATA
★ uso_do_solo	0	CLASSNAME	↕
		Água	1
		Área urbana	5
		Solo argiloso	5
		Solo arenoso	5
		Milho	4
		Pastagem	3
		Cana-de-açúcar	4
		Café 1	4
		Café 2	4
		Mata	1
		Mata sombra	1
		Pastagem 2	2
		Solo Preparado	4
		NODATA	NODATA

Figura 12 – Quadro do comando *Weighted Overlay*, com influência de cada variável e peso das classes à fragilidade ambiental emergente.

A hierarquização do mapa de fragilidade ambiental emergente também foi escalonada segundo a proposta de Ross (1994) em cinco classes de fragilidade: muito fraca - peso 1; fraca - peso 2; média - peso 3; forte - peso 4; e muito forte - peso 5 (Figura 13).



Figura 13 - Legenda das classes de fragilidade ambiental emergente do município de Campos Gerais – MG.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

6.1 Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico do município de Campos Gerais mostra que este possui uma amplitude altimétrica de 592 metros, com cotas que variam entre 716 m e 1.308 m (Figura 14).

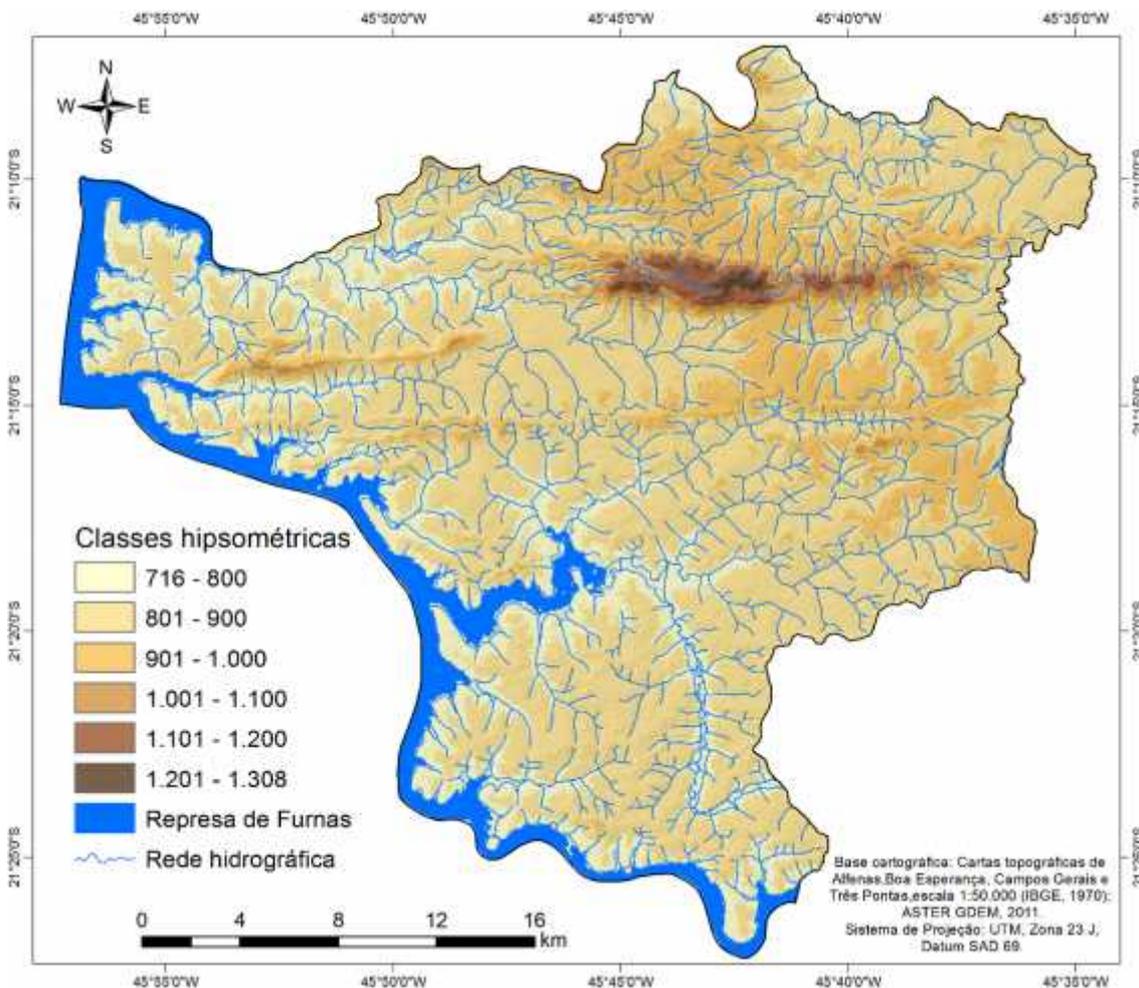


Figura 14 – Mapa hipsométrico do município de Campos Gerais – MG.

As áreas de menores altitudes correspondem às planícies flúvio-lacustre que margeiam o reservatório de Furnas e seus tributários (Figura 14), com altitudes variando de 716 m a 800 m, e ocupam uma área de aproximadamente 138,42 km², que correspondem à 18,51 % do território do município de Campos Gerais (Tabela 1), utilizadas pela agricultura, devido ao seu baixo gradiente.

As faixas altimétricas de 800 a 900 metros correspondem ao domínio de relevo ondulados à colinoso e relevo colinoso (Figura 14), onde estão situados

os principais rios da área, como Ribeirão da Onça, Córrego do Cervo, Córrego do Galo e Córrego do Barreiro, cujos níveis de base é a represa de Furnas. 56,86 % da área territorial do município de Campos Gerais está dentro destas cotas de altitude, que correspondem à uma área de 425,14 km². A declividade (figura 7) predominante nesta faixa está entre 6 a 12 %, com uso do solo predominante de pastagem, café e cultivos temporários, entremeados por remanescentes florestais.

A faixa de 900 a 1000 predominam relevos fortemente inclinados, morrotes e morros isolados, tendo algumas cristas alinhadas aos principais vales fluviais da área. Apenas 1,09% (8,17 km²) da área do município apresentam estas cotas de altitude (Tabela 1). Nestas áreas a declividade varia entre 12 a 20%, onde há um predomínio da cultura de café e da pastagem nos setores mais elevados das vertentes (Figura 14). As faixas de altitudes acima da cota dos 1000 metros correspondem às serras do Paraíso (Figura 15) e da Fortaleza (Figura 16), com direção E-W, que correspondem à apenas 0,21% do território do município, apresentam declives acima de 20%, de forma a predominar remanescentes florestais, cultivos de café e pastagem.

Tabela 1 – Área das classes hipsométricas por km² e por proporções percentuais da área total.

Hipsometria (metros)		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
716 - 800	138,42	18,51
801 - 900	425,14	56,86
901 - 1000	108,53	14,51
1.001 - 1.100	12,47	1,67
1.101 - 1.200	8,17	1,09
1.201 - 1.308	1,54	0,21
Represa de Furnas	53,48	7,15
TOTAL	747,76	100,00



Figura 15- Serra do Paraíso, município de Campos Gerais – MG. Fonte: Pereira, 2010.



Figura 16- Serra da Fortaleza, município de Campos Gerais – MG. Fonte: Pereira, 2010.

6.2 Mapa Clinográfico

De acordo com o mapa clinográfico do município de Campos Gerais – MG, no setor sul predominam as áreas de baixa declividades, enquanto o setor centro-norte, principalmente nas serras da Fortaleza e do Paraíso, apresenta as áreas com declividades mais acentuadas (Figura 17).

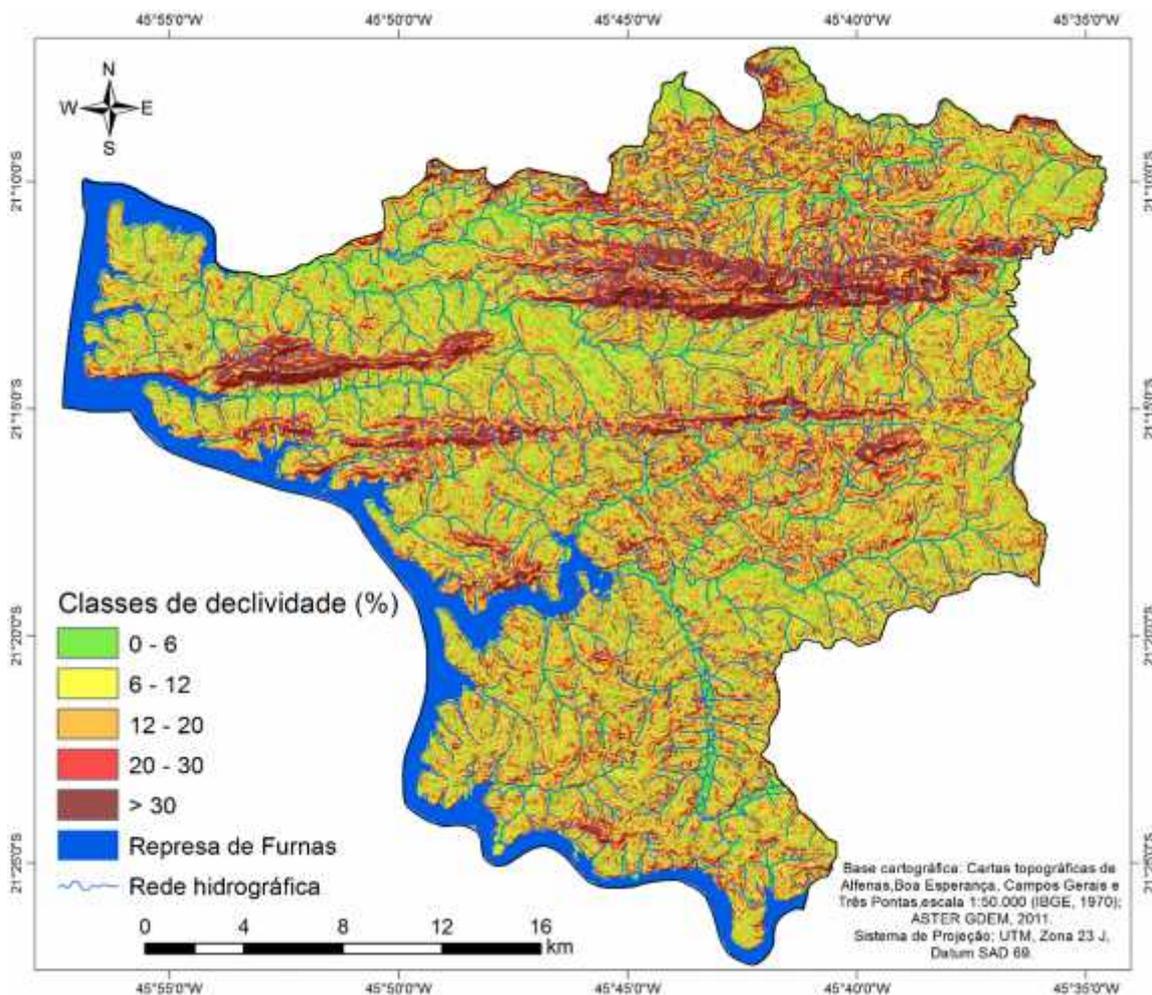


Figura 17 – Mapa clinográfico do município de Campos Gerais – MG.

As áreas com declividades abaixo de 6% ocupam uma área de aproximadamente 143,25 km², que correspondem à 19,2% da área do município, e são coincidentes às planícies aluviais (Figura 17), e conforme já salientado, apresentam um uso predominantemente agrícola. Estas áreas apresentam baixa fragilidade, devido seu baixo gradiente.

A classe compreendida entre 6 a 12% perfazem 26,3% (Tabela 2) da área total, e estão distribuídas em toda a extensão da área. Referem-se a ondulações suaves de vertentes convexas, suavemente onduladas, suscetíveis a escoamento difuso e laminar e sulcos.

As áreas com declividade entre 12 e 20% correspondem a 25,6% (Tabela 2), e também estão distribuídas em toda a extensão do município, e correspondem, principalmente, às encostas dos relevos colinoso e dos relevos fortemente inclinados, morrotes e morros.

Já as áreas com declividades muito forte, superior a 20%, englobam 21,8% do município. De acordo com Brito e Rosa (2003), categorias com declividades maiores que 20% são áreas impróprias para o uso agrícola e para a expansão urbana. Desta forma, além das áreas de APP referentes às margens de rios, 21% da área do município ainda deveriam manter vegetação original preservada. Contudo, estas cobrem menos de 10% da área do município.

Tabela 2 – Área das classes clinográficas por km² e por proporções percentuais da área total.

Clinografia (%)		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
0 – 6	143,25	19,2
06 – 12	195,60	26,2
12 – 20	191,50	25,6
20 – 30	103,47	13,8
> 30	60,57	8,1
Represa de Furnas	53,48	7,2
TOTAL	747,88	100,0

6.3 Mapa do relevo

O mapeamento do relevo de Campos Gerais identifico cinco unidades de relevo, sendo elas: planície aluvial, Relevo ondulado à colinoso, relevo colinoso, relevo fortemente inclinado e, relevo montanhoso (Figura 18).

As planícies aluviais são áreas com baixa amplitude altimétrica, em torno de 80 metros, com declividades inferiores à 6%, e ocupam uma área de

aproximadamente 153,69 km², correspondendo a 20,55% da área do município.

As unidades referentes aos relevos ondulados colinoso e relevo colinoso correspondem, principalmente, às colinas, morrotes e morros, e ocupam uma área de aproximadamente 438,87km², que correspondem à 58% da área total do município. Desta forma, são nestas áreas que se concentram as atividades agropastoris – cultivos temporários, café e pastagem. Estas áreas, mesmo não apresentando declives acentuados, possuem um uso muito intenso. Não apresentam práticas conservacionistas e tendem a se degradarem.

Já as unidades relevo fortemente inclinado e relevo montanhoso perfazem 9,6%, ocupando uma área de 71,75km², e apresentam declividade acima de 20% e estão acima da cota altimétrica dos 900 metros, correspondendo praticamente pelas serras do Paraíso e da Fortaleza.

Tabela 3 – Área das unidades de relevo por km² e por proporções percentuais da área total.

Morfologia do relevo		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
Planície aluvial	153,69	20,55
Relevo ondulado à colinoso	250,53	33,50
Relevo colinoso	183,34	24,51
Relevo fortemente inclinado	88,53	11,84
Relevo montanhoso	18,30	2,45
Represa de Furnas	53,48	7,15
TOTAL	747,87	100,00

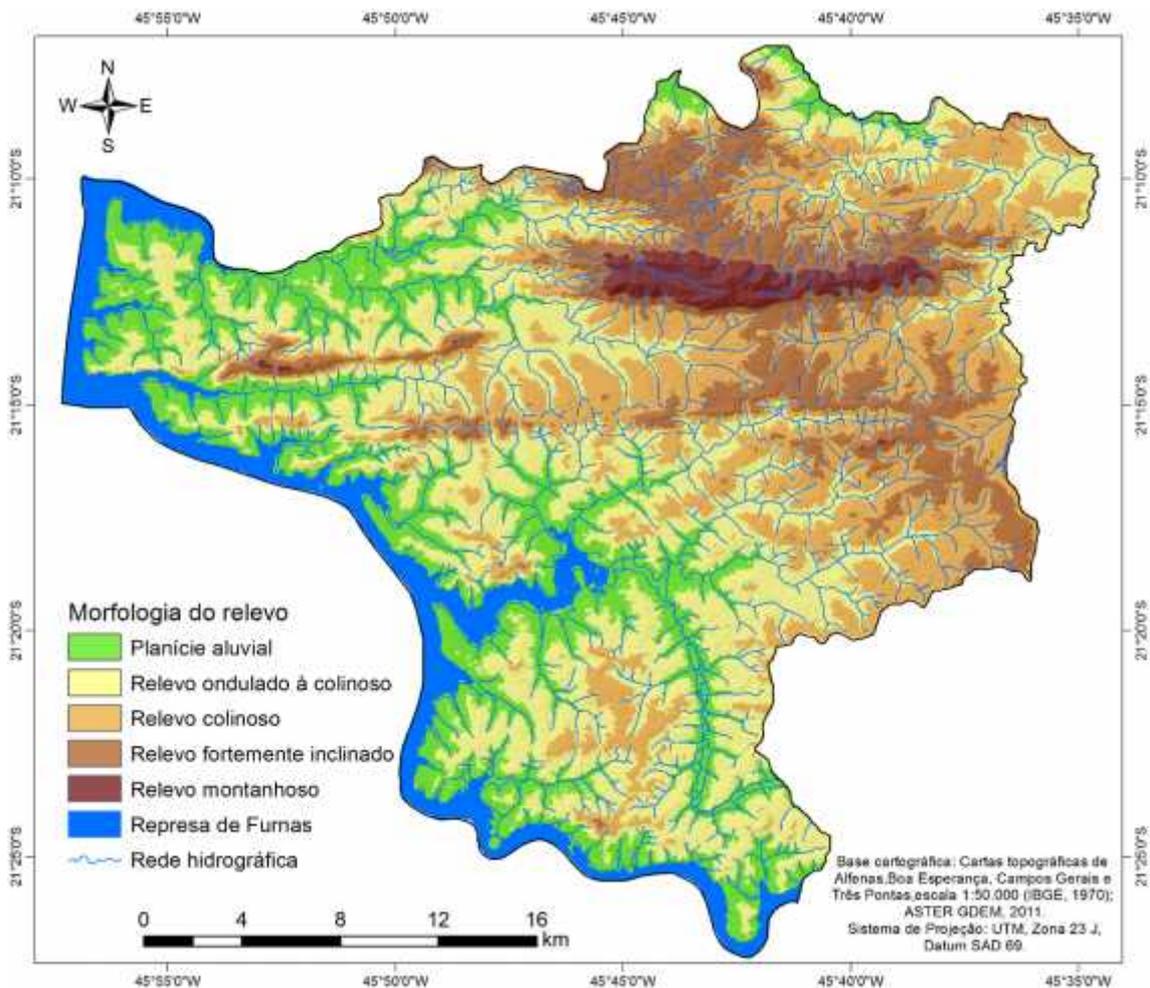


Figura 18 – Mapa de morfologia do relevo do município de Campos Gerais – MG.

6.4 Mapa litológico

De acordo com o Plano Diretor de Campos Gerais – MG (2007), as camadas aluviais que cobrem os fundos de vales, foram depositadas por fluxos fluviais ocorridos durante o período recente e atual do Quaternário. Elas ocupam tanto as zonas de inundações periódicas – várzeas – quanto os terraços situados nas vertentes suaves que bordejam os vales, abrangendo 8,32km² (Tabela 4).

O município é composto por duas áreas de litologia relativamente bem diferenciada, a norte e a sul de uma linha Leste-Oeste passando ligeiramente a sul da sede municipal, conforme ilustrado pelo Mapa Geológico (Figura 19) (Plano Diretor de Campos Gerais, 2007). Esta linha de separação é nitidamente identificada por um faixa de rochas onde predominam anfíbólios e

gnaisse, que perfazem 13% (97,24km²), sustentando uma linha de serras baixas que dividem o município em duas partes.

A área meridional é sustentada por rochas pertencentes, principalmente, ao Complexo Campos Gerais, ou seja rochas ligadas ao embasamento cristalino, organizadas em faixas paralelas de direção Leste-Oeste, mas com larguras variáveis.

A faixa central desta área é a que ocupa maior área, logo ao sul da cidade, e é representada por quartzo-dioritos (28,49%) que sustentam relevo de colinas suaves a acentuadas. A porção meridional dessa área, região do distrito de Córrego do Ouro, é ocupada por duas faixas com largura menor caracterizadas por rochas do tipo gnditos (5,05%), anatexitos e rochas metabásicas e calcissilicática (7,55%) (Figura 11 e Tabela 4).

A área setentrional apresenta uma litologia mais diversificada, pois está inserida na zona estrutural Araxá-Canastra, sendo, portanto característica de faixas de dobramento proterozóicas envolvendo, principalmente, rochas metamórficas. A diversidade de rochas, onde se destacam os quartzitos, puros (1,81%) ou intercalados com delgadas camadas de xistos e filitos (2,28%), entre outras fácies litológicas. Em consequência dessas características geológicas – diversidade litológica, resistência química dos quartzitos e estruturas de dobramento – o relevo da área é muito mais acidentado, exibindo serras altas com vertentes íngremes (como a de Campos Gerais).

Tabela 4 – Área das unidades litológicas por km² e por proporções percentuais da área total.

Litologia		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
Quartzitos tecnonizados, bancos de quartzitos maciços e quartzitos com pequenas intercalações de filitos de origem de rochas básicas	17,03	2,28
Quartzitos	13,51	1,81
Migmatitos diversos, rochas quartzo-feldspáticas com estruturas gnáissicas e núcleos granitoides	167,40	22,38
Anfibólios, gnaisse e quartzitos	97,24	13,00
Quartzo diorito	213,05	28,49
Muscovita quartzitos laminados, intercalados com sericitas xistos e sericitas quartzitos	69,91	9,35
Anatexisto, quartzito, metabásica e rocha calcissilicática	56,45	7,55
Laterita	12,66	1,69

Litologia		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
Gondodito, quartzito	37,76	5,05
Cascalho	1,08	0,14
Depósitos aluvionares e de cobertura - cascalhos e argilas semiconsolidadas	8,32	1,11
Represa de Furnas	53,48	7,15
TOTAL	747,90	100,00

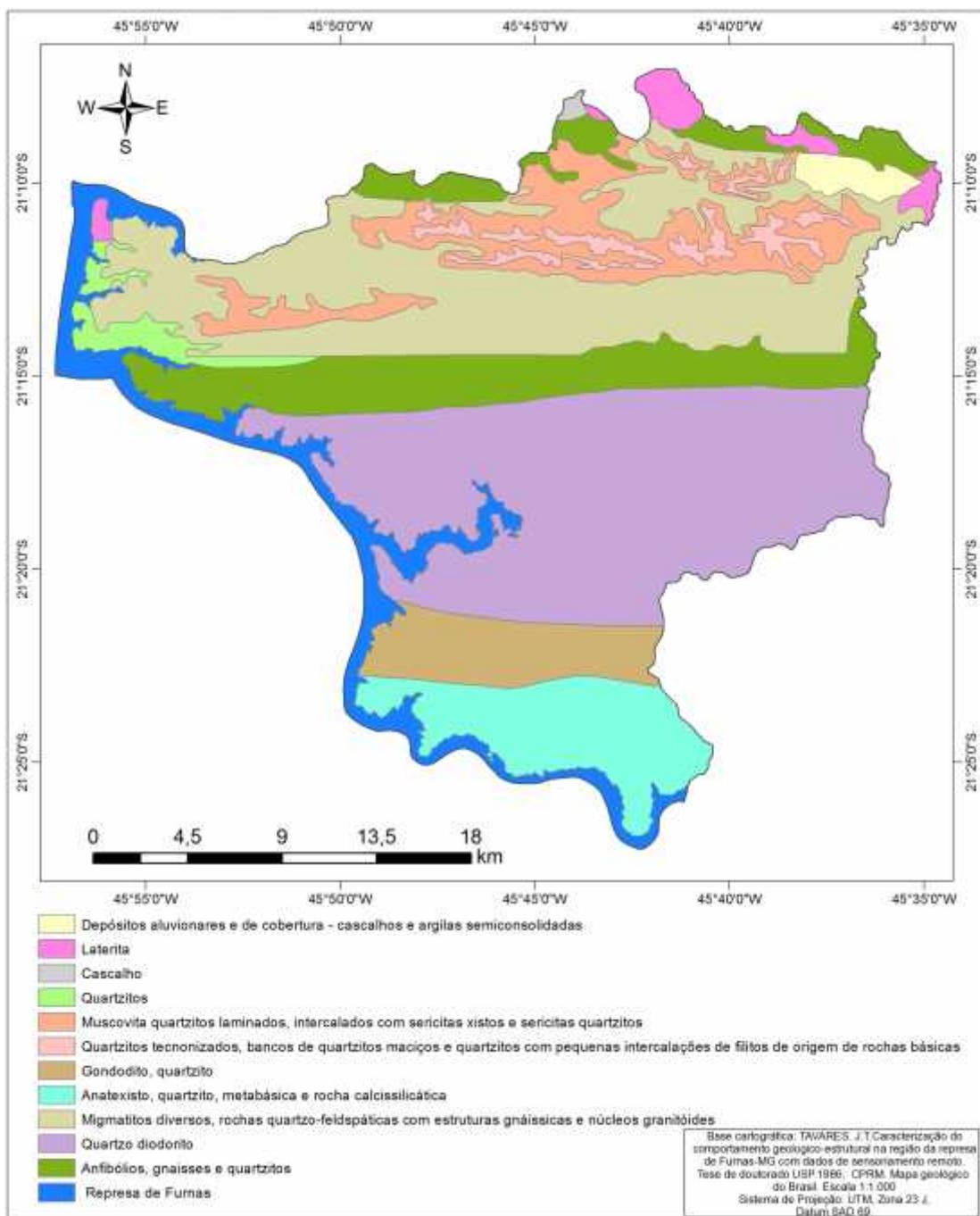


Figura 19 – Litologia do município de Campos Gerais – MG.

6.5 Mapa pedológico

O Mapa Pedológico do município de Campos Gerais (Figura 20) mostra uma configuração da repartição espacial dos solos que demonstra uma perfeita adaptação às características geológicas do município.

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

Ao contrário, as áreas de relevos colinares, sustentados por rochas predominantemente ígneas, com destaque para as rochas de caráter especialmente máfico, exibem coberturas de Latossolos vermelho escuros, predominantemente, o que permitiu a exploração do território agrícola pela cafeicultura. Esses são solos profundos, homogêneos, com alto teor de óxido de ferro e alumínio, distróficos, álicos, baixa CTC, baixa reserva de nutrientes, adensamento e baixo armazenamento de água. Os Latossolos ocupam 47,93% da área do município (Tabela 5).

A EMBRAPA define os solos dessa classe como não-hidromórficos, com horizonte A moderado e horizonte B latossólico, de textura argilosa ou média, rico em sesquióxidos. São muito porosos, bastante permeáveis e fortemente drenados. São solos espessos, com fraca distinção entre os horizontes, pouco férteis e com evolução antiga.

O Latossolo Vermelho Escuro pode se originar de uma grande variedade de materiais de origem e por isso é muito variável quanto à fertilidade e à textura. É também bastante utilizado agricolamente, particularmente pela facilidade de mecanização.

As baixadas úmidas, correspondentes aos fundos de vales mais extensos apresentam, uma predominância de Gleissolos, e ocupam uma área de aproximadamente 26,1km². As baixadas acabam sendo dedicadas a extensões de pastos úmidos.

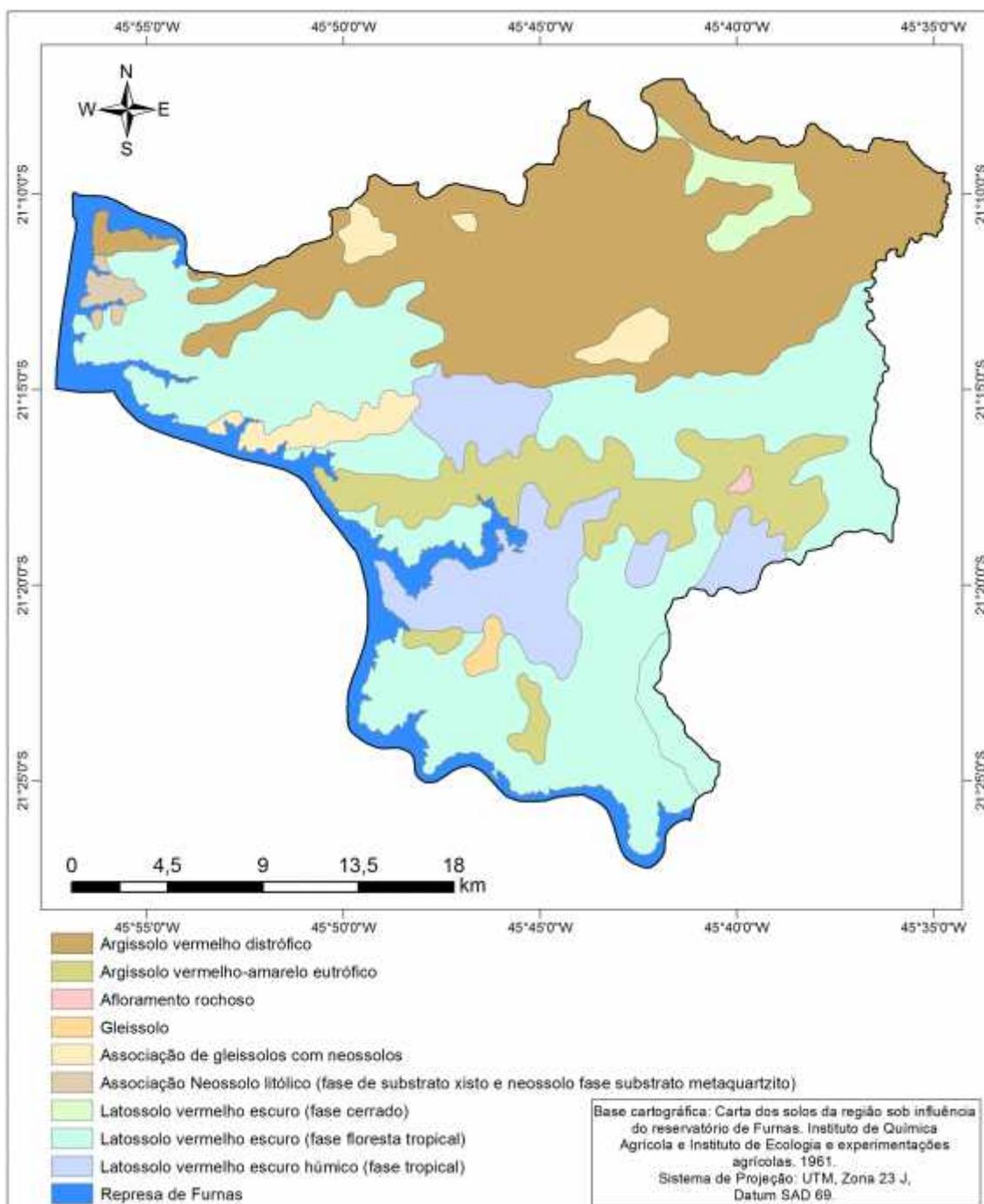


Figura 20 – Mapa pedológico do município de Campos Gerais – MG.

Tabela 5 – Área das classes de solo por km² e por proporções percentuais da área total.

Solos		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
Latossolo vermelho escuro (fase floresta tropical)	275,86	36,88
Latossolo vermelho escuro (fase cerrado)	13,17	1,76
Latossolo vermelho escuro húmico (fase tropical)	69,47	9,29
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	70,7	9,45
Argissolo vermelho distrófico	233,9	31,29
Associação Neossololítico (fase de substrato xisto e neossolo fase substrato metaquartzito)	4,46	0,60
Associação de gleissolos com neossolos	23,37	3,12
Gleissolo	2,73	0,36
Afloramento rochoso	0,77	0,10
Represa de Furnas	53,48	7,15
TOTAL	747,90	100,00

6.6 Mapa de Uso do solo e cobertura vegetal

A vegetação assume papel intrínseco na conservação dos solos à medida que uma grande parte da água da chuva fica retida nas copas e folhas das árvores, evitando que a água caia diretamente no solo, possibilitando uma infiltração mais lenta nas camadas subsuperficiais, reduzindo o risco do escoamento concentrado na superfície.

Contudo, de acordo com o mapa de uso do solo e cobertura vegetal (Figura 21), apenas 8,44% (Tabela 6) do território do município de Campos Gerais ainda são cobertos por remanescentes Florestais. Em contrapartida, as áreas destinadas às atividades agropastoris – pastagem, cultura temporária, café e solo exposto - representam aproximadamente 82% da área do município (Tabela 6 e Figura 21).

As manchas urbanas, que correspondem ao núcleo urbano de Campos Gerais, ao núcleo urbano do distrito de Córrego do Ouro e às sedes rurais e chácaras, ocupam uma área de 30,36km², perfazendo 4,06% da área do município (Tabela 6).

Já os corpos hídricos, representado principalmente pela represa de furnas, cobrem uma área de 38,73km². Contudo, vale ressaltar que o mapa de uso da terra foi gerado a partir de uma imagem captada no ano de 2014, ano este de grande estiagem, e que por isso refletiu em uma menor área ocupada pela represa de furnas, que em condições normais ocupa uma área de aproximadamente 53,48km², conforme apresentado pelo ASTER GDEM do ano de 2011.

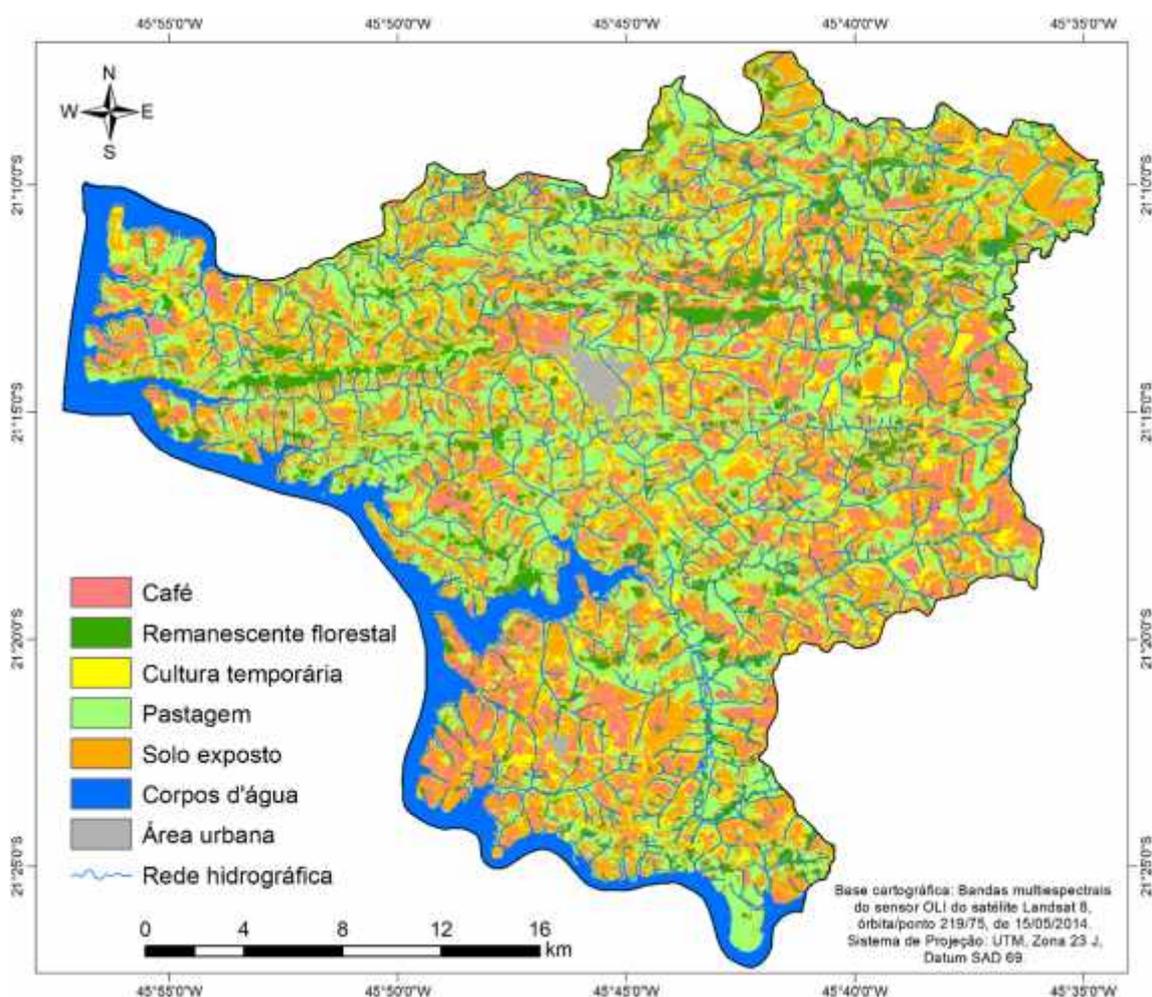


Figura 21 – Mapa uso do solo e cobertura vegetal do município de Campos Gerais – MG.

Tabela 6 – Área das classes de uso do solo e cobertura vegetal por km² e por proporções percentuais da área total

Fragilidade Ambiental Emergente		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
Área urbana	30,36	4,06
Pastagem	234,67	31,38
Solo exposto	215,44	28,81
Café	105,74	14,14
Cultura temporária	59,84	8,00
Remanescente florestal	63,09	8,44
Corpos d'água	38,73	5,18
TOTAL	747,87	100,00

As classes café e cultura temporária correspondem às áreas agrícolas apresentam algumas diversidades. Na paisagem atual (Figura 22) é comum encontrar a agricultura familiar de subsistência e lavouras para comercialização (lavouras permanentes, com propriedades de extensão variável, tendo como exemplos de produtos agrícolas, como café, milho e cana de açúcar).



Figura 22- Cultivo Agrícola no município Campos Gerais-MG

As pastagens (Figura 23) são destinadas à pecuária, em que o gado bovino é criado de forma extensiva para as atividades de cria, recria, engorda e leite. A pecuária extensiva demanda maior preocupação em relação ao manejo, devido à pressão no pastejo, que tende a degradar a pastagem e o solo.



Figura 23- Pastagem no município de Campo Gerais- MG

Observa-se no mapa de uso do solo e cobertura vegetal do município de Campos Gerais-MG (Figura 21), sucessões secundárias de vegetação natural. Nesta categoria está incluída a cobertura vegetal natural de porte arbóreo, sendo constituída pela mata fechada, em diferentes estágios (primário ou secundário). As áreas de remanescentes florestais ocorrem principalmente nas áreas de relevo íngremes (Figura 24) e em áreas de fundo de vale, mas grande parte das áreas de mata ciliares estão degradadas.



Figura 24- Fragmentos de mata na Serra do Paraíso

As áreas de solo exposto estão associadas às áreas em pouso ou preparo para cultivos agrícolas, tanto temporários quanto permanentes, como algumas áreas destinadas ao cultivo de café. Comumente estes solos expostos em áreas de declives acentuados, como é o caso da Serra da Fortaleza, estão sujeitos ao desenvolvimento de processos erosivos.

6.7 Mapa de fragilidade potencial

O mapa de Fragilidade Ambiental Potencial (Figura 25) expressa a paisagem do município de Campos Gerais - MG, sem considerar a influência das atividades antrópicas e da cobertura vegetal.

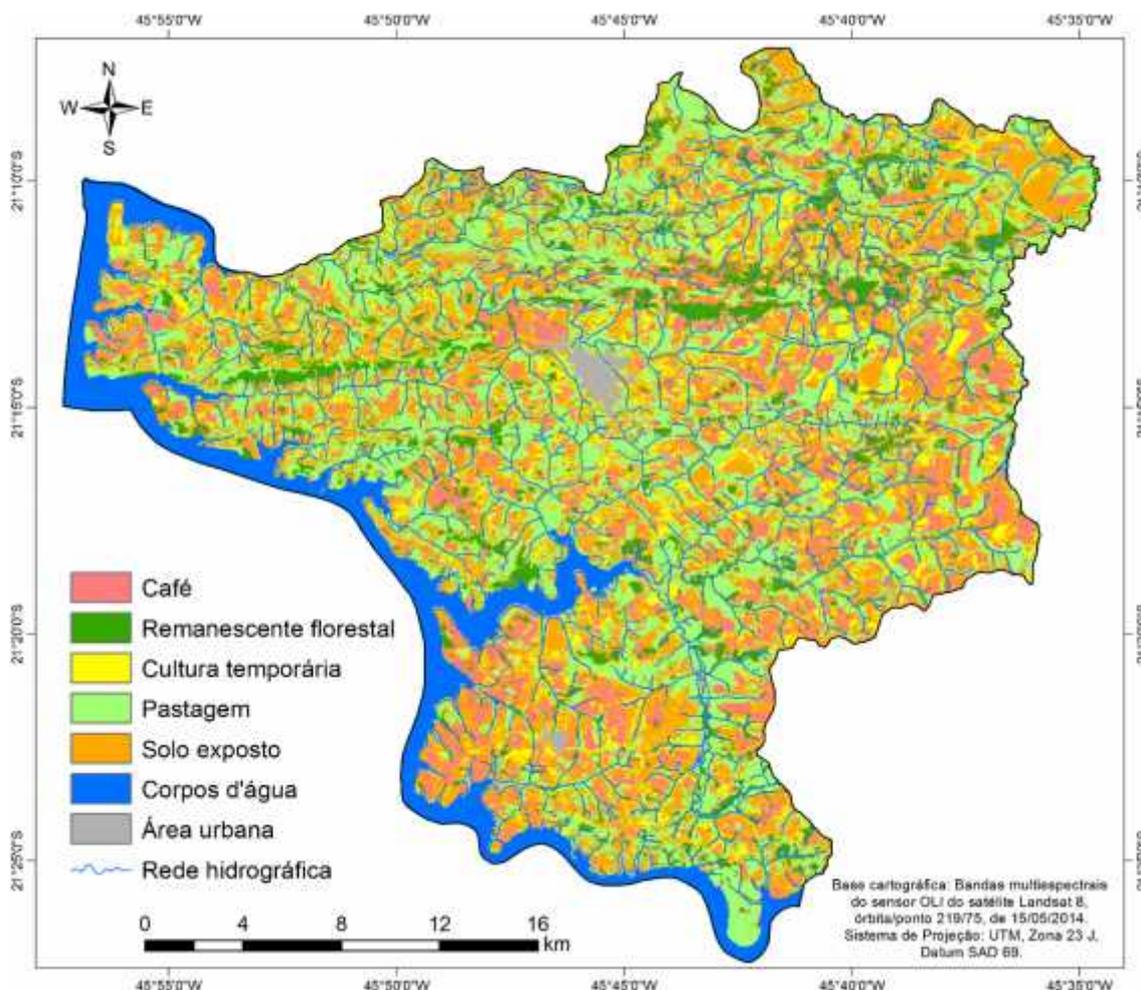


Figura 25 – Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial do município de Campos Gerais – MG.

As classes de fragilidade potencial obtidas foram: muito fraca, fraca, média e forte (Tabela 7), não tendo sido encontrado áreas de fragilidade potencial muito alta.

Tabela 7 – Área das classes de fragilidade ambiental potencial por km² e por proporções percentuais da área total

Fragilidade Ambiental Potencial		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
Muito baixa	71,26	9,58
Baixa	310,72	41,76
Média	293,42	39,43
Alta	68,72	9,24
Muito alta	0,00	0,00
TOTAL	744,12	100,00

De acordo com o mapeamento (Figura 25) e com os dados apresentados na Tabela 7, as áreas classificadas como sendo de fragilidade potencial muito baixa representam 9,58% do município, estão associadas a Latossolos Vermelho Escuro, que apresentam textura argilosa e/ou média, sendo muito porosos, e conseqüentemente, bastante permeáveis e fortemente drenados, desenvolvidos em relevos planos sobre material litológico menos suscetível ao intemperismo. Estas áreas correspondem, principalmente, às planícies aluviais. Estas áreas embora apresentem baixa fragilidade potencial, são reivindicadas pelas águas fluviais nos períodos de cheia.

As áreas de baixa fragilidade potencial cobrem uma área de 310,72km², que representa 41,76% da área do município. Assim como nas áreas de fragilidade potencial muito baixa, as áreas de baixa fragilidade potencial também apresentam forte associação com Latossolos Vermelho Escuro, mas em áreas com declividades entre 6 a 12%, sobre litologia com predomínio de estruturas gnáissicas, granitoides, anateixitos e lateritas, que apresentam boa resistência aos agentes intempéricos. São as áreas mais indicadas a serem utilizadas por atividades agropastoris e expansão urbana.

A classe de fragilidade ambiental potencial média abrange 39,43% da área mapeada, estendendo-se por uma área de 293,42 Km². São áreas que apresentam entre 12 e 20% de declividades, relevo ondulado à colinoso, com predomínio de vertentes convexas, e com predomínio de solos da classe Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico e Argissolo Vermelho distrófico, altamente suscetíveis à ocorrência de processos erosivos. Embora apresentem média fragilidade potencial, as atividades nela desenvolvidas devem ser bem planejadas.

As áreas onde ocorrem as classes de fragilidade ambiental potencial alta estão nas porções mais elevadas da área mapeada onde o relevo tem maior declividade, geralmente com inclinações superiores a 20%, associados com as classes de solo Argissolo vermelho distrófico e afloramentos rochosos. Correspondem a 9,24% da área de estudo, com extensão de 68,72 Km², sendo quase que coincidentes com as serras do Paraíso e da Fortaleza.

6.8 Mapa de fragilidade emergente

A fragilidade ambiental emergente considera a fragilidade potencial acrescida dos elementos humano, que se caracteriza pelas suas intervenções no meio, representadas no mapa de uso do solo e cobertura vegetal (Figura 26). As classes de fragilidade ambiental emergente obtidas foram: muito fraca, fraca, média, alta e muito alta (Tabela 8).

Tabela 8 – Área das classes de fragilidade ambiental emergente por km² e por proporções percentuais da área total

Fragilidade Ambiental Emergente		
Classe	Área (km ²)	Área (%)
Muito baixa	49,73	6,68
Baixa	338,84	45,54
Média	232,09	31,19
Alta	121,47	16,32
Muito alta	1,97	0,26
TOTAL	744,09	100,00

De acordo com Nascimento (2009), o uso da terra e a cobertura vegetal conferem o grau de proteção dos ambientes naturais, desde muito baixa a muito alta, sendo que o muito baixa e baixa são definidos pelo uso excessivo da terra, quer com elementos urbanos, quer com a exposição direta do solo com atividades agropecuárias. O grau alta e muito alta de proteção é atribuído à cobertura vegetal que exerce papel fundamental na preservação dos ambientes naturais à medida que favorece a infiltração das águas da chuva e reduz o risco do escoamento concentrado na superfície.

A classe de fragilidade ambiental emergente muito baixa corresponde às áreas de fragilidade potencial muito baixa cobertas por remanescentes florestais. Esta classe ocupa uma área de 49,73 km², correspondendo a apenas 6,68% da área do município.

A classe de fragilidade ambiental emergente baixa é a de maior abrangência, ocupando uma área de 338,84 km², que perfazem 45,54% do município. Representa as áreas onde há associação de classes de fragilidade ambiental potencial baixa à média com coberturas vegetais tipo pastagem e remanescentes florestais.

Ocupando uma área de 232,09 km², a classe de média fragilidade ambiental emergente diz respeito às áreas que apresentam de baixa à média fragilidade potencial associado a cultivos agrícolas, enquanto que as áreas de alta fragilidade ambiental emergente representam as áreas de alta fragilidade ambiental potencial em associação com áreas de pastagem e remanescente florestais, além de áreas de média fragilidade potencial associadas à solo exposto e manchas urbanas.

Já as áreas de fragilidade ambiental emergente muito alta ocupam apenas 0,26% da área do município, porém, são muito vulneráveis à ocorrência de processos erosivos. Constitui-se por áreas classificadas como sendo de fragilidade potencial muito alta, e que possuem baixa densidade de vegetação, cultivos agrícolas e áreas de solo exposto.

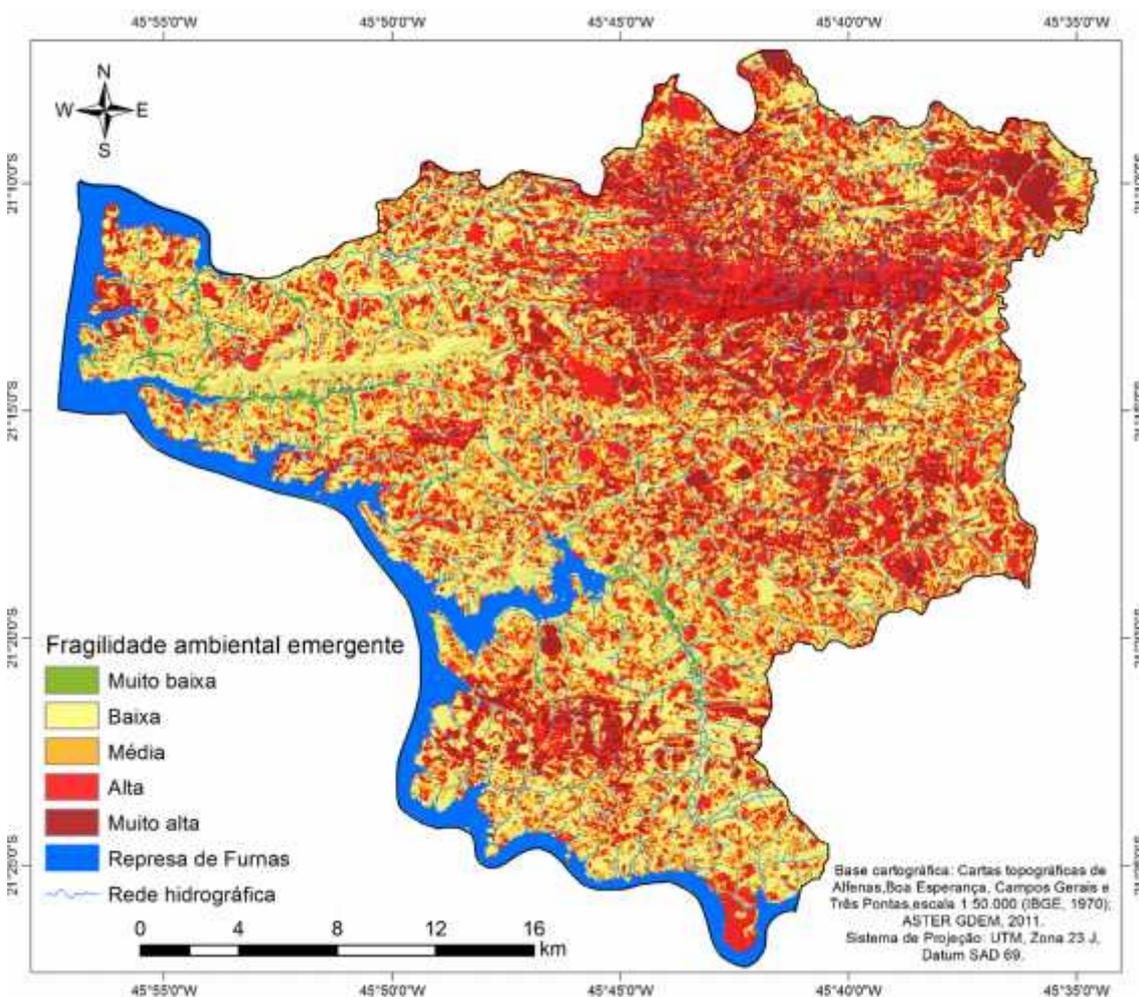


Figura 26 – Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente do município de Campos Gerais – MG.

6.9 Processos erosivos e movimentos de massa

Com a finalidade de se constatar a eficácia do mapa de fragilidade ambiental, mapearam-se os processos erosivos e a áreas de pequenos escorregamentos alargadas devido a processos erosivos consecutivos, os quais ocorrem no município de Campos Gerais. Neste sentido, autores afirmam que, imagens disponível no Google Earth, possibilitam o mapeamento de processos erosivos e movimentos de massa de maneira eficaz por inúmeros fatores, entre eles a gratuidade das imagens, alta resolução espacial e a possibilidade de visualização do relevo em perspectiva 3D (GARÓFALO *et. al.*, 2013; MESSIAS *et. al.*, 2013).

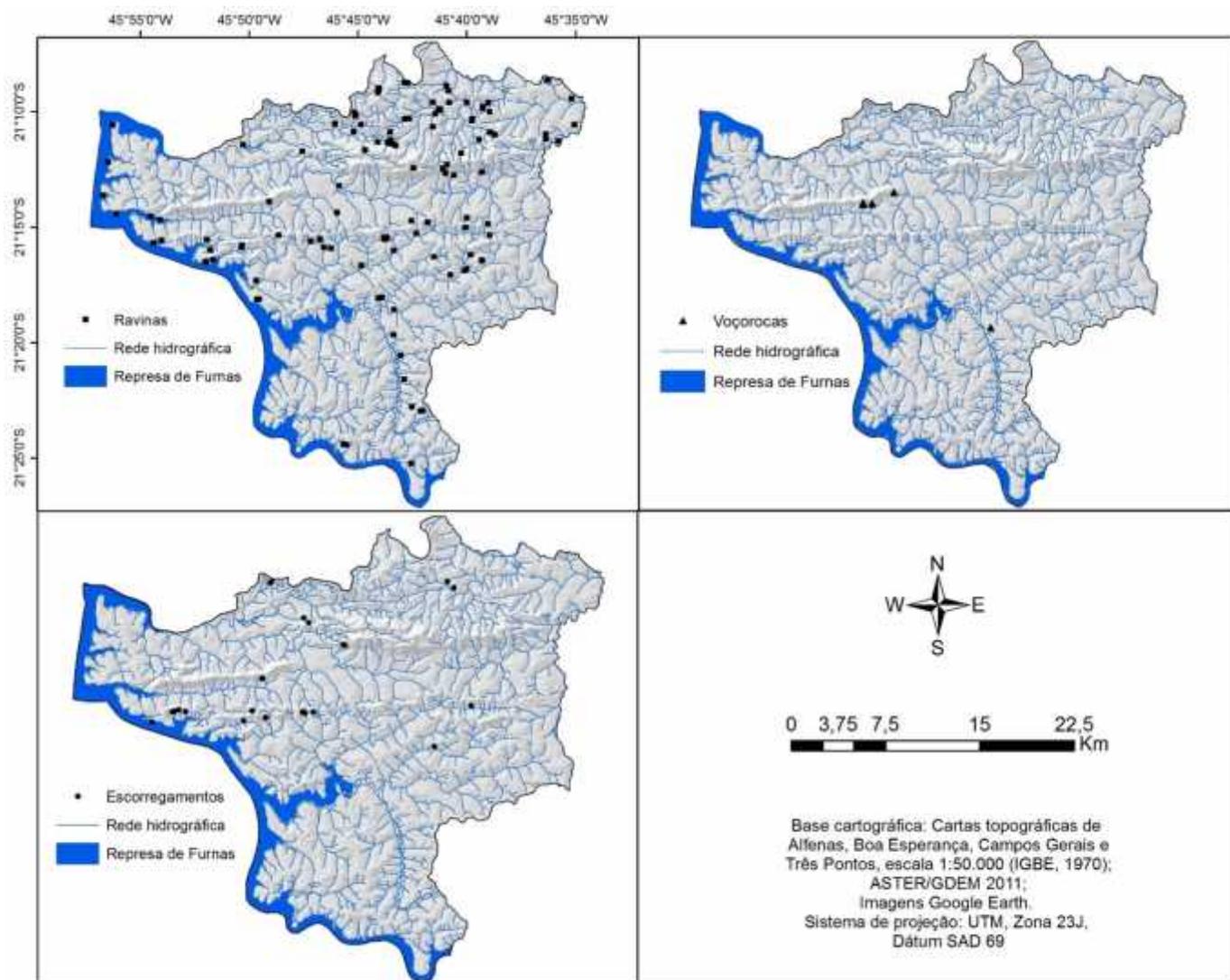
No software Google Earth, visualizou-se toda a área do município, utilizando grades de coordenadas. Identificaram-se dois tipo de processos erosivos, ravinas e voçorocas, e um tipo de movimento de massa, os escorregamentos (Figura 27). Os processos foram pontuados utilizando marcadores e exportados em formato *kml*, posteriormente, foram importados no ArcMaps 10,1, onde foram convertidos em formado *shapefile*.



Figura 27 – Chaves de interpretação para o mapeamento de processos erosivos e movimentos de massa

Identificaram-se 154 processos erosivos e movimentos de massa, sendo eles: 125 ravinas, 4 voçorocas e 25 escorregamentos (Figura 28). Pode-se observar que, a distribuição destes eventos, ocorre de forma irregular pela área de estudo, concentrando-se especificamente em certas regiões, conforme características locais. Desta forma, há uma heterogeneidade espacial na distribuição de processos erosivos e movimentos de massa.

Figura 28 – Processos erosivos e movimentos de massa identificados no município de Campos Gerais.



As ravinas (Figura 29), constituindo-se como os processos predominantes na área de estudo, são feições lineares, formadas a partir do escoamento superficial da água, formando *clusters* nordeste e central da área estudada, mas ocorrendo também em pontos isolados. Grande parte delas estão associadas a médias e altas declividades, sendo locais onde ocorrem relevos montanhosos e fortemente inclinados. O uso de pastagem é o principal influenciador na evolução destes processos, tendo o pisoteio do gado intensifica os processos. Além disso, visualizam-se ravinamentos também em áreas de solo exposto, bordas de cultivos agrícolas diversos e solos preparados para o cultivo. Pode-se observar ainda, grande número de ravinas associadas às bordas do lago de Furnas, o que está ligado à elevação e rebaixamento do nível da água, deixando o solo úmido seco e úmido em diferentes épocas do ano.



Figura 29 – Ravinas, em meio a plantações, devido ao escoamento superficial.

As voçorocas (Figura 30) são processos pouco expressivos, mas sua ocorrência é de grande intensidade. A noroeste da área trabalhada foram mapeados três processos, os quais ocorrem em declividades elevadas, em relevo fortemente inclinado. Com relação ao substrato geológico, tem-se muscovita quartzos laminados, intercalados com sericitas xistos e sericitas quartzos, sendo visível que há uma falha geológica neste local, associada à formação de relevos montanhosos e drenagens lineares. Esta voçoroca ocorre ainda em latossolo vermelho-escuro, em

locais em que houve alguma perturbação na vegetação densa existente no entorno. Outra voçoroca, de magnitude inferior às duas outras observadas, foi encontrada na região central. Está localizada em baixa declividade, relevo ondulado a colinoso, quartzo diodorito, Latossolo vermelho escuro úmico e está associada a uma área de cultivo de café.

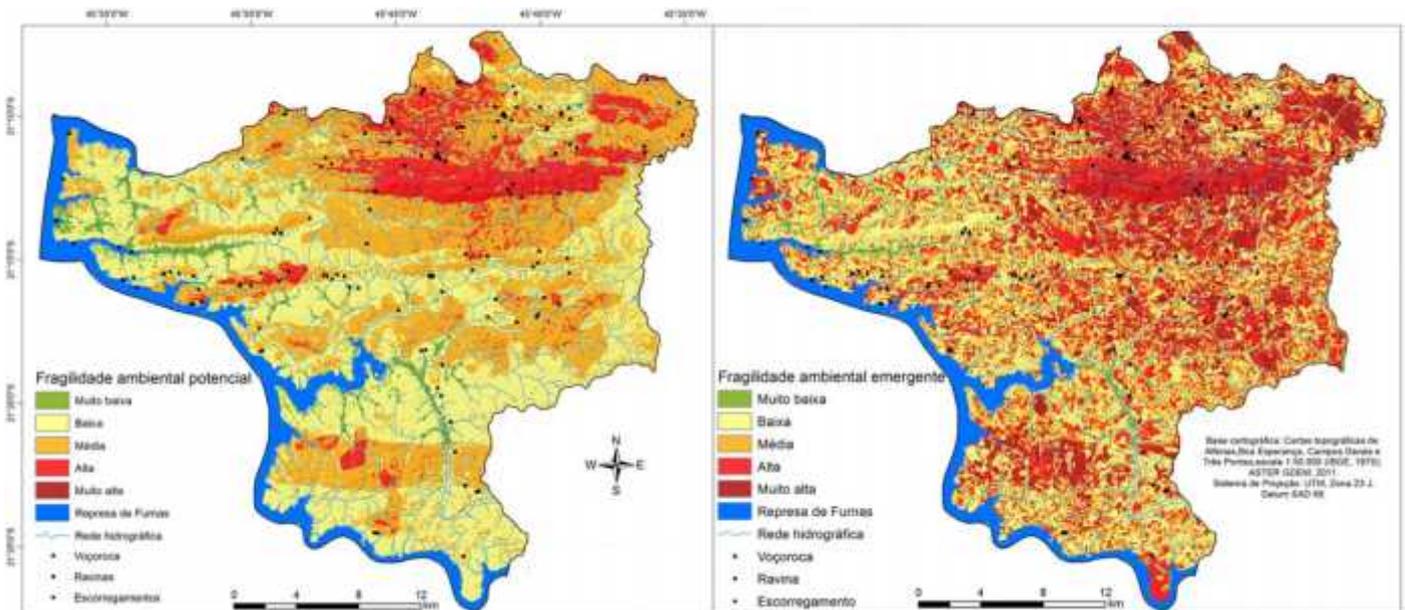


Figura 30 – Voçoroca localizada na Serra da Fortaleza.

Por fim, verificou-se que há expressividade na ocorrência de movimentos de massa, como escorregamentos. Estes estão localizados nas áreas ao norte do município, concentrando-se em zonas de declividade acentuada, onde formam relevos montanhosos ou fortemente inclinados. Maior parte ocorrem em argissolos e coberturas de laterita e muscovita quartzos laminados. O uso do solo predominantes é de pastagens, mas há também cicatrizes em locais de vegetação densa em declives muito acentuados.

A localização espacial dos processos erosivos e movimentos de massa nos levam a inferir a confiabilidade do mapeamento da fragilidade ambiental no município de Campos Gerais, a partir da associação dos dois mapas (Figura 31).

Figura 31 – Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente, associado aos processos erosivos e movimentos de massa localizados no município de Campos Gerais – MG.



Com relação à fragilidade potencial, os processos erosivos e movimentos de massa se localizam, predominantemente, em áreas de médio a alto graus. Constatase que, como a vegetação é um fator preponderante para a proteção dos solos, o mapa não se faz suficiente para explicar a formação e evolução destes eventos no espaço. No entanto, leva-nos a pensar quais seriam as áreas mais e menos frágeis, caso o homem não houvesse influenciado o ambiente natural.

Desta forma, associando-se o mapa de fragilidade potencial, ao uso do solo e cobertura vegetal, tem-se a fragilidade emergente, a qual considera as alterações do homem no espaço. Pode-se constatar que este mapa explica a evolução de processos erosivos e movimentos de massa, sendo que os eventos se concentram em áreas de fragilidade forte. Isto ocorre tanto nas áreas de concentração de processos, a nordeste e noroeste, como em pontos isolados de ocorrência, onde ocorrem pontos isolados também de grau de fragilidade forte.

Desta forma, o mapa de fragilidade ambiental emergente se mostrou eficiente na caracterização de diferentes graus de risco à erosão, já que os processos erosivos e movimentos de massa estão concentrados em áreas de fragilidade alta. O município de Campos Gerais apresenta alta variabilidade em suas características

geoambientais, o leva a uma distribuição desigual de processos erosivos, assim como graus de fragilidade ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo e mapeamento da fragilidade ambiental do município de Campos Gerais - MG teve o intuito de contribuir para o conhecimento da realidade ambiental da área e, neste sentido, auxiliar a possível implantação de políticas públicas mais consistentes com a sua realidade, na medida em que apresenta e analisa os locais de menor e maior grau de fragilidade ambiental dessa região.

A metodologia do mapeamento da fragilidade ambiental a processos erosivos proposta por Ross (1994), empregada no presente trabalho de pesquisa, demonstrou-se satisfatória, pois foi possível mapear e analisar os diversos graus de fragilidade ambiental potencial e emergente encontrados no município de Campos Gerais - MG considerando tanto os aspectos físicos quanto a ação antrópica.

Os resultados obtidos apontaram que grande parte do município de Campos Gerais se encontra em áreas de baixa e média fragilidade potencial. A baixa apresenta forte associação com latossolos vermelho escuro, em áreas com declividades entre 6 a 12%, sobre litologia com predomínio de estruturas gnáissicas, granitoides, anatexistos e lateritas, que apresentam boa resistência aos agentes intempéricos. São as áreas mais indicadas a serem utilizadas por atividades agropastoris e expansão urbana.

A classe de fragilidade ambiental potencial média abrange 39,43% da área mapeada e são áreas que apresentam entre 12 e 20% de declividades, relevo ondulado à colinoso, com predomínio de vertentes convexas, e com predomínio de solos da classe Argissolo vermelho-amarelo eutrófico e Argissolo vermelho distrófico, suscetíveis à ocorrência de processos erosivos.

Ainda, a fragilidade ambiental emergente, que também foi mapeada, na qual considera a fragilidade potencial acrescida dos elementos humanos, se caracteriza pelas suas intervenções no meio, representadas no mapa de uso da terra e cobertura vegetal. Ocupando uma área de 232,09 km², a classe de média fragilidade ambiental emergente diz respeito às áreas que apresentam de baixa à média fragilidade potencial associado a cultivos agrícolas, enquanto que as áreas de alta

fragilidade ambiental emergente representam as áreas de alta fragilidade ambiental potencial em associação com áreas de pastagem e remanescente florestais, além de áreas de média fragilidade potencial associadas ao solo exposto e manchas urbanas.

O mapeamento dos processos erosivos e de pequenos escorregamentos aumentados devido a processos erosivos consecutivos, constatou a eficácia do mapa de fragilidade ambiental, onde nas as áreas de maiores fragilidades, encontraram tais processos.

Entretanto é evidente que esta pesquisa não deve ser usada como único referencial para as ações de controle ambiental a serem utilizadas para o correto manejo ambiental, tendo em vista que este gerenciamento implica em análises muito mais complexas e elaboradas. Nesse sentido, cabe salientar que, além dos dados produzidos por essa pesquisa, são necessárias outras pesquisas complementares que englobem outros focos de atuação na linha ambiental como, por exemplo, pesquisas que considerem os aspectos socioeconômicos, culturais e educacionais, visto que estes apresentam relação com a intensidade de consumo, maior ou menor grau de consciência.

Referências Bibliográficas

Ab' Saber, A.N. (1975) **O Domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras**. Geomorfologia. 43: 1-3.

ALUNOS ONLINE. Disponível em:
<http://www.alunosonline.com.br/geografia/erosao.html>. Acesso em: 18/09/2014.

ARCHELA, R. S. **Imagem e representação gráfica**. In: **Geografia – Revista do Departamento de Geociências**. Londrina: UEL, v.8, n.1, p.5-11, jan./ jun. 1999. 6p

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7ª Ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 pag.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, 2003.

BRADY, N.C.; **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878 p

CABRAL, J. B. P.; ROCHA, I. R.; MARTINS, A. P.; ASSUNÇÃO, H. F.; BECEGATO, V. A. **Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO): utilizando técnicas de geoprocessamento**". *GeoFocus*, nº 11, p. 51-69, 2011.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Livro on-line. 2004. Disponível em
 <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em 15 de abril de 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher LTDA., 1999. 236 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G; DUARTE, V.;

CREPANI, E; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.;

CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F; RODRIGUES, S. C. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 62/03, p. 505-516, 2010.

DAEE. Controle de erosão: bases conceituais técnicas; diretrizes para o planejamento urbano; regional e orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1989.

DEMEK, J. Generalization of geomorphological maps. In: DEMK, J (Ed.) **Progress made in geomorphology mapping**. Brno, IGU. Commission on Applied Geomorphology, 1967, p. 36-72.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. de P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. In.: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 10, n. 1, Campina Grande, UFCG, 2006.

DUARTE, P. A. **Cartografia Temática**. Florianópolis: UFSC, 1991. 145p.

EDITORA DO BRASIL. Disponível em:

http://editoradobrasil.com.br/portal_educacional/fundamental2/projeto_apoema/oed/geografia/geografia6_objeto3/inicio.html. Acesso em: 20/09/2014

EMBRAPA SOLOS. **Relatório técnico e plano de monitoramento do Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro, 2002.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M.; ZENY, A. S. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 1984. 396p.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1996.

FERREIRA, Conceição C.; SIMÕES, Nataércia N. **A evolução do pensamento geográfico**. Lisboa: Gradiva, 1986.

FLORENZANO, T & BARBOSA, C. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico- Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2000.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; NÓBREGA, R. S.; DUARTE, C. C. O papel do clima nos estudos de prevenção e diagnóstico de riscos geomorfológicos em bacias hidrográficas na Zona da Mata Sul de Pernambuco. In.: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; CUMELLO, E.; VITORINO, A. C. T.; ARAI, F. K. **Determinação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas**. Floresta, v. 41, n. 4, p. 797 - 808, 2011.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In.: GUERRA, C.J.T.; SILVA, A.S; BOTELHO, R.G.M (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações** – 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1999.

GUERRA, A. J. T. **Processos erosivos nas encostas**. In.: GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos** – 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2012.

GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S. N.; FERNANDES, N. F. Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n 1, p. 190-198, março de 2009.

INPE. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2a. Edição - Revisada e Ampliada São José dos Campos- SP, 1998.

JOURNAUXS, A. (Dir.). **Cartographie intégrée de l'environnement: un outil pour la recherche et pour l'aménagement**. Paris: UNESCO, 1985, 55 p.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. M.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2203-2210.

LOUREIRO, H. A. S.; FERREIRA, S. M. **O papel das Geotecnologias no estudo de feições erosivas e movimentos de massa no Brasil**. In.: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs). Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. São Paulo: Oficina de textos, 2013. Pág. 95-125.

MARTINELLI, M. Cartografia ambiental: uma cartografia diferente? **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: USP, N.7, p. 61-80, 1994.

MARTINELLI, M. **Curso de Cartografia temática**. São Paulo. Contexto, 1991, 136

MARTINI, L. C. P.; UBERATI, A. A. A.; SCHEIBE, L. F.; COMIN, J. J.; OLIVEIRA, M. A. T. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. **Geol. USP**, v.6, n.1, 2006.

MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M.; RIBEIRO, M. B. P.; MENEZES, M. D. Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da hidrelétrica do Funil –MG. **Revista GeoNorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.112 – 125, 2012.

MONTEIRO, C.A.F. **Qualidade Ambiental na Bahia: Recôncavo e regiões limítrofes**. Salvador: CEI, 1987, 48 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto** e MORGAN, R.P.C. Soil Erosion and Conservation. Hong Kong: Longman Group UK Limited, 1986. 298 p.

MUNICÍPIO DE SANTA MARIA – RS. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFSM, RS). Santa Maria, 2009.

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

NOVO, E.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Edgard BlücherLtda, 1992, 308 p.

OLIVEIRA, G. O.; BACANI, V. M.; SILVA, V. R.; CUNHA, E. R.; FERREIRA, E. M. Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego São João-MS, utilizando geoprocessamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 64/1, p. 15-24, 2012.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In.: GUERRA, C.J.T.; SILVA, A.S; BOTELHO, R.G.M (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações – 3ª ed.** Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1999.

PEREIRA, R. V. **Diagnóstico Físico-Ambiental do Município de Campos Gerais – MG, A Partir da Elaboração de Mapas Temáticos.** Relatório Final apresentado à Pró-Reitoria de Pós-graduação e Pesquisa, por exigência do término da Bolsa de Iniciação Científica, referente ao período de agosto de 2009 a julho de 2010.

Plano Diretor Participativo do Município de Campos Gerais – MG. Campos Gerais: UFMG, 2006.

RAISZ, E. **Cartografia Geral.** Rio de Janeiro. Científica, 1969. 414 p.

RAMOS, Cristhiane da Silva. **Visualização cartográfica e cartografia multimídia: Conceitos e tecnologias.** São Paulo, Unesp, 2005.

ROCHA, Cezar H. B., **Geoprocessamento: Teconologia transdisciplinar – Juiz de Fora, MG: Ed do Autor, 2000.**

ROSA, R..**Metodologia para zoneamento de bacias hidrograficas utilizando produtos de sensoriamento remoto e integrados por sistema de informacaogeografica.** In: CD-ROM do VIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto , 1996, Salvador. São José dos Campos: INPE, 1996.

ROSS, J. L. S O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6, 1992. ROSS, J. L. S. (org). **Geografia do Brasil.** São Paulo: Edusp, 1995.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia n°8, FFLCH-USP,** São Paulo, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento – 9ª ed..** São Paulo: Contexto, 2012. 89 p.

SANCHEZ, M.C. **Conteúdo e eficácia da imagem gráfica.** Boletim de Geografia Teórica. Rio Claro. V.11, N.(21-22), p. 74-81, 1981.

SANTORO, J. **Erosão continental.** In.: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J.; AMARAL, R. Do (Orgs). Destrares Naturais: conhecer e prevenir – 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012.

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; ZRINIVASAN, V. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.92-96, 2000.

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

SOUSA, M. C. S. **As propostas metodológicas para a cartografia ambiental: uma revisão.** 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos.** In.: GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 15, pp.39-49, 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro, IBGE/ SUPREN, 1977.

VERSTAPPEN, H. Th. ZUIDAM, R. A. van. ITC System of Geomorphological Survey. Dutchland: Enschede Textbook ITC, 49 p, 1975.