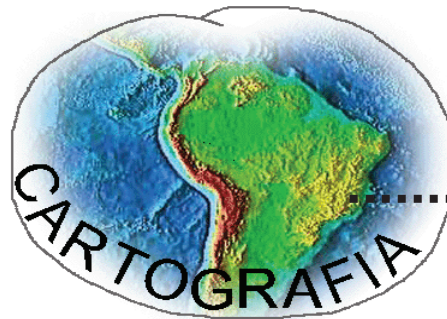


Darcy José dos Santos

Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental  
das Áreas Cársticas da Região entre os  
Municípios de Lagoa Santa e Monjolos –  
MG

Curso de Especialização em  
Geoprocessamento



UFMG

Instituto de Geociências

Departamento de Cartografia

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha

Belo Horizonte

[cartografia@igc.ufmg.br](mailto:cartografia@igc.ufmg.br)

**Darcy José dos Santos**

**Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental das Áreas Cársticas da Região entre os Municípios de Lagoa Santa e Monjolos – MG**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Úrsula Ruchkys de Azevedo

Belo Horizonte

2013

S237a Santos, Darcy José dos.  
2013 Avaliação da vulnerabilidade ambiental das áreas cársticas da região entre os municípios de Lagoa Santa e Monjolos – MG [manuscrito] / Darcy José dos Santos. – 2013.  
vii, 30 f. : il. (color.)

Monografia (especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2013.

Orientadora: Úrsula Ruchkys de Azevedo.

Bibliografia: f. 27-30.

1. Patrimônio geológico. 2. Carste – Minas Gerais. 3. Espeleologia. I. Azevedo, Úrsula Ruchkys de. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551.44

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Professora Úrsula Ruchkys de Azevedo pela confiança depositada e pelo trabalho dedicado à orientação desta monografia;

Aos colegas Mauro Gomes e Débora Jansen, pelo estímulo e por todo o apoio expresso em inúmeras horas de campo, revisões no texto e na metodologia, imprescindíveis para realização deste trabalho;

À equipe do CECAV, em especial ao Jocy Cruz, pelo apoio;

A toda equipe da especialização, pela troca de conhecimento;

Ao professor Luiz Eduardo Panisset Travassos, pelos produtivos dias de aprofundamento sobre o carste;

Aos colegas da especialização, em especial à Flávia e ao Eduardo, pelas trocas de experiência;

À minha família, particularmente aos meus pais e ao Edilson, pelo apoio e estímulo.



Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Geociências

Departamento de Cartografia

Curso de Especialização em Geoprocessamento

Aluno: Darcy José dos Santos

Monografia defendida e aprovada em 05 de dezembro de 2013 pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Profa. Dra. Úrsula Ruchkys de Azevedo – IGC/UFMG - Orientadora

---

Profa. Dra. Maria Márcia Magela Machado – IGC/UFMG

## RESUMO

Este trabalho apresenta proposta de avaliação da vulnerabilidade ambiental do patrimônio espeleológico, inserindo-se no Plano de Ação Nacional (PAN) para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco, instituído pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Para o mapeamento da vulnerabilidade foi utilizada metodologia de análise multicritérios, equacionando variáveis naturais (geologia, geomorfologia, pedologia, clima, potencial de ocorrência de cavernas) e antrópicas (uso do solo e cobertura vegetal). Foram gerados um mapa da vulnerabilidade natural e outro da vulnerabilidade ambiental, identificando as áreas onde o patrimônio espeleológico encontra-se mais vulnerável. Foram propostas ações para conservação deste patrimônio, onde este se encontra mais vulnerável.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa com a localização das nove áreas propostas para avaliação da vulnerabilidade ambiental na bacia do São Francisco	8
Figura 2 - Mapa dos níveis de elevação do terreno da Área 9 - Lagoa Santa – Monjolos / MG	10
Figura 3 - Gráfico da tendência populacional na área 9	10
Figura 4: Mapa da distribuição da população entre os municípios que compõem a Área 9 - Lagoa Santa – Monjolos	11
Figura 5- População residente na área de estudo, no ano de 2010	12
Figura 6: Estrutura metodológica para determinação da vulnerabilidade natural	14
Figura 7: Mapas das variáveis utilizadas para avaliação da vulnerabilidade natural ambiental: geologia, pedologia, geomorfologia, clima e potencial de ocorrência de cavernas	15
Figura 8: Unidades geológicas e litotipos presentes na área 9 – Lagoa Santa - Monjolos	16
Figura 9: Tipos de solos encontrados na área 9 e respectivas notas atribuídas à vulnerabilidade	17
Figura 10: Índices de Concentração da Rugosidade e respectivas notas de vulnerabilidade	18
Figura 11: Dados de intensidade pluviométrica da área 9 e respectivas notas para a vulnerabilidade	18
Figura 12: Potencial para ocorrência de cavernas e respectivas notas atribuídas à vulnerabilidade associada	19
Figura 13 – Contribuição das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Natural.	19
Figura 14: Fluxograma com a estrutura do mapa de uso do solo e da cobertura vegetal.	20
Figura 15- Valores de classificação da vulnerabilidade da variável uso do solo e cobertura vegetal.	21
Figura 16: Mapa da classificação do Uso do Solo e Cobertura Vegetal da Área 9 - Lagoa Santa – Monjolos.	22
Figura 17: Contribuição das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Ambiental	23
Figura 18: Fluxograma com a estrutura do mapa de vulnerabilidade ambiental.	23
Figura 19 – Mapas de vulnerabilidade natural e ambiental da área 9	24

## LISTA DE SIGLAS

AHP – Análise Hierárquica de Pesos

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Área de Proteção Ambiental

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COST - European Cooperation in Science and Technology

CPRM/SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

ICR – Índice de Concentração da Rugosidade

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais

IP – Intensidade Pluviométrica

IPEADATA – Base de Dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

GEOMINAS- Programa Integrado de Uso da Tecnologia de Geoprocessamento pelos órgãos do Estado de Minas Gerais

GPS - Geographical Positioning System

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PAN – Plano de Ação Nacional

PARNA – Parque Nacional

PNCPE – Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

UTM – Universal Transversa de Mercator



## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
2.1 - Patrimônio Espeleológico e sua proteção .....	4
2.2 – O Uso das Geotecnologias para Determinação da Vulnerabilidade .....	5
3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	8
4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
4. 1 - Materiais.....	13
4.2– Métodos.....	14
4.2.1 - Metodologia para Determinação da Vulnerabilidade Natural.....	14
4.2. 2 - Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal .....	20
4.2.3 – Metodologia para Determinação da Vulnerabilidade Ambiental .....	23
5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	23
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	26
BIBLIOGRAFIA .....	27

## 1 - INTRODUÇÃO

Estudos apontam que entre 10 a 15% da superfície terrestre seja constituída por rochas carstificáveis, especialmente rochas carbonáticas como calcários e dolomitos. Esta forma de relevo se desenvolve por processos hidrogeoquímicos. A água acidulada pelo CO<sub>2</sub>, proveniente da atmosfera ou da decomposição de matéria orgânica presente no solo, corrói a rocha carbonática condicionando processos morfogênicos formadores deste tipo de relevo (Travassos, 2010).

O termo *Karst* tem sua origem na região do planalto de Kras, área de ocorrência de rochas carbonáticas, entre a Eslovênia e a Itália. A partir de 1840, estudos científicos passam a incorporar o termo karst para identificar um tipo específico de relevo (Travassos, 2010). Posteriormente, o termo passou a ser usado internacionalmente para designar regiões com elementos semelhantes. O carste tem, entre outras características, a ausência de rios superficiais, uma vez que grande parte da drenagem é capturada para condutos subterrâneos, bem como a solubilidade da rocha por água acidificada, que no decorrer do tempo geológico, forma feições como dolinas, uvalas, poljes, lapiás ou *karren*, sumidouros, cavernas e outras (Auler e Piló, 2010).

O sistema cárstico é constituído por três ambientes distintos. Um ambiente externo, exocarste ou carste superficial, cujas formas são determinadas pela ação química da água das chuvas, um ambiente subterrâneo, endocarste, constituído pelas cavernas formadas pela dissolução da rocha pela ação das águas subterrâneas e um terceiro ambiente (epicarste), constituído pela zona de contato entre o solo, quando presente, e a rocha carstificável (Auler e Piló, 2010).

Em relação ao endocarste, estas áreas podem guardar registros paleontológicos e arqueológicos. No Brasil, por exemplo, importantes depósitos fossilíferos localizados nestas áreas, têm sido fundamentais para o estudo sistemático da paleontologia de vertebrados do pleistoceno. Além disto, a presença de registros arqueológicos em cavernas evidencia seu uso pretérito como abrigo, moradia e local de rituais, por comunidades pré-históricas.

Ferreira (2010) aponta que os ambientes subterrâneos são constituídos por uma extensa rede de condutos de diferentes volumes e graus de conectividade. Os condutos mais volumosos podem ser acessados pelo homem. Entretanto, muitos organismos, principalmente invertebrados, podem circular e se estabelecer em espaços menores, não acessíveis ao ser humano, estabelecendo uma série de habitats diferentes.

Devido à importância relacionada aos patrimônios arqueológico, paleontológico, espeleológico, biológico, e a presença de água abundante no sistema cárstico, esta paisagem expõe a necessidade de conciliação entre desenvolvimento econômico, uso dos recursos naturais e conservação ambiental. Uma das questões mais relevantes no carste refere-se ao uso da água, pois este sistema se caracteriza por ser um importante

reservatório de água potável. Estima-se que 25% da população mundial seja abastecida com águas deste tipo de aquífero. Em regiões com extensas áreas cársticas, a água proveniente destes aquíferos é a única fonte de água potável (Travassos, 2010).

O crescimento populacional e econômico exerce forte pressão no uso destes recursos, sobremaneira para construção civil, com a demanda pelo calcário e para agricultura, para o abastecimento dos sistemas de irrigação. No entanto, estes mesmos usos podem trazer consequências desfavoráveis ao meio ambiente e, conseqüentemente, ao próprio ser humano, principalmente com a destruição ou contaminação de mananciais.

A capacidade das regiões cársticas em armazenar água e a vulnerabilidade destes aquíferos para contaminação tem motivado a elaboração de programas e ações de controle, em várias partes do mundo. Dentre os propostos merece destaque a ação nº 620 determinada pela *European Cooperation in Science and Technology – COST* (2004). Esta iniciativa baseou-se na produção de ferramentas capazes de auxiliar no gerenciamento das áreas cársticas levando em consideração, principalmente, a questão hídrica, buscando propor alternativas coerentes para conservação do carste. Além disto, o documento apresenta um panorama da distribuição de rochas calcárias na Europa. Estima-se que 35% das áreas da Europa sejam constituídas por rochas calcárias e, em muitos casos, as águas provenientes do carste são as únicas fontes economicamente viáveis deste recurso. Cidades como Montpellier e Paris, na França, Roma, na Itália e Viena, na Áustria, são dependentes de águas provenientes do carste. Croskrey e Groves (2008) apontam que mais de um milhão de pessoas dependem das águas subterrâneas no estado americano do Kentucky e que, mais da metade deste estado é constituído por rochas calcárias.

Em Minas Gerais, têm sido desenvolvidos alguns estudos visando à análise da vulnerabilidade deste tipo de aquífero, destaca-se o trabalho de Pessoa e Mourão (1988) na região de Lagoa Santa. O estudo estabeleceu a diferenciação dos domínios da área frente ao risco de contaminação, delimitando macrozonas de vulnerabilidade natural dos aquíferos. A partir da análise dos resultados, os autores propuseram diferentes graus de proteção e conseqüentes restrições a certos tipos de uso e ocupação, para cada uma das macrozonas. Assim, estabeleceram um modelo possível de gestão para a área, face à vulnerabilidade do carste.

Em nível nacional, merece destaque o Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco – PAN Cavernas do São Francisco (2009)<sup>1</sup> do Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas - CECAV, que tem como um de seus objetivos a determinação da vulnerabilidade ambiental das áreas cársticas desta bacia por meio do desenvolvimento de metodologia que levou em consideração o patrimônio espeleológico.

---

<sup>1</sup> Plano instituído pela Portaria nº 18, de 17 de fevereiro de 2012, do ICMBio com o objetivo geral de “garantir a conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro, através do seu conhecimento, promoção do seu uso sustentável e redução dos impactos antrópicos, prioritariamente nas áreas cársticas da Bacia do rio São Francisco, nos próximos cinco anos” (art.2º)..

Neste contexto, o presente trabalho tem como principal objetivo mapear e avaliar a vulnerabilidade ambiental de uma destas áreas piloto, denominada Área 9 (abrangendo áreas entre os Municípios de Lagoa Santa e Monjolos), em relação ao patrimônio espeleológico, por meio da metodologia proposta por Jansen (2013), utilizando ferramentas de geoprocessamento.

Os objetivos específicos são: contribuir com a proteção do patrimônio espeleológico da região estudada; e cumprir uma das ações previstas no Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco.

## **2 - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 - Patrimônio Espeleológico e sua proteção**

O patrimônio espeleológico brasileiro é definido pelo Decreto Federal nº 99.556/1990 como “o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais ou a estas associados” (artigo 5º, inciso I). Assim, este patrimônio guarda íntima relação com outras tipologias de patrimônio, em especial o arqueológico e paleontológico. Miranda (2006) salienta que, embora a Constituição Federal tenha sistematizado em capítulos distintos o meio ambiente e o patrimônio cultural, estes compreendem temas indissociáveis no campo do direito. Neste contexto, vários instrumentos legais podem ser utilizados para promover a proteção do patrimônio espeleológico. Estes instrumentos partem do princípio de que as cavidades naturais subterrâneas são consideradas bens da União pela Constituição Federal de 1988 em seu artigo 20, Inciso X.

O Decreto Federal nº 99.556, de 19 de outubro de 1990, estabelece que as cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional fazem parte do patrimônio cultural brasileiro. Em 2004, a Resolução CONAMA nº 347, estabelece a necessidade de licenciamento ambiental para atividades efetiva ou potencialmente lesivas ao patrimônio espeleológico brasileiro ou à sua área de influência. Em 2008, o Decreto Federal nº 6.640 que alterou a redação do Decreto Federal nº 99.556/90, hierarquiza as cavidades naturais subterrâneas em graus de relevância, máximo, alto, médio e baixo, a partir da análise de seus atributos. Estabelece que as cavidades naturais, excetuando-se aquelas de grau máximo de relevância, poderão sofrer impactos irreversíveis, desde que devidamente justificados e compensados em processo de licenciamento ambiental. Em 2009, a Instrução Normativa nº 02, do Ministério do Meio Ambiente, regulamenta o Decreto nº 99.556/90 (e, portanto, o Decreto nº 6640/08). Esta Instrução Normativa estabelece a metodologia para determinação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas.

Ainda em 2009, a Portaria nº 358 do Ministério do Meio Ambiente cria o Programa Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico – PNCPE, com vistas ao desenvolvimento de estratégia nacional para a proteção deste patrimônio. Em fevereiro de 2012, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, institui o Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco – PAN Cavernas do São Francisco, através da Portaria nº 18. Coube ao CECAV, ligado ao ICMBio, a gestão deste Plano de Ação. Entre as várias ações previstas para este PAN, está o monitoramento da vulnerabilidade ambiental de áreas cársticas da bacia. Para tanto, foram escolhidas nove áreas na bacia

e entorno para desenvolvimento de metodologia de avaliação da vulnerabilidade ambiental, relacionada ao patrimônio espeleológico.

O CECAV mantém uma base de dados com o cadastro das cavidades naturais subterrâneas já prospectadas no Brasil. Nesta base de dados estava registrado em setembro de 2013 a ocorrência 12004 cavernas. Destas, 5601 encontram-se na área de abrangência do PAN Cavernas do São Francisco e 1037 delas na área piloto 9. A maior parte destas ocorrências está relacionada aos calcários do Grupo Bambuí, bem distribuídos pela área. Porém, Auler e Piló (2010) apontam que este número representa uma pequena parcela do real potencial do país, para ocorrência dessas cavidades. Estes autores apontam que, aproximadamente, 90% das cavernas conhecidas no mundo ocorrem em rochas carbonáticas. Entretanto, no Brasil, devido a variáveis ainda pouco conhecidas, litologias como arenito, quartzito, minério de ferro e canga têm se mostrado muito susceptíveis à formação de cavidades naturais.

## **2.2 – O Uso das Geotecnologias para Determinação da Vulnerabilidade**

Para Adger (2006) apud Figueiredo (2010), exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta de um sistema são conceitos interligados à definição de vulnerabilidade. A avaliação destes fatores determina o grau de vulnerabilidade do sistema diante de elementos/alterações ambientais. A duração ou extensão do contato entre o sistema e a perturbação é dada pela exposição. A capacidade do sistema em absorver pressões e manter-se inalterado é dada pela sensibilidade. Já a habilidade do sistema em absorver os impactos, ajustando-se às mudanças ambientais é dado pela capacidade adaptativa. Desta forma, quanto maiores forem as pressões e a sensibilidade do meio e menor sua capacidade adaptativa, mais vulnerável será o sistema.

Para Santos (2007), vulnerabilidade está relacionada à resposta do meio diante de uma perturbação. A grandeza dos efeitos resultantes dependerá da interação entre as características locais, naturais e humanas, intrínsecas a cada fração do território e o tipo e magnitude da perturbação sofrida. Aponta ainda que duas outras questões devem ser consideradas para a compreensão de vulnerabilidade: persistência e resiliência. A persistência representa a capacidade do sistema em absorver a perturbação, afastando-se de sua estabilidade ou equilíbrio sem, no entanto, alterar essencialmente seu estado. E a resiliência representa a capacidade do sistema em retornar à sua estabilidade ou equilíbrio, após ter sofrido determinada perturbação. Assim, a vulnerabilidade será mais alta, quanto mais baixas forem a persistência e a resiliência do território

Pesquisas envolvendo a vulnerabilidade ambiental vêm sendo desenvolvidas com uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) que é definido por Teixeira (1997) como a combinação de sistemas computacionais (hardware e software), metodologias, dados e recursos humanos que operam para produção e análise de informações geográficas. Meneses (2003) destaca que a utilização de ferramentas computacionais

propicia executar análises complexas, com a interação de dados de fontes distintas e a criação de banco de dados georreferenciados.

Crepani et al.(2001) desenvolveram trabalho para o zoneamento ecológico-econômico e ordenamento territorial da Amazônia, com a utilização de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. Neste trabalho, propuseram metodologia para elaboração de mapas de vulnerabilidade natural à perda do solo. Para isso, estabeleceram critérios para atribuição de valores, relacionados à vulnerabilidade natural de cada um dos temas, escalonando entre valores de 1 a 3 pontos, do menos ao mais vulnerável. Os temas utilizados para esta definição de vulnerabilidade foram geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso, e intensidade pluviométrica.

Meneses (2003) realizou análise geossistêmica na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa, objetivando subsidiar aos órgãos gestores na tomada de decisões nesta APA, diante de sua realidade de grande vulnerabilidade ambiental. Para realização desta análise, utilizou metodologia de álgebra de mapas para modelagem cartográfica e manipulação de dados espaciais. Para execução da álgebra, dividiu as variáveis em bióticas e abióticas. O primeiro grupo foi constituído por uso do solo e cobertura vegetal e fauna. O segundo grupo compreendeu geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia, hidrografia, hidrogeologia e patrimônio natural (cavernas).

Gomes (2010) desenvolveu proposta metodológica para mapeamento da vulnerabilidade do patrimônio espeleológico, diante dos impactos ambientais. Esta metodologia se baseia na Análise Multicritérios e foi aplicada na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa. Para aplicação da metodologia propôs a utilização de variáveis que apresentassem interface direta com a conservação do patrimônio espeleológico, por isso, foram utilizados dados referentes à geologia, geomorfologia, vulnerabilidade natural de aquíferos, solos, polígonos minerários, uso e ocupação, potencial de ocorrência de cavernas e o zoneamento ambiental da APA.

Jansen (2013) propõe a utilização de um método sistêmico, baseado no conceito de Ecodinâmica de Tricart, para interpretação do ambiente e, conseqüentemente, para determinação de sua vulnerabilidade natural e ambiental, com vistas à proteção do patrimônio espeleológico, frente às intervenções antrópicas. A partir da Termodinâmica, podemos definir sistema como “um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia” (Tricart, 1977). Para Hardt (2008, p. 1295), “o estudo de uma área qualquer sobre a superfície terrestre, elaborado de forma sistêmica, facilita a compreensão do meio, auxiliando na proposta de soluções aos problemas identificados”.

Baseando-se nos trabalhos de Meneses (2003) e Gomes (2010), Jansen (2013) construiu uma proposta metodológica utilizando-se da Análise Hierárquica de Pesos (AHP), outra denominação da chamada análise multicritérios. Em seu trabalho, traçou um panorama detalhado da vulnerabilidade ambiental da Área de Proteção Ambiental (APA) Morro da Pedreira e do Parque Nacional (PARNA) da Serra do Cipó. Organizou as variáveis que compõem a análise hierárquica em dois grupos, denominando-os de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental. O primeiro compreende os elementos

que caracterizam a vulnerabilidade intrínseca do meio, englobando então a geologia, geomorfologia, pluviosidade, solos e potencial de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas. O segundo grupo compreende a resultante do primeiro grupo (vulnerabilidade natural) mais o uso do solo e cobertura vegetal. Assim, a vulnerabilidade natural somada às intervenções antrópicas determinam a vulnerabilidade ambiental.

Importante salientar que a utilização das variáveis não deve ser tomada de forma estática. Ao contrário, a inter-relação deve ser observada considerando uma abordagem sistêmica, onde, por exemplo, a maior ou menor estabilidade dos modelados será determinada pela intensidade dos processos de morfogênese-pedogênese atuantes, onde a variedade da cobertura vegetal irá influenciar as interações entre precipitação e estabilidade dos solos, onde a rugosidade do terreno irá influenciar os processos de infiltração da água no solo, onde a dinâmica de ocupação e uso antrópico do território interferem na dinâmica natural (Tricart, 1977). Para este autor, a ausência da vegetação elimina o fator de interceptação do escoamento superficial, transformando a água, de recurso em força destrutiva, capaz de causar danos através da retirada do solo, inundações, destruição de colheitas, obras públicas e, em casos extremos, até de vidas humanas. Para Crepani (2001), os solos são sensíveis às mudanças provocadas pelo intemperismo em uma região. Assim, mudanças climáticas ou alterações/supressão na cobertura vegetal e sua substituição por atividades agropecuárias irão alterar o perfil do solo e, conseqüentemente, interferir em sua relação com a estabilidade/instabilidade da área.



### 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O Mapa a seguir (Figura 1), elaborado por Gomes et al. (2013), situa as áreas propostas para avaliação da vulnerabilidade e posterior monitoramento ambiental, no contexto do PAN Cavernas do São Francisco.

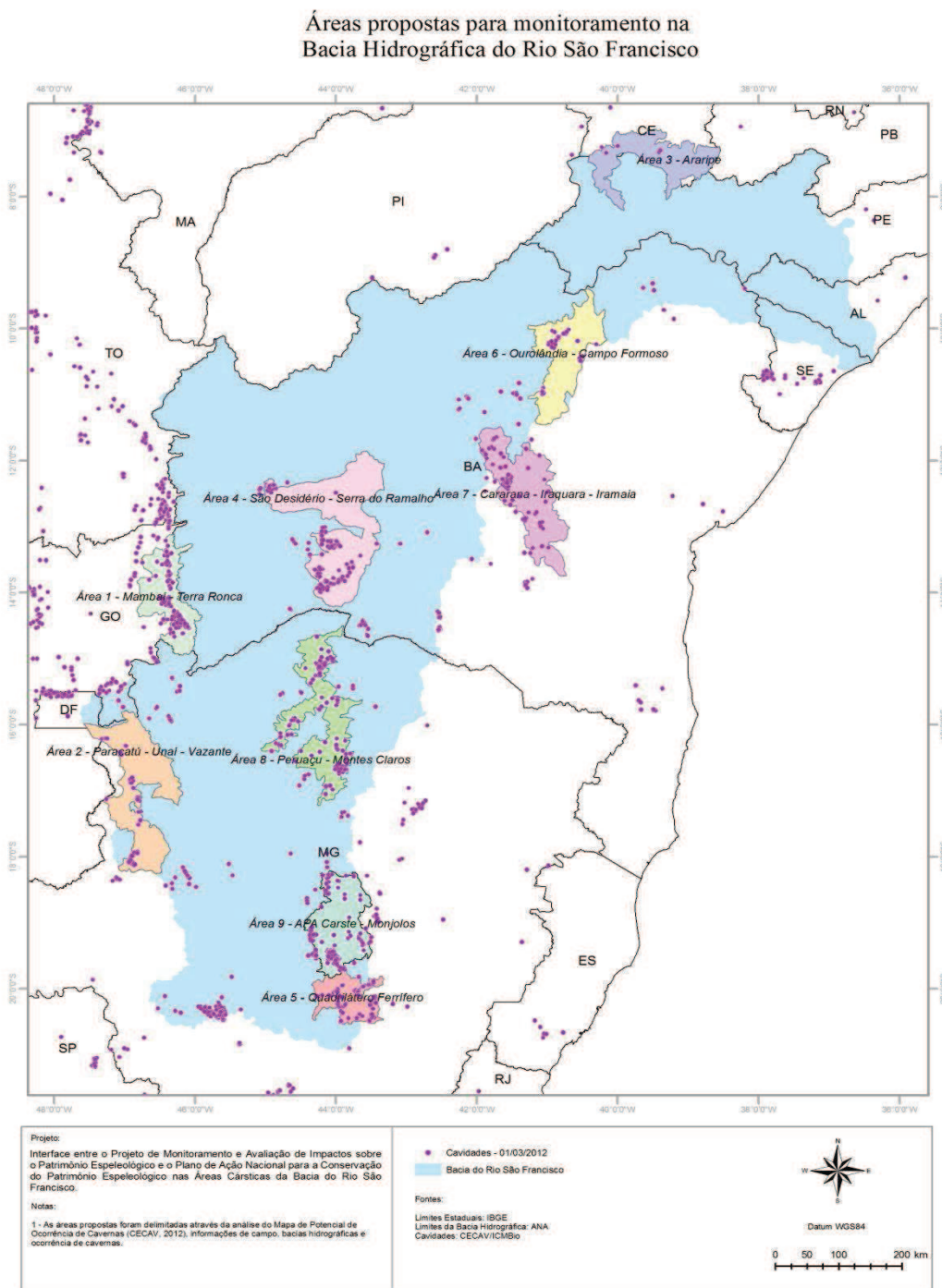


Figura 1: Mapa com a localização das nove áreas propostas para avaliação da vulnerabilidade ambiental na bacia do Rio São Francisco

A área de estudo, denominada Área 9, compreende uma superfície de 872.058 hectares, abrangendo, total ou parcialmente, os territórios de 34 municípios de Minas Gerais. Estende-se do município de Lagoa Santa até o município de Monjolos, na região central do estado. A área está contida na região do Alto São Francisco, que compreende o trecho desta bacia, desde as nascentes até a região entre os municípios de Pirapora e Montes Claros. A maior parte da Área 9 encontra-se no interior da bacia hidrográfica do rio das Velhas, principal tributário do rio São Francisco.

A geologia da área é composta por diversas unidades litoestratigráficas e estruturais, do Pré-Cambriano Indiferenciado aos sedimentos e coberturas inconsolidados do Quaternário. As rochas mais antigas do Pré-Cambriano Indiviso estão presentes na maior parte da área. Em menor proporção, embora também muito bem distribuídas por toda a área, aparecem as rochas calcárias do Grupo Bambuí, principal litologia para os processos de carstificação e, conseqüentemente, para ocorrência do patrimônio espeleológico, na área. Sedimentos Terciário-Quaternários estão presentes na parte aluvional do rio das Velhas. (MMA, 2006)

A geomorfologia apresenta áreas aplainadas, áreas dissecadas e formas cársticas. As áreas aplainadas ocorrem na forma de superfícies tabulares ou onduladas sobre planaltos e, também, na forma de vales, no interior de amplas depressões. Os compartimentos intermediários dos planaltos, as depressões e os maciços antigos caracterizam-se pelas formas dissecadas. As rochas calcárias propiciam a evolução de morfologia específica, condicionada por processos de dissolução e corrosão, gerando formas cársticas, como cavernas, uvalas, dolinas, poljés e outros.

As precipitações pluviométricas apresentam caráter sazonal, onde junho, julho e agosto são os meses mais secos. A umidade relativa do ar varia entre 70 e 80%.

A Figura 2, representa um modelo de elevação do terreno da área de estudo. Como se pode observar, as maiores elevações encontram-se na porção leste, na serra do Espinhaço. A porção central apresenta as menores altitudes, coincidentes com as bacias de drenagem do rio das Velhas e, em menor escala, com a bacia do rio Cipó.

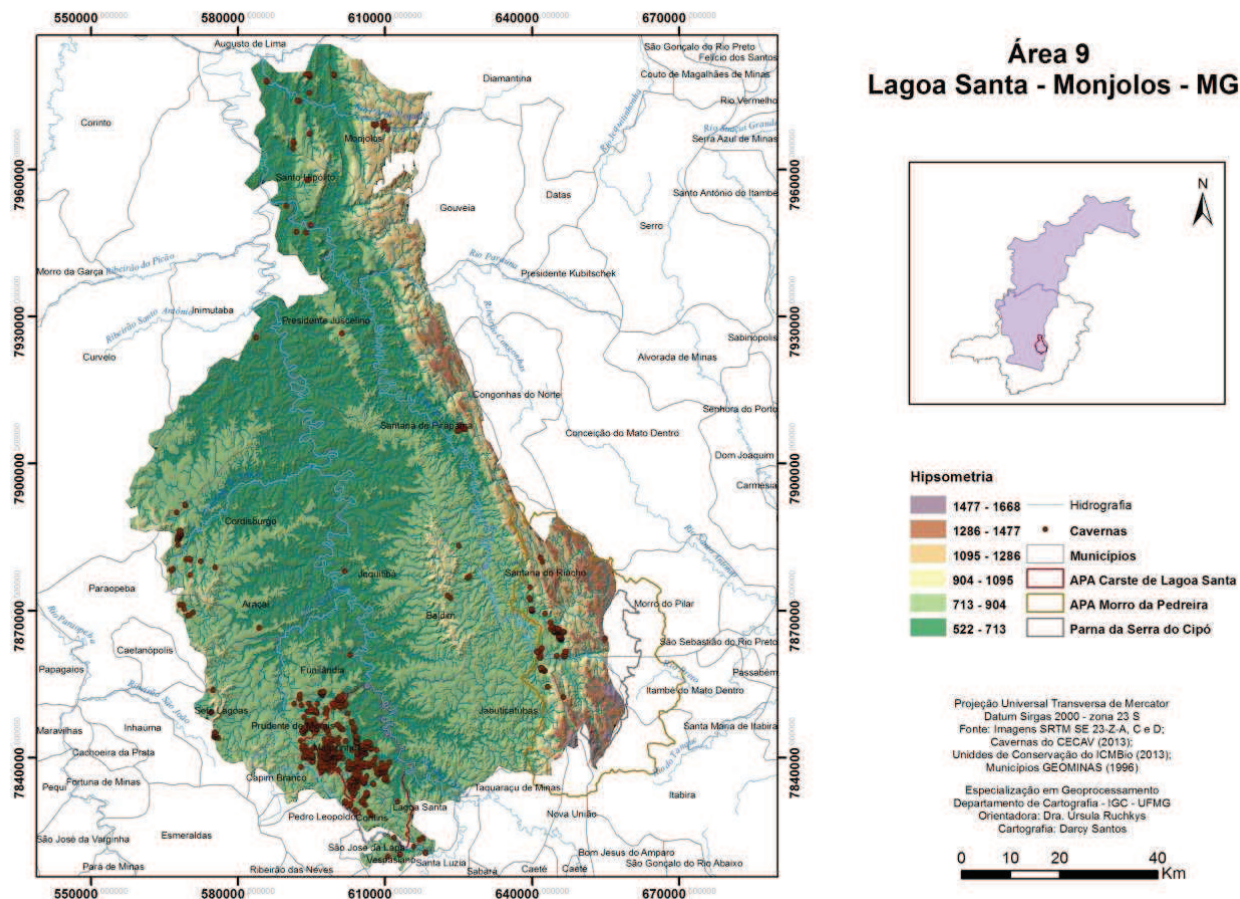


Figura 2: Mapa dos níveis de elevação do terreno da Área 9 - Lagoa Santa a Monjolos

O modelo de ocupação estabelecido na área, centrado especialmente nas atividades agropecuárias e minerárias levou à supressão das formações vegetais nativas, particularmente do cerrado. Com isso, a vegetação nativa apresenta-se escassa e fragmentada, com pouca conectividade entre estes fragmentos, impossibilitando, inclusive, a viabilidade ecológica de espécies tanto da flora, quanto da fauna associada. Muitos cursos d'água encontram-se assoreados devido à redução das áreas ocupadas pela mata ciliar (Camargos, 2005).

Pelos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2000; 2010) observa-se uma tendência de crescimento da população na área, como um todo. Entretanto, percebe-se que este crescimento concentra-se nas áreas urbanas, enquanto a população rural permanece relativamente estável (Figura 3).

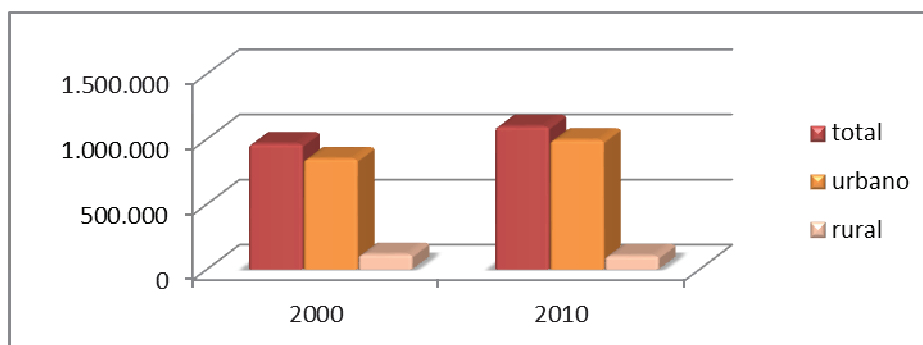


Figura 3: Gráfico da tendência populacional na área 9

A maior parte dos municípios (55,9%) apresenta população inferior a 10.000 habitantes. Por outro lado, apenas quatro municípios (Sete Lagoas, Santa Luzia, Itabira e Vespasiano) concentram 631.404 habitantes, o que representa 57,6% da população residente na área, conforme observado nas Figuras 4 e 5 .

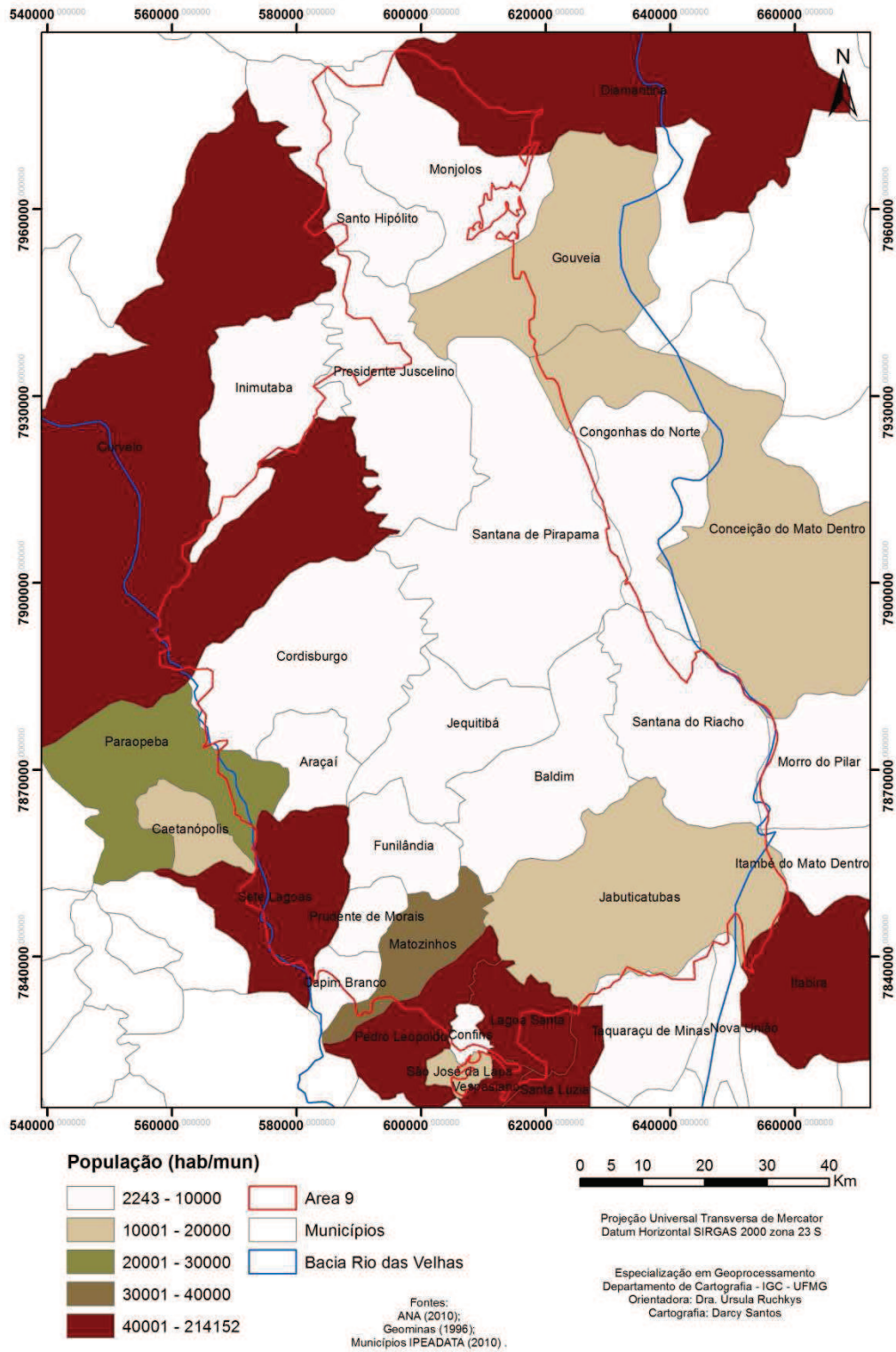


Figura 4: Mapa da distribuição da população entre os municípios que compõem a Área 9 - Lagoa Santa - Monjolos

<b>População residente na Área 9 – APA Carste – Monjolos / MG</b>			
<b>Município</b>	<b>Ano - 2010</b>		
	<b>Total (hab.)</b>	<b>Urbana (hab.)</b>	<b>Rural (hab.)</b>
Sete Lagoas	214.152	208.956	5.196
Santa Luzia	202.942	202.378	564
Itabira	109.783	102.316	7.467
Vespasiano	104.527	104.527	0
Curvelo	74.219	67.382	6.837
Pedro Leopoldo	58.740	49.953	8.787
Lagoa Santa	52.520	48.949	3.571
Diamantina	45.880	40.064	5.816
Matozinhos	33.955	30.877	3.078
Paraopeba	22.563	19.663	2.900
São José da Lapa	19.799	11.400	8.399
Conceição do Mato Dentro	17.908	12.269	5.639
Jaboticatubas	17.134	10.740	6.394
Gouveia	11.681	8.229	3.452
Caetanópolis	10.218	8.389	1.829
Prudente de Moraes	9.573	9.199	374
Capim Branco	8.881	8.090	791
Cordisburgo	8.667	5.961	2.706
Santana de Pirapama	8.009	3.331	4.678
Baldim	7.913	5.067	2.846
Inimutaba	6.724	4.743	1.981
Confins	5.936	5.936	0
Nova União	5.555	2.872	2.683
Jequitibá	5.156	1.963	3.193
Congonhas do Norte	4.943	2.598	2.345
Santana do Riacho	4.023	2.279	1.744
Presidente Juscelino	3.908	1.846	2.062
Funilândia	3.855	2.029	1.826
Taquaraçu de Minas	3.794	1.755	2.039
Morro do Pilar	3.399	2.581	818
Santo Hipólito	3.238	2.249	989
Monjolos	2.360	1.403	957
Itambé do Mato Dentro	2.283	908	1.375
Araçai	2.243	1.783	460
<b>Total</b>	<b>1.096.481</b>	<b>992.685</b>	<b>103.796</b>

Figura 5: População residente na área de estudo, no ano de 2010.

## **4 - MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 - Materiais**

Para a geração dos mapas de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental, foram elaborados mapas temáticos das variáveis consideradas. Para elaboração do mapa de vulnerabilidade natural foram utilizados os dados digitais de Geologia do Brasil, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), 2003, na escala de 1:2.500.000; mapa digital de solos, elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, com base no novo sistema brasileiro de classificação de solos e publicado pelo IBGE, 2001, na escala de 1:5.000.000; dados de clima obtidos nas cartas digitais do IBGE, na escala de 1:1.000.000; dados de potencialidade de ocorrência de cavernas de Jansen, Cavalcanti, Lamblém, 2012, na escala de 1:2.500.000; imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) - Cartas SE-23-Z-A, C e D, obtidas junto à EMBRAPA, com resolução de 90m, escala de 1:250.000.

Para geração do mapa de vulnerabilidade ambiental foram utilizados dados de uso do solo e cobertura vegetal obtidos da imagem do satélite Landsat TM5, órbita ponto 218-73 e 218-74, de 21/09/2011, resolução espacial de 30m, escala (sem ampliação) de 1:250.000, obtidas junto ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Foram também utilizados para realização do trabalho, dados digitais das cavidades naturais subterrâneas, do CECAV, de setembro de 2013; dados digitais de hidrografia, vias de acesso e os limites, da base cartográfica digital do IBGE, 1998, na escala de 1:1.000.000 e a malha municipal do IBGE de 2007.

Para o processamento das imagens e geração dos mapas, foram utilizados os softwares Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), versão 5.1.8, do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE); ArcGis, versão 9.3, da empresa ESRI, licença do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio); GoogleEarth, versão 7.1.1.188; MapSource, versão 6.16.3; DNR Garmin, versão 5.04.0001; GPS TrackMaker PRO, versão 4.8. Quanto aos equipamentos, foram utilizados aparelho receptor de dados GPS, marca Garmin GPSmap 60CSx; máquina fotográfica, bússola e binóculo.

## 4.2– Métodos

### 4.2.1 - Metodologia para Determinação da Vulnerabilidade Natural

Foram elaborados os mapas temáticos das variáveis estabelecidas para a determinação da vulnerabilidade. Em seguida, estes mapas foram convertidos em *raster* e reclassificados em células de 30x30m. Foram atribuídas notas entre 1 a 3, do mais ao menos estável, a cada uma das células, de acordo com seu atributo.

O fluxograma a seguir (Figura 6) sintetiza a estrutura metodológica adaptada de Jansen (2013) para determinação da vulnerabilidade natural.

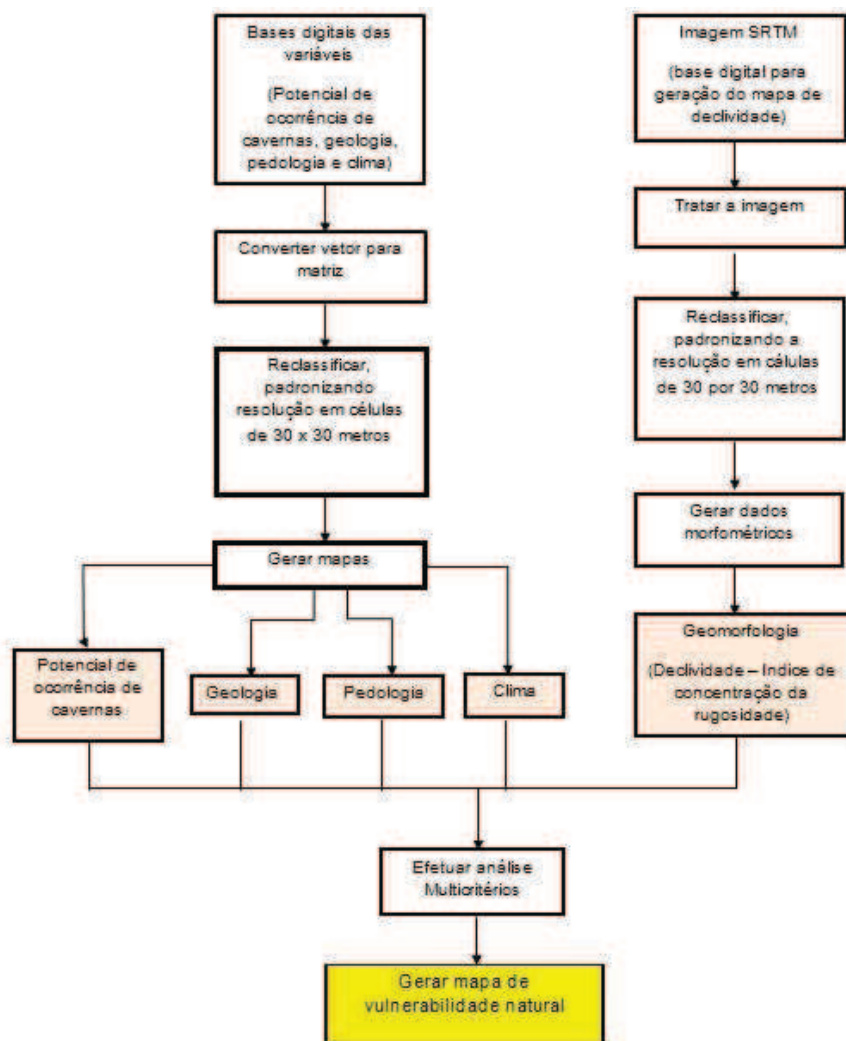


Figura 6: Estrutura metodológica para determinação da vulnerabilidade natural, adaptado de Jansen (2013)

A seguir são apresentados os mapas das variáveis utilizadas para avaliação da vulnerabilidade natural e da vulnerabilidade ambiental, com base nos trabalhos de Jansen (2013): geologia, pedologia, geomorfologia, potencial de ocorrência de cavernas e clima (Figura 7).

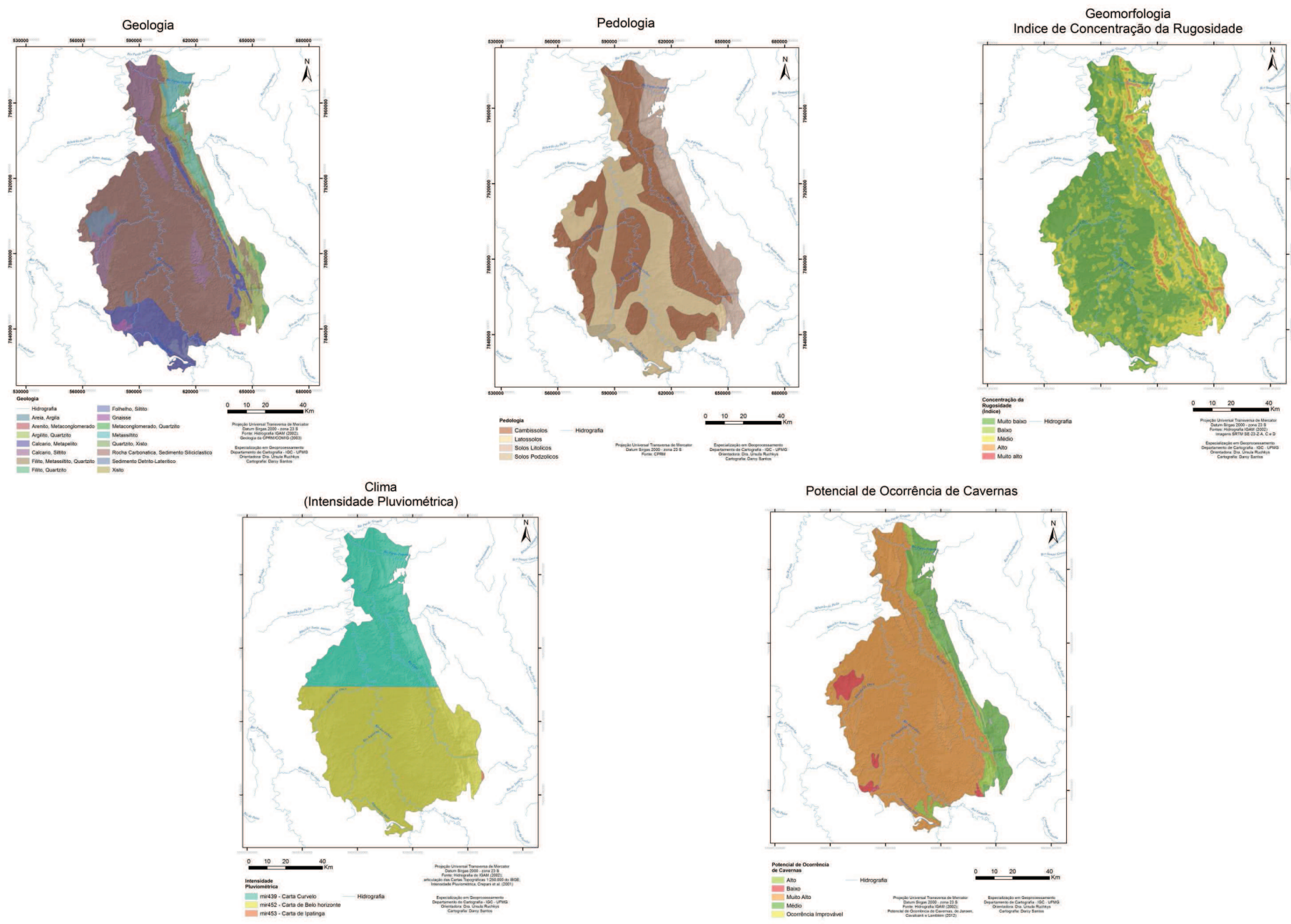


Figura 7: Mapas das variáveis utilizadas para avaliação da vulnerabilidade natural ambiental: geologia, pedologia, geomorfologia, clima e potencial de ocorrência de cavernas.



A Geologia é considerada a variável principal, por ser a base física para ocorrência da grande maioria das cavidades naturais subterrâneas. Como salientado por Crepani et al. (2001) o grau de coesão das rochas atua nos processos de morfogênese/pedogênese. Rochas mais coesas, diante da ação do intemperismo, tendem a participar mais nos processos de formação do solo (pedogênese). Rochas menos coesas, ao se desagregarem, tendem a ser mais erodidas, contribuindo para os processos de modificação do relevo (morfogênese).

A Figura 8 apresenta as unidades presentes na área, bem como os litotipos e as respectivas notas atribuídas em face da vulnerabilidade natural dos mesmos. Os valores das notas foram baseados em Jansen (2013).

<b>GEOLOGIA</b>			
<b>Unidade (sigla)</b>	<b>Unidade (nome)</b>	<b>Litotipo</b>	<b>Vulnerabilidade (notas)</b>
NP2bp	Paraopeba	Rocha Carbonatica, Sedimento Siliciclastico	2,9
PMgm	Galho do Miguel	Argilito, Quartzito	1
NPmi	Macaubas, indiviso	Xisto	2
MPcb	Corrego dos Borges	Filito, Quartzito	1,6
MPsr	Santa Rita	Filito, Metassiltito, Quartzito	2,1
MPrp	Rio Pardo Grande	Metassiltito	2,1
NP2lj	Lagoa do Jacare	Calcario, Siltito	2,9
NPmi	Macaubas, indiviso	Xisto	2
NP2lj	Lagoa do Jacare	Calcario, Siltito	2,9
MPsr	Santa Rita	Filito, Metassiltito, Quartzito	2,1
MPsr	Santa Rita	Filito, Metassiltito, Quartzito	2,1
MPrp	Rio Pardo Grande	Metassiltito	2,1
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
MPrp	Rio Pardo Grande	Metassiltito	2,1
PMsp	Rio Preto	Quartzito, Xisto	2
MPsr	Santa Rita	Filito, Metassiltito, Quartzito	2,1
NQd	Depositos detrito-lateriticos	Sedimento Detrito-Lateritico	1
MPrp	Rio Pardo Grande	Metassiltito	2,1
NQd	Depositos detrito-lateriticos	Sedimento Detrito-Lateritico	1
NP2lj	Lagoa do Jacare	Calcario, Siltito	2,9
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
NP2lj	Lagoa do Jacare	Calcario, Siltito	2,9
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
PMss	Serra do Lobo	Metaconglomerado, Quartzito	2,5
MPcb	Corrego dos Borges	Filito, Quartzito	1,6
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
NP2lj	Lagoa do Jacare	Calcario, Siltito	2,9

NPmi	Macaubas, indiviso	Xisto	2
NP2sh	Serra de Santa Helena	Folhelho, Siltito	2,8
NQd	Depositos detrito-lateriticos	Sedimento Detrito-Lateritico	1
A3bh	Belo Horizonte	Gnaisse	1,3
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
PMsb	Sopa-Brumadinho	Arenito, Metaconglomerado	2,4
PMsb	Sopa-Brumadinho	Arenito, Metaconglomerado	2,4
PMsb	Sopa-Brumadinho	Arenito, Metaconglomerado	2,4
NP2sl	Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	2,9
NP2sh	Serra de Santa Helena	Folhelho, Siltito	2,8
Qa	Depositos aluvionares e de terracos	Areia, Argila	1

Figura 8: Unidades geológicas e litotipos presentes na área 9 – Lagoa Santa - Monjolos

A Pedologia é a base dos processos morfodinâmicos, a camada de solos, quando presente, constitui uma primeira camada de proteção, podendo agir tanto como fator de maior estabilidade da paisagem e também como barreira filtrante diante do risco de contaminação das águas subterrâneas. Segundo Lepsch (2010) solos mais jovens tendem a ser mais rasos e mais suscetíveis aos processos erosivos, enquanto solos mais desenvolvidos, como Latossolos, apresentam maior profundidade e porosidade e, portanto, tendem a ser mais estáveis.

A tabela a seguir (Figura 9) apresenta os tipos de solos presentes na área e as notas atribuídas a eles, em face da vulnerabilidade natural de cada um deles.

PEDOLOGIA	
Solos (Tipo)	Vulnerabilidade (notas)
Solos litolicos	2,5
Cambissolos	2,0
Latosolos	1,0
Solos podzolicos	1,5

Figura 9: Tipos de solos encontrados na área 9 e respectivas notas atribuídas à vulnerabilidade

Jansen (2013) aponta que a variável Geomorfologia, representada pela declividade, em estudos com pequenas escalas, é trabalhada por meio dos índices de dissecação do terreno ou da rugosidade topográfica. Para aplicação da metodologia proposta, devido ao uso da escala pequena e da grande dimensão da área de estudo, será utilizado o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR). Este índice representa as ondulações do terreno, influenciando na maior ou menor capacidade deste em reter e armazenar água na superfície, reter sedimentos e auxiliar no processo de absorção de água pelo solo. O ICR foi desenvolvido com o objetivo de melhorar a acurácia nos mapeamentos de redes de drenagem. Para sua determinação, utiliza-se a ferramenta geoestatística estimador de densidade de Kernel para analisar a dispersão da declividade

em determinada área e, a partir desta análise, determinar a rugosidade (Souza e Sampaio, 2010).

A tabela a seguir (Figura 10) apresenta os índices de concentração da rugosidade e os respectivos valores (notas) atribuídos aos graus de vulnerabilidade natural de cada um destes índices.

<b>ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA RUGOSIDADE</b>	
<b>Concentração da rugosidade (índice)</b>	<b>Vulnerabilidade (notas)</b>
Muito baixo	1,0
Baixo	1,5
Médio	2,0
Alto	2,5
Muito alto	3,0

**Figura 10: Índices de Concentração da Rugosidade e respectivas notas de vulnerabilidade**

Crepani et al. (2001) assinalam que o intemperismo é controlado pelo clima. A precipitação pluviométrica e a temperatura controlam o intemperismo de forma direta e, também, de forma indireta por condicionarem os tipos de vegetação que ocorrerão em determinada área. A interação entre a chuva, pelo impacto direto das gotas e pelo escoamento superficial e a capacidade de resistência do solo determinará o grau de erosão.

Para os mesmos autores, a Intensidade Pluviométrica (IP) é a principal característica física da chuva, envolvida nos processos erosivos. Esta característica está relacionada com as outras duas importantes características físicas da chuva, quantidade e distribuição. A Intensidade Pluviométrica é o resultado da divisão do valor da pluviosidade média anual em mm pela duração do período chuvoso em meses. A erosividade da chuva é proporcional aos valores da IP.

A tabela a seguir (Figura 11) apresenta os dados pluviométricos das cartas que cobrem a Área 9 e as respectivas notas atribuídas para os níveis de vulnerabilidade natural.

<b>INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA</b>			
<b>Carta</b>	<b>Número</b>	<b>Intensidade Pluviométrica (mm/mês)</b>	<b>Vulnerabilidade (notas)</b>
Curvelo	mir439	150 - 175	1,5
Belo Horizonte	mir452	175 - 200	1,6
Ipatinga	mir453	150 - 175	1,5

**Figura 11: Dados de intensidade pluviométrica da área 9 e respectivas notas para a vulnerabilidade**

As Cavidades Naturais Subterrâneas estão representadas pelo potencial de ocorrência de cavidades, mapa que classifica as áreas estudadas com base na potencialidade de ocorrência de cavidades levando em conta principalmente as características geológicas.

A tabela a seguir (Figura 12) apresenta os graus de potencialidade para a ocorrência de cavidades naturais, na área de estudo, bem como os valores (notas) atribuídos para a vulnerabilidade natural destes.

<b>Potencial de Ocorrência de Cavidades Naturais Subterrâneas</b>			
<b>Unidade (Nome)</b>	<b>Litotipo</b>	<b>Potencial</b>	<b>Vulnerabilidade (notas)</b>
Belo Horizonte	Gnaiss	Baixo	1,5
Corrego dos Borges	Filito, Quartzito	Médio	2,0
Rio Pardo Grande	Metassiltito	Médio	2,0
Santa Rita	Filito, Metassiltito, Quartzito	Médio	2,0
Paraopeba	Rocha Carbonatica, Sedimento Siliciclastico	Muito Alto	3,0
Lagoa do Jacare	Calcario, Siltito	Muito Alto	3,0
Serra de Santa Helena	Folhelho, Siltito	Alto	2,5
Sete Lagoas	Calcario, Metapelito	Muito Alto	3,0
Macaubas, indiviso	Xisto - EXCEÇÃO	Alto	2,5
Depositos detrito-lateriticos	Sedimento Detrito-Lateritico	Baixo	1,5
Galho do Miguel	Argilito, Quartzito	Médio	2,0
Sopa-Brumadinho	Arenito, Metaconglomerado	Médio	2,0
Rio Preto	Quartzito, Xisto	Médio	2,0
Serra do Lobo	Metaconglomerado, Quartzito	Médio	2,0
Depositos aluvionares e de terracos	Areia, Argila	Ocorrência Improvável	1,0

**Figura 12: Potencial para ocorrência de cavernas e respectivas notas atribuídas à vulnerabilidade associada**

A Tabela a seguir (Figura 13) apresenta os pesos que foram utilizados para a aplicação da análise multicritérios.

<b>Variável</b>	<b>Peso (%)</b>
Geologia	35
Geomorfologia (Índice de Concentração da Rugosidade)	25
Pedologia	15
Potencial de ocorrência de cavidades	15
Clima (Intensidade Pluviométrica)	10

**Figura 13: Contribuição das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Natural**

## 4.2. 2 - Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Em seguida, foi elaborado o mapa de uso do solo e cobertura vegetal a partir das imagens Landsat TM5, conforme fluxograma a seguir (Figura 14):

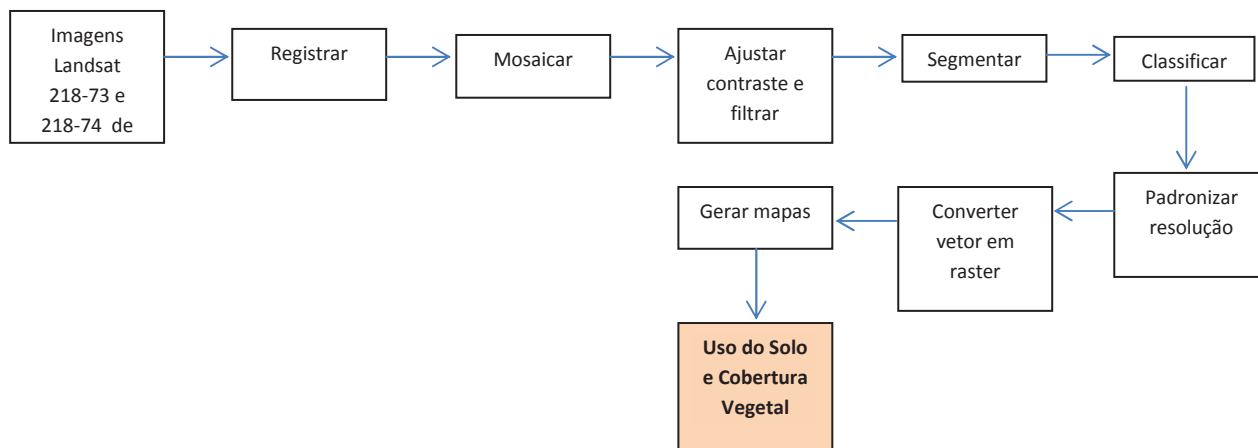


Figura 14: Fluxograma com a estrutura do mapa de uso do solo e cobertura vegetal

O mapa de uso do solo e cobertura vegetal foi elaborado a partir duas imagens Landsat 5, órbitas ponto 218-73 e 218-74, de 21 de setembro de 2011, adquiridas junto ao (INPE). Para a classificação da imagem e elaboração do mapa de uso do solo e cobertura vegetal, foi utilizada metodologia proposta por Gomes et. al. (2013).

Foram realizadas operações de georreferenciamento, mosaico, recorte, segmentação e classificação supervisionada da imagem. Para tanto, foi utilizado o software SPRING. O Google Earth foi utilizado como apoio na escolha de amostras para a classificação da imagem.

Após esta etapa de escolha de amostras realizada em escritório, foram realizadas expedições de campo para tirar dúvidas em relação aos tipos de uso de determinadas áreas e, também, coletar novas amostras em campo permitindo uma melhor acurácia da classificação da imagem.

A legenda para a elaboração do mapa de uso do solo e cobertura vegetal foi adaptada do Manual de Uso Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2006). Para atribuição de notas nas classes do mapa de uso do solo e cobertura vegetal foram utilizados os valores propostos por Jansen (2013), conforme apresentados a seguir (Figura 15). A Figura 16 apresenta o mapa final de uso do solo e cobertura vegetal.

USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL				
Tema (Legenda)	Descrição	Fisionomia Ecológica	Atributo / Classe	Vulnerabilidade (Notas)
Água	Todas as classes de águas interior e costeira, corpos naturais e reservatórios artificiais.	Água	Água	-
Vegetação Natural Extrato arbóreo	Formações arbóreas naturais, tais como Floresta densa, Floresta Aberta, Floresta Estaciona.l	Florestada	Floresta Estacional Semidecidual (mata ciliar, mata de galeria, capões) e Savana Florestada (cerradão)	1,4
			Floresta Estacional Decidual (mata seca)	
Eucalipto	Maçios com espécies florestais exóticas	Arborizada	Reflorestamento (eucalipto)	1,4
Vegetação Natural Extrato Arbustivo	Estrato não florestal, predominantemente arbustivo.	Arborizada	Savana Arborizada (cerrado <i>stricto sensu</i> )	1,8
			Floresta de Candeia	
Vegetação Natural Extrato Herbáceo	Estrato não florestal, constituída por áreas abertas com predomínio de tapete gramíneo-lenhoso.	Parque / Gramíneo Lenhosa	Savana Parque (campo cerrado)	2,5
			Savana Gramíneo Lenhosa (campo limpo, campo sujo, camo rupestre, afloramento de rocha)	
Áreas Antropizadas	Antropizado	Antropizado	Agrícola – agricultura, pecuária	3,0
			Não Agrícola – áreas urbanizadas, comerciais, industriais, extrativismo mineral	

Figura 15: Valores de classificação da vulnerabilidade da variável uso do solo e cobertura vegetal

# Uso do Solo e Cobertura Vegetal

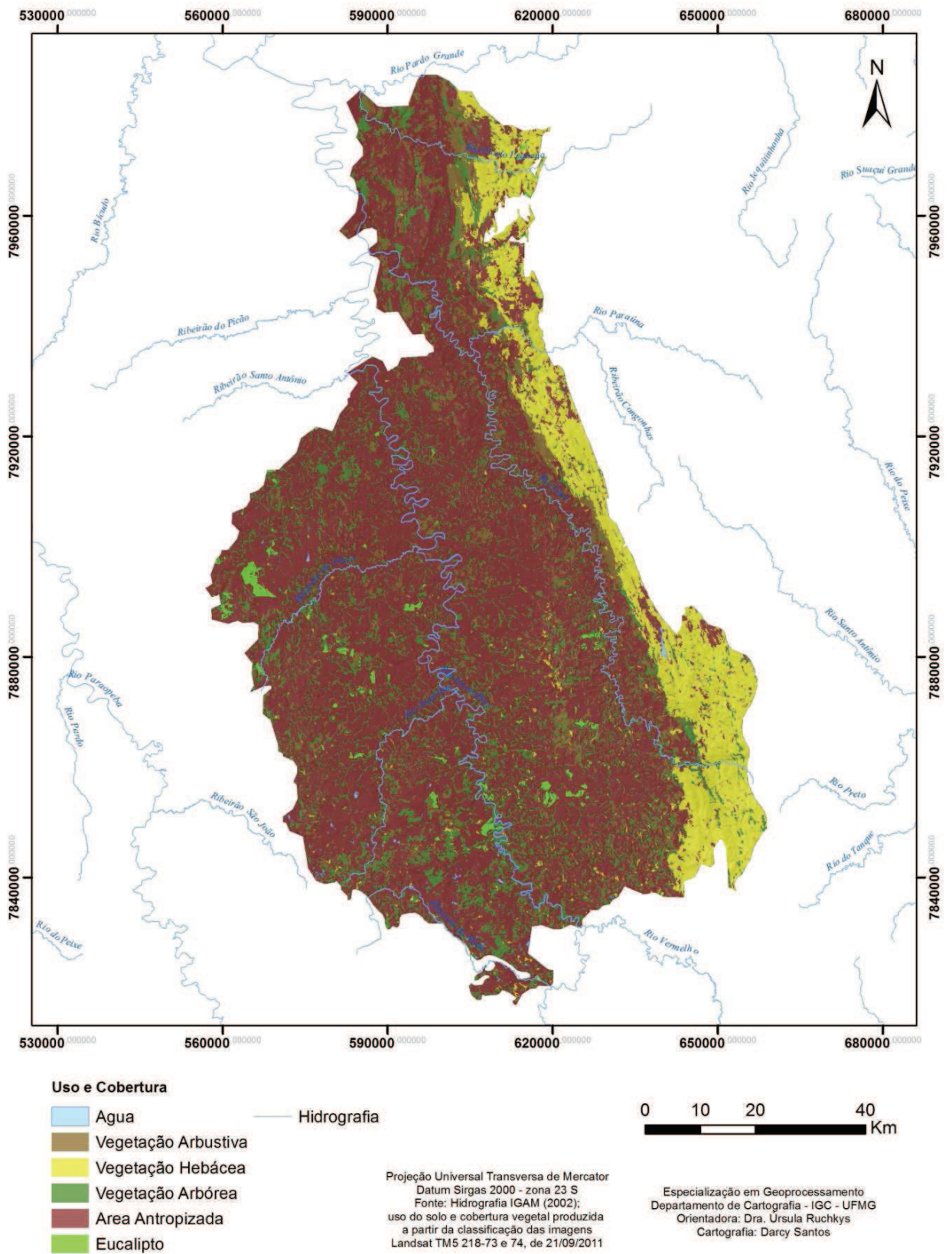


Figura 16: Mapa da classificação do Uso do Solo e Cobertura Vegetal da Área 9 - Lagoa Santa – Monjolos

### 4.2.3 – Metodologia para Determinação da Vulnerabilidade Ambiental

A vulnerabilidade ambiental foi determinada a partir da aplicação de nova análise multicritério, onde as variáveis foram o mapa de vulnerabilidade natural e o mapa de uso do solo e cobertura vegetal. Para tanto, foram utilizados os seguintes pesos para cada variável (Figura 17):

Variável	Peso (%)
Uso do solo e cobertura vegetal	30
Vulnerabilidade natural	70

Figura 17: Contribuição das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Ambiental

O fluxograma (Figura 18) a seguir sintetiza a metodologia para determinação da vulnerabilidade ambiental da área de estudo:

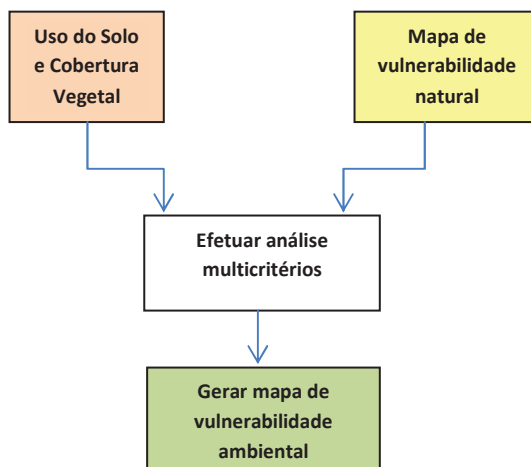
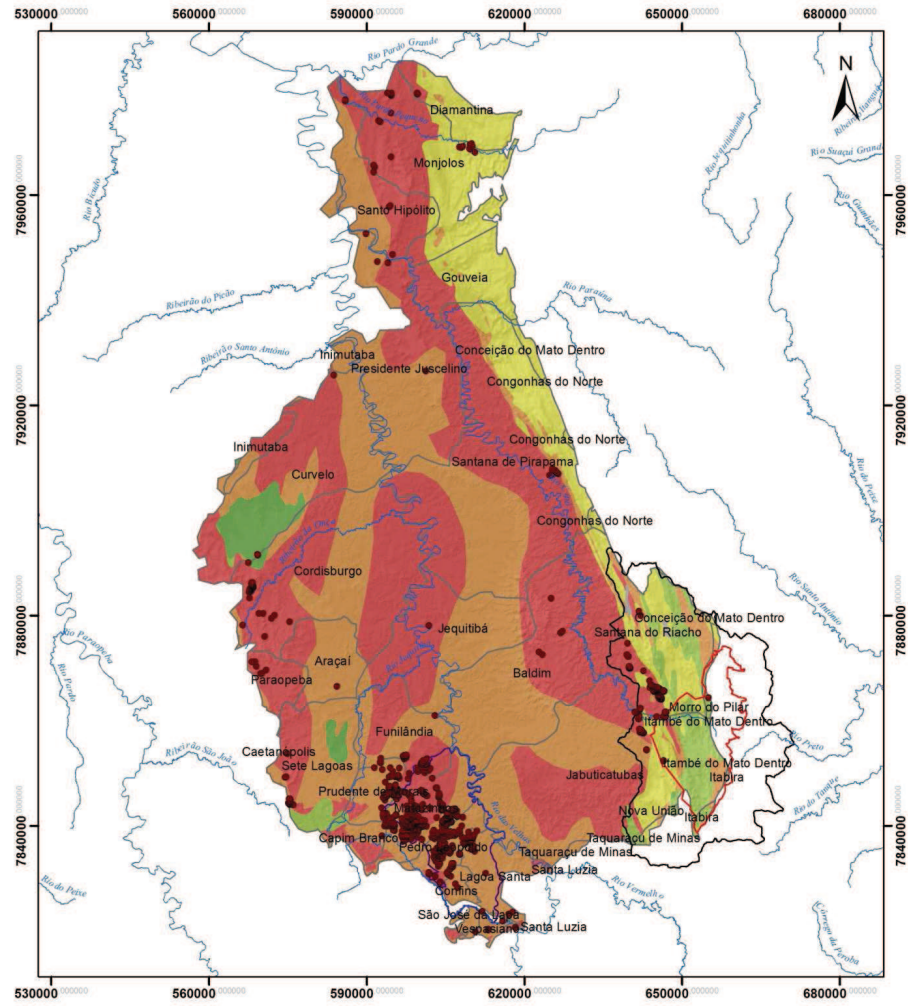


Figura 18: Fluxograma com a estrutura do mapa de vulnerabilidade ambiental



# Vulnerabilidade Natural



**Vulnerabilidade Natural (Graus)**

<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#90EE90; border:1px solid black;"></span> Muito Baixo	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#90EE90; border:1px solid black;"></span> Baixo	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#FFFF00; border:1px solid black;"></span> Médio	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#FFA500; border:1px solid black;"></span> Alto	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#FF4500; border:1px solid black;"></span> Muito Alto
--	--	--	---	---

**UCs Federais**

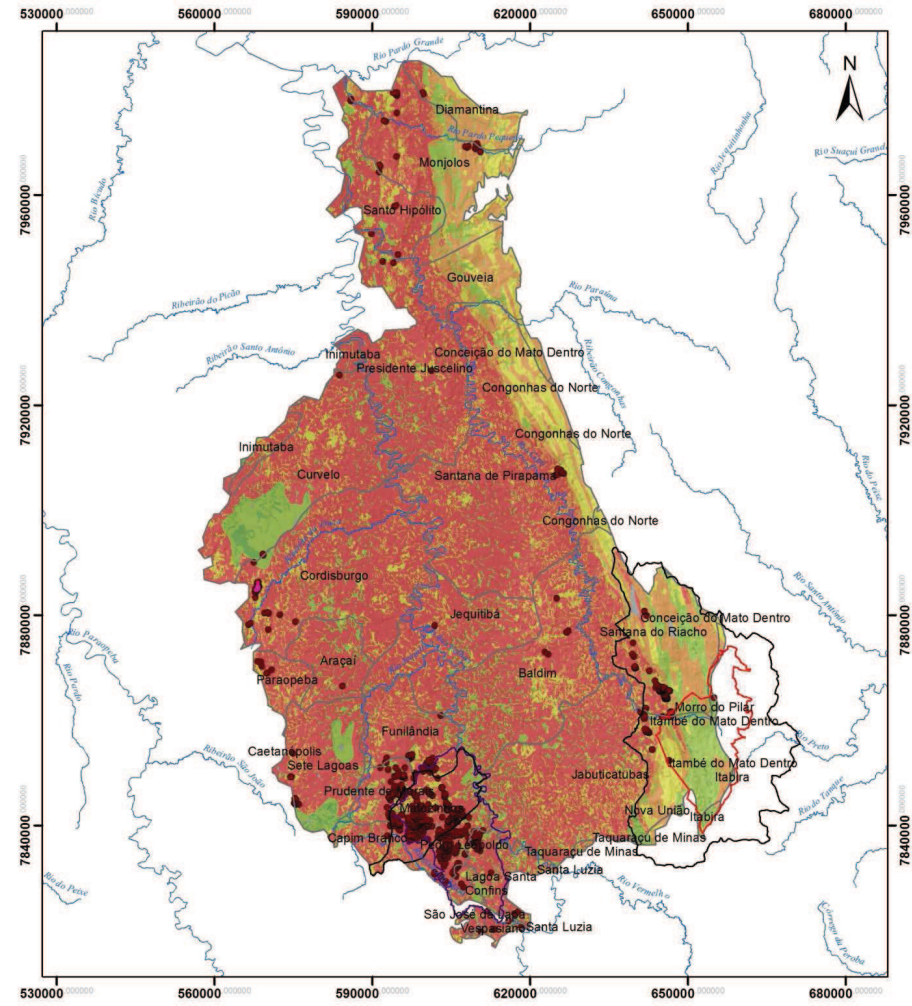
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> APA Carste de Lagoa Santa	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> APA Morro da Pedreira	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> Parna da Serra do Cipó	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> Cavernas	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> Hidrografia
--	--	---	---	--

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Sirgas 2000 - zona 23 S  
Fontes: Cavernas CECAV (2013); Hidrografia IGAM (2002); Municípios GEOMINAS (1996); Unidades de Conservação Federais ICMBio (2013); vulnerabilidade natural resultante dos dados de geologia, concentração da rugosidade, solos, pluviosidade e potencial de ocorrência de cavernas;

0 10 20 40 Km

Especialização em Geoprocessamento  
Departamento de Cartografia - IGC - UFMG  
Orientadora: Dra. Ursula Ruchkys  
Cartografia: Darcy Santos

# Vulnerabilidade Ambiental



**Vulnerabilidade Ambiental (Graus)**

<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#90EE90; border:1px solid black;"></span> Muito Baixo	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#90EE90; border:1px solid black;"></span> Baixo	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#FFFF00; border:1px solid black;"></span> Médio	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#FFA500; border:1px solid black;"></span> Alto	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#FF4500; border:1px solid black;"></span> Muito Alto
--	--	--	---	---

**UCs Federais**

<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> APA Carste de Lagoa Santa	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> APA Morro da Pedreira	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> Parna da Serra do Cipó	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> Cavernas	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> Hidrografia	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> UC Estadual MNE Peter Lund
--	--	---	---	--	---

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Sirgas 2000 - zona 23 S  
Fontes: Cavernas CECAV (2013); Hidrografia IGAM (2002); Municípios GEOMINAS (1996); Unidades de Conservação Federais ICMBio (2013); Vulnerabilidade ambiental gerada a partir da vulnerabilidade natural e do uso do solo e cobertura vegetal

0 10 20 40 Km

Especialização em Geoprocessamento  
Departamento de Cartografia - IGC - UFMG  
Orientadora: Dra. Ursula Ruchkys  
Cartografia: Darcy Santos

Figura 19: Mapas de vulnerabilidade natural e ambiental da área 9

## 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos mapas de vulnerabilidade natural e de vulnerabilidade ambiental permite indicar locais onde o patrimônio espeleológico está mais vulnerável, o que pode contribuir para o estabelecimento de políticas de proteção específica.

Da análise do mapa de vulnerabilidade natural (Figura 19) pode-se constatar que as áreas classificadas como de mais alta vulnerabilidade coincidem com áreas onde a geologia apresenta rochas carbonáticas e sedimentos siliciclásticos, em especial calcário, metapelito e siltito. Entretanto, nestas mesmas áreas, a cobertura pedológica foi determinante na avaliação da vulnerabilidade. Ou seja, aquelas áreas que apresentaram uma base geológica mais vulnerável, mantiveram este caráter quando combinadas com cambissolos. Por outro lado, áreas com litologia mais vulnerável, combinadas com solos mais desenvolvidos e estáveis, latossolos, mostraram-se menos vulneráveis. A geomorfologia analisada por meio da concentração da rugosidade, não foi determinante para a vulnerabilidade natural da área. Possivelmente porque a base geológica, nas áreas de maior rugosidade do terreno, apresenta rochas menos susceptíveis aos efeitos do intemperismo. A variável clima, analisada pela pluviosidade, apresentou-se de forma praticamente homogênea em toda a área de estudo, variando entre 150 a 200 mm/mês. Devido a esta homogeneidade, pode-se supor que sua influência acabou por reforçar as outras variáveis, não se constituindo em fator de destaque. Quanto ao potencial de ocorrência de cavernas, sua base de construção foi a geologia e, portanto, reforçou esta variável.

Comparando o mapa de vulnerabilidade ambiental com o de vulnerabilidade natural, pode-se observar uma grande distinção entre eles. As áreas de maior vulnerabilidade ambiental se estendem por praticamente toda a porção central e oeste da área, denotando a grande influência do uso do solo e da cobertura vegetal sobre a vulnerabilidade. A intensa pressão antrópica, alterando áreas naturais, seja para expansão urbana, formação de pastagens, atividades minerárias, ou outras formas de uso, praticamente eliminou o fator de proteção apresentado no mapa de vulnerabilidade natural pelas áreas onde ocorre latossolo. Excetuando-se a parte leste da área, coincidente com a Serra do Espinhaço, onde a geologia mostra-se como principal fator de atenuação da vulnerabilidade, na maior parte da área restante, as atenuações foram resultantes de manchas de vegetação de porte arbóreo que, esparsamente, resistem na área

A maior parte do patrimônio espeleológico identificado na área 9, evidenciado pela presença de cavernas, coincide com as áreas de unidades de conservação federais: 182 cavernas (17,5% do total) estão na APA Morro da Pedreira e no Parque Nacional (PARNA) da Serra do Cipó, na porção sudeste e 554 cavernas (53,4% do total) estão na APA Carste de Lagoa Santa, na porção sul. Entretanto, não existe prospecção

espeleológica sistemática em toda a área e, portanto, não se conhece todo o patrimônio aí presente. Mas, analisando os mapas de potencial de ocorrência de cavernas e de vulnerabilidade ambiental, pode-se inferir que uma parte do patrimônio, ainda desconhecido, pode estar extremamente susceptível à ocorrência de impactos ambientais negativos. Cabe ainda destacar que, dentre estas unidades de conservação, a única de proteção integral é o PARNA da Serra do Cipó, onde, pela legislação, o patrimônio está efetivamente protegido. Nas demais unidades de conservação, a proteção do patrimônio espeleológico coexiste com diversos usos impactantes, inclusive a mineração de calcário, que ocorre na APA Carste de Lagoa Santa.

Alguns municípios concentram a maior parte do patrimônio conhecido até o momento: Matozinhos, Funilândia e Prudente de Moraes têm parte de seu território no interior da APA Carste de Lagoa Santa. Entretanto, possuem, respectivamente, 38, 39 e 74 cavidades conhecidas fora dos limites desta unidade de conservação. Cordisburgo possui 47 cavidades conhecidas, destas 33 encontram-se protegidas pelo Monumento Natural Estadual Peter Lund, inclusive a Gruta de Maquiné, uma das mais visitadas de Minas Gerais. Outro município que se destaca é Monjolos, no norte da área, que possui 22 cavidades cadastradas na base de dados do CECAV.

## **6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A avaliação da vulnerabilidade ambiental e natural das áreas cársticas da região entre os municípios de Lagoa Santa e Monjolos, em Minas Gerais, evidenciou grandes áreas onde o patrimônio espeleológico encontra-se muito vulnerável. Base geológica propícia à ocorrência de cavidades naturais e a supressão da cobertura vegetal foram os principais fatores para determinação desta alta vulnerabilidade. Neste sentido, o estudo pode ser utilizado como ferramenta de apoio pelos gestores municipais no ordenamento do uso do território, com vistas à conservação dos recursos associados a este patrimônio. Sugere-se que para os municípios onde a vulnerabilidade é maior sejam desenvolvidos mapeamentos e inventários sistemáticos do patrimônio espeleológico em escalas maiores.

Novos estudos podem ser realizados a partir do presente, especialmente no aprofundamento de questões específicas que possam colocar em risco o patrimônio espeleológico e também com vistas à sua conservação.

## BIBLIOGRAFIA

AULER, A.; PILÓ, L. B. Geoespeleologia. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Curso de Espeleologia e licenciamento ambiental**. Brasília, 2010. p.25-44.

BRASIL. Presidência da República. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Publicada em 05 de outubro de 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm).

BRASIL.Presidência da República. **Decreto Federal nº 99.556**, de 01 de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no Território Nacional, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília - DF, 02 de outubro de 1990.. Disponível em: <http://www.geocities.ws/CollegePark/Plaza/6964/federal2/99556-90.htm>

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 6.640** de 07 de novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1o, 2o, 3o, 4o e 5o e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1o de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Diário Oficial da União. Brasília - DF, 10 de novembro de 2008. Seção 1, n.218. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640 .htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm)>..

BRASIL. Resolução CONAMA nº 347, de 10 de setembro de 2004. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Diário Oficial da União. Brasília, 13 de setembro de 2004

CAMARGOS, L. M. M.,**Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas**: resumo executivo dezembro 2004/ Luíza de Marillac Moreira Camargos (coord.). - Belo Horizonte : Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2005

CECAV. **Base de dados de Minas Gerais**. Disponível em <http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html> Acesso em 10 de outubro de 2013.

COST Action 620. **Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers** : final report, 2004

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

CROSKREY, A., GROVES, C. **Groundwater sensitivity mapping in Kentucky using GIS and digitally vectorized geologic quadrangles**. Environ Geol, 2008

CRUZ, J. B.. Apresentação. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Curso de Espeleologia e licenciamento ambiental**. Brasília, 2010.

FERREIRA, R. L. **Biologia Subterrânea: Conceitos Gerais e Aplicação na Interpretação e Análise de Estudos de Impacto Ambiental**. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Brasília, 2010. p.89-113.

FIGUEIREDO, M.C.B. et al. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental**. Fortaleza: EMBRAPA Agroindústria Tropical, 2010

GOMES, M.; SANTOS, D.J.; JANSEN, D.C. **Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal da Área 8** (Peruaçu–Montes Claros) do Projeto de Monitoramento e Avaliação de Impactos sobre o Patrimônio Espeleológico - 1ª Aproximação. Revista Brasileira de Espeleologia, Volume 1, Número 3, Ano 2013. Disponível em <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/RBEsp/issue/view/29>. Acesso em Outubro de 2013.

GOMES, M. **Proposta Metodológica para Identificação de Áreas Vulneráveis para a Conservação do Patrimônio Espeleológico Brasileiro**. Belo Horizonte, 2010. Monografia de especialização – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

HARDT, R. **Sistema cárstico e impactos antrópicos: considerações sobre o manejo**. In Anais 1º Simpósio de pós-graduação em Geografia do Estado de São Paulo – SIMPGEO, 2008, Rio Claro, São Paulo.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. **Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da Bacia do Rio São Francisco**. Organizadores Lindalva Ferreira Cavalcanti [et al.]. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2012. 140 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base cartográfica digital, escala 1:1.000.000, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo de 2000. IBGE, 2012. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default\\_censo\\_2000.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm). Acesso em outubro de 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha municipal digital, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo de 2010. IBGE, 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em outubro de 2013.

JANSEN, D. C. **Análise ambiental da área de proteção ambiental do Morro da Pedreira e do Parque Nacional da Serra do Cipó para proteção do patrimônio espeleológico.** Belo Horizonte, 2013. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

JANSEN, D. C.; CAVALCANTI, L. F.; LAMBLÉM, H. S. **Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.000.** Revista Brasileira de Espeleologia. Brasília, vol 2, n. 1, 2012.

LEPSCH, Igo F. Formação e conservação dos solos. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p. ISBN 9788579750083

MENESES, I. C. R. C. C. **Análise Geossistêmica na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa, MG.** Belo Horizonte, 2003. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Ministério do Meio Ambiente, **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco / Secretaria de Recursos Hídricos.** – Brasília: MMA, 2006.

Ministério do Meio Ambiente, **Instrução Normativa nº 02**, de 20 de agosto de 2009. Diário Oficial da União. Brasília, 21 de agosto de 2009.

Ministério do Meio Ambiente, **Portaria nº 358**, de 30 de setembro 2009. Diário Oficial da União. Brasília, 01 de outubro de 2009.

MIRANDA, M.P.S. **Tutela do Patrimônio Cultural Brasileiro: Doutrina, Jurisprudência, Legislação.** Belo Horizonte: Del Rey, 2006

PESSOA, P. F. P., MOURÃO, M. A. A. **Levantamento Hidrogeológico.** Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998.

SANTOS, R. F., organizadora. **Vulnerabilidade Ambiental.** Brasília: MMA, 2007

SOUZA, L. F., SAMPAIO, T. V. M. **Aplicação do Índice de Concentração da Rugosidade à Identificação de Classes de Dissecação do Relevo: uma Proposta de Quantificação e Automatização em Ambiente SIG.** In Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE, julho de 2010.

TEIXEIRA, A. L. A.;CHRISTOFOLETTI, A. **Sistema de Informação Geografica: Dicionário Ilustrado.** São Paulo: Editora Hucitec, 1997.

TRAVASSOS, L. E. P. **Considerações Sobre o Carste da Região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010.

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