

Thaís Cristina Pereira da Silva

Diagnóstico da fragilidade  
ambiental como subsídio ao  
Zoneamento Ambiental do  
município de Pains/MG

XV Curso de Especialização em Geoprocessamento  
2014



UFMG  
Instituto de Geociências  
Departamento de Cartografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha  
Belo Horizonte  
cartog@igc.ufmg.br

**THAÍS CRISTINA PEREIRA DA SILVA**

**DIAGNÓSTICO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO  
ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE PAINS/MG**

Monografia apresentada como requisito 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> Dra. Maria Márcia Magela Machado

Co-orientadora: M<sup>a</sup>. Amanda Alves dos Santos

**BELO HORIZONTE**

**DEZEMBRO**

**2014**

DIAGNÓSTICO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO  
ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE PAINS/MG

Aluno (a) Thaís Cristina Pereira da Silva

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do  
título de Especialista em Geoprocessamento, em 03 de dezembro de 2014, pela Banca  
Examinadora constituída pelos professores:

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Márcia Machado Magela

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Úrsula Ruchkys de Azevedo

## RESUMO

A inexistência e a pouca aplicabilidade do planejamento territorial tem contribuído para redução incisiva da qualidade ambiental e ocupação de áreas inadequadas. Estudos relativos à fragilidade ambiental são de extrema importância a esse tipo de planejamento devido à identificação dos ambientes frágeis e de suas potencialidades ambientais possibilitando a melhor relocação de recursos e definição de diretrizes a serem implementadas. Diante disso, este trabalho apresenta a análise ambiental do município de Pains/MG com objetivo de diagnosticar a fragilidade ambiental natural identificando suas potencialidades e limitações ambientais. A metodologia utilizada foi baseada na adaptação do método definido por Crepani (2001). Foram utilizados os dados geológicos, pedológicos, climatológicos, morfométricos, de uso e cobertura do solo e de cavidades. A análise espacial foi realizada por meio do método multicritérios e álgebra de mapas e a ponderação das variáveis através do método AHP. O mapa de fragilidade ambiental natural apresentou 6 classes com o predomínio da classe medianamente estável/vulnerável indicando um equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese com expressiva ocorrência dos processos de morfogênese. Os resultados obtidos foram satisfatórios permitindo análises ambientais associadas a qualidade ambiental com as áreas de amortização das cavidades. Essa análise integrada também possibilitou verificar a situação ambiental do município evidenciando a necessidade emergente de fiscalização e planejamento ambiental.

Palavras chaves: Fragilidade Ambiental Natural, Zoneamento Ambiental, Álgebra de Mapas.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>1. Apresentação</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	3
<b>2.1. Geossistemas e Análise Ambiental</b> .....	3
<b>2.2. Fragilidade Ambiental</b> .....	4
<b>2.3. Análises Ambientais com uso de geotecnologias</b> .....	5
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	8
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	10
<b>4.1 Materiais</b> .....	10
<b>4.2 Métodos</b> .....	10
<b>4.2.1 Seleção da Base de Dados Cartográficos</b> .....	11
<b>4.2.2 Tratamento e Processamento dos Dados Geográficos</b> .....	12
<b>4.2.3 Ponderação das Variáveis</b> .....	18
<b>4.2.4 Cruzamento dos Dados</b> .....	20
<b>4.2.5 Análise das Informações</b> .....	22
<b>4.2.6 Elaboração do Mapa Final</b> .....	23
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	24
<b>5.1. Mapa de Fragilidade Ambiental Natural</b> .....	24
<b>5.2. Mapa de Abrangência dos Processos Minerários e Cavidades</b> .....	26
<b>5.3. Mapa de Localização dos Processos Minerários com a Fragilidade Ambiental</b> .....	27
<b>5.4. Mapa de Uso e Cobertura do Solo em Contraposição as Áreas de Preservação Permanente das Cavidades Subterrâneas Naturais</b> .....	28
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	31
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Localização da área de estudo .....	8
Figura 02: Fluxograma com as etapas do trabalho.....	11
Figura 03: Mapa de Uso e Cobertura do Solo .....	13
Figura 04: Mapa de Declividade .....	14
Figura 05: Localização das estações pluviométricas.....	15
Figura 06: Mapa de Precipitação.....	16
Figura 07: Mapa Geológico.....	17
Figura 08: Mapa Pedológico .....	17
Figura 09: Mapa das Áreas de Amortização das Cavidades de Pains/MG .....	18
Figura 10: Mapa de Fragilidade Ambiental Natural. ....	24
Figura 11: Mapa de Abrangência dos Processos Minerários e Cavidades.....	27
Figura 12: Mapa de Localização dos Processos Minerários com a Fragilidade Ambiental Natural.....	28
Figura 13: Mapa de Uso e Cobertura do Solo em contraposição as Áreas de Preservação Permanente das Cavidades. ....	29

## LISTA DE TABELAS, QUADROS E EQUAÇÕES

Tabela 01: Classes definidas no mapeamento de Uso e Cobertura do Solo. ....	13
Tabela 02: Notas e Pesos atribuídos a cada plano de informação.....	20
Tabela 03: Matriz de Comparação e Vetor de Pesos .....	21
Tabela 04: Avaliação dos Cenários .....	22
Tabela 5: Relação da fragilidade ambiental com os processos de morfogênese e pedogênese. .....	26
Tabela 06: Quantificação das Áreas de Preservação Permanente com Uso e Cobertura do Solo.....	30
Quadro 01: Escala de Valores AHP para a Comparação Pareada segundo Saaty 1980. ....	21
Equação 01: Equação Empírica Fragilidade Ambiental Natural. ....	20

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional das Águas

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IDW - *Inverse Distance Weighted*

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

MDE - Modelo Digital de Elevação

RGB - *Red Green Blue*

SIG - Sistema de Informação Geográfica

Sirgas 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000

UFV - Universidade Federal de Viçosa

USGS - *United States Geological Survey*

UTM - Universal Transversa de Mercator

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1. Apresentação

As transformações ocorridas no espaço geográfico pela ação antrópica têm intensificado a degradação ambiental em diferentes escalas, épocas e modos de interferência. Esse processo causa a redução incisiva da qualidade ambiental e alterações no ecossistema, tornando importante a compreensão dos efeitos da interação homem/natureza, já que tal fenômeno estimula a ocupação de áreas inadequadas à população resultando no conflito entre a dinâmica antrópica e ambiental.

Em função das interferências antrópicas que ocorrem, em grande parte, sem o devido planejamento do setor público e privado torna-se cada vez mais importante um planejamento territorial que não tenha apenas o enfoque econômico, mas também, ambiental e que considere as potencialidades e fragilidades da região ou área afetada. Assim a análise e o monitoramento dos processos modificadores têm se tornado inerente ao planejamento territorial o que contribui para a avaliação da dinâmica da paisagem e consequente gestão dessas áreas subsidiando soluções e propostas de desenvolvimento econômico, conservação e proteção dos recursos naturais.

Esse instrumento de gestão, o planejamento territorial, é utilizado para que as atividades humanas sejam executadas de forma a manter a qualidade e a conservação do patrimônio ambiental possibilitando o crescimento e desenvolvimento das cidades concomitantemente. Um dos instrumentos voltados para o planejamento territorial é o Zoneamento Ambiental. Esse mecanismo promove uma análise sobre a viabilidade ambiental das atividades econômicas em uma determinada localidade ou região, assim como auxilia no processo decisório quanto às áreas de intervenção e restrição.

O Zoneamento Ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pela Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981 e tem como objetivo preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental assegurando o desenvolvimento socioeconômico e definindo atos para ordenar e planejar a utilização dos recursos naturais, por meio da proposição de diversas ações de racionalização, planejamento, fiscalização do uso dos recursos ambientais, proteção dos ecossistemas e recuperação de áreas degradadas.

Esse tipo de zoneamento pode ser considerado uma ferramenta de subsídio ao planejamento territorial e a gestão ambiental, sendo sua aplicação eficiente na tomada de decisão.

Dessa forma estudos relativos à fragilidade ambiental são de extrema importância a esse tipo de zoneamento devido à identificação dos ambientes frágeis e de suas potencialidades ambientais possibilitando a melhor relocação de recursos e definição de diretrizes e ações a serem implementadas.

No município de Pains ainda não foi elaborado um Zoneamento Ambiental para gestão de seu território. Este município apresenta um alto potencial espeleológico e minerário com inúmeros registros de cavidades, sítios arqueológicos e recursos minerais. Além das características físicas e bióticas de um ambiente cárstico, atividades como pastagem e culturas perenes e anuais são constantes. Em vista do complexo cenário espeleológico, das características fisiográficas e do uso e cobertura do solo de Pains, a carência do planejamento territorial ambiental atrelado à elaboração do Zoneamento Ambiental identificando a fragilidade dos ambientes naturais em face às intervenções humanas evidencia uma forte preocupação em relação ao equilíbrio e qualidade ambiental.

Nesse contexto, o presente estudo contempla a análise ambiental desse município e tem como objetivo principal diagnosticar a fragilidade ambiental natural identificando suas potencialidades e limitações ambientais, de forma a construir, por meio de técnicas de geoprocessamento, uma base de dados geográficos necessária para a construção de análises que possam contribuir para a elaboração do Zoneamento Ambiental desse município. Os objetivos específicos constituem em: compreender a relação da fragilidade ambiental com o uso do solo, contrapor as áreas de fragilidade ambiental com os processos minerários (DNPM) do município e demonstrar o potencial do uso do Sistema de Informações Geográficas. A escolha dessa área de estudo partiu da necessidade de analisar e elaborar estudos ambientais para o município de Pains devido à alta concentração de feições cársticas e ao elevado número de sítios arqueológicos na região.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1. Geossistemas e Análise Ambiental

A Teoria Geral dos Sistemas, proposta por Sothava, utilizou o conceito de paisagem, principalmente paisagens naturais, onde as escolas germânicas e francesas ajudaram a construir essa teoria, tendo em vista em articular um modelo capaz de uniformizar os processos do conhecimento nos diferentes campos científicos (Ross, 2006). Com isto o geossistema está relacionado à categoria de análise de paisagem e a escala espacial e temporal como afirmado por Tricart (1977):

“Uma paisagem é uma dada porção perceptível a um observador onde se inscrevem uma combinação de fatos visíveis e invisíveis e interações as quais, num dado momento, não percebemos senão o resultado global.”

No Brasil o conceito de Geossistemas foi apresentado por Bertrand, em 1971, sendo posteriormente destrinchado por Tricart (1977). A definição de geossistemas para Tricart (1977) é embasada no conceito de conjunto de fenômenos que se desenvolvem a partir de fluxos de matéria e energia, no qual surge um novo tipo de relação integrada e dinâmica permitindo assim uma análise do todo. Contudo Bertrand (1971) resgata a origem do termo geossistema incorporando a ação antrópica como categoria espacial, cuja dinâmica resulta da interação entre potencial ecológico, a exploração biológica e a ação antrópica. Bertrand (1971) ainda classificou a paisagem em seis níveis taxonômicos (zona, domínio, região, geossistema, geofácies e geótopo) relacionados à escala espacial e temporal.

As diferentes alterações, independentes da escala espacial e temporal, nas variáveis no meio natural resultam no comprometimento da funcionalidade do sistema acarretando a quebra de seu equilíbrio dinâmico. De acordo com Monteiro (2001):

“O Geossistema é um sistema singular, complexo, onde interagem elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, e onde os elementos socioeconômicos não constituem um sistema antagônico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do próprio sistema”.

Diante disso por se tratar de um sistema integrado e dinâmico é imprescindível que as atividades antrópicas sejam compatíveis com a fragilidade potencial e fragilidade emergente do sistema.

## **2.2. Fragilidade Ambiental**

O termo fragilidade ambiental, segundo Sporl (2007), está relacionado à suscetibilidade do sistema sofrer intervenções, pois quando há a quebra do equilíbrio dinâmico o sistema entra em colapso. A ação indutora desse processo de desequilíbrio pode ser tanto natural como antrópica. Para Schineider (2011) a fragilidade natural está associada aos ambientes que predominam os processos naturais, ou seja, onde as transformações do meio tem relação direta com os fatores endógenos e exógenos.

A fragilidade ambiental como instrumento para o planejamento territorial identifica e analisa os ambientes frágeis e suas potencialidades de forma integrada permitindo assim um melhor redirecionamento de diretrizes e recursos a serem implantadas podendo servir de base para o zoneamento ambiental. Nesse sentido o diagnóstico da fragilidade ambiental classifica o sistema em diferentes níveis identificando áreas suscetíveis a instabilidade e áreas com potencial de estabilidade.

De acordo com Ross (1994) para identificar a fragilidade de um sistema é necessário elaborar um estudo integrado dos elementos que compõe o espaço geográfico por meio da análise e inter-relacionamento desses elementos, de forma a obter um produto analítico sintético que retrata a área de estudo permitindo um diagnóstico das diferentes categorias de forma hierarquizada.

Para Crepani (2001), analisar uma unidade de paisagem natural é inerente para compreender, analisar e conhecer a gênese, a constituição física, a forma e o estágio de evolução, sendo que essas informações são fornecidas pela geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia e fitogeografia correspondendo à fragilidade ambiental natural. Já as unidades de paisagem e a fragilidade ambiental, resultam da análise integrada da fragilidade ambiental natural juntamente com análise da fragilidade ambiental antrópica.

As potencialidades e fragilidades dos ambientes estão associadas à inter-relação de fatores distintos que compõe a paisagem. De acordo com Tricart (1977) a inter-relação dessas variáveis em escala temporal pode haver o predomínio dos processos morfogenéticos ou

pedogenéticos dependendo do grau de fragilidade do ambiente. Esse mesmo autor afirma que em ambientes onde os processos morfogenéticos atuam predominam as atividades antrópicas com indicativo de desequilíbrio ambiental desencadeando processos erosivos e destrutivos, já para os ambientes onde há a concentração dos processos pedogenéticos ocorre o favorecimento da ampliação do manto de alteração litológica e o desenvolvimento da pedogênese com solos estáveis e protegidos pela vegetação.

Dentre os modelos relacionados à fragilidade ambiental amplamente utilizados estão os propostos por Ross (1994) e Crepani (2001) ambos fundamentados na concepção de Tricart (1977).

Ross (1994) propõe dois modelos para a identificação da fragilidade ambiental natural, sendo um baseado na dissecação do relevo e o outro calcado na declividade, ambos utilizando as mesmas variáveis (índice morfométrico, solos, cobertura vegetal e pluviosidade). Cada variável é hierarquizada em cinco classes estabelecendo o grau de fragilidade de muito baixa a muito alta definindo se é a fragilidade potencial ou fragilidade emergente.

Já o modelo adotado por Crepani (2001) é baseado na relação morfogênese/pedogênese. São considerados os dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, pluviométricos e de uso e cobertura do solo com a definição das unidades territoriais básicas. Esses dados são classificados com notas em relação ao grau de fragilidade ambiental, onde a fragilidade ambiental é expressa pela atribuição de valores de 1 a 3 para cada plano de informação. Para o produto final cada plano de informação recebe o mesmo valor de peso.

O ponto em comum entre os modelos apresentados por Ross (1994) e Crepani (2001) é a utilização da inter-relação dos elementos do meio físico. Entretanto apesar de utilizarem as mesmas variáveis apresentam diferentes formas de calcular a fragilidade por notas e pesos distintos, sendo que Ross (1994) agrupa as demais variáveis adotando o relevo como componente principal.

### **2.3. Análises ambientais com uso de geotecnologias**

O aperfeiçoamento e a acessibilidade de tecnologias como ferramenta para elaboração de estudos socioambientais têm sido crescentes tanto no seguimento público como privado. As geotecnologias são um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e

disponibilização da informação com referência geográfica. Dentre as geotecnologias estão os SIG, a Cartografia Digital, o Sensoriamento Remoto, o Sistema de Posicionamento Global, a Aerofotogrametria, a Geodésia e Topografia Clássica, dentre outros, (Secretaria de Estado da Educação/PR, 2014).

O SIG pode ser definido como uma ferramenta que armazena, analisa, manipula e espacializa dados geográficos georreferenciados visando à possibilidade de planejar e monitorar questões ligadas ao espaço físico territorial por meio dos produtos gerados pelo sistema permitindo a análise integrada (Câmara et al., 1996).

A modelagem ambiental através dos SIG's é uma ferramenta criada para simular e manipular fenômenos ou processos de um determinado local/região com finalidade de subsidiar na compreensão do funcionamento e no desempenho do sistema ambiental propiciando o suporte necessário para a tomada de decisão.

Com a evolução e avanço das geotecnologias vários estudos foram elaborados e aplicados para diversas áreas do conhecimento como: gestão municipal, agronegócios, serviços públicos de saneamento, energia elétrica e telecomunicações, educação, saúde e análise ambiental.

Tancredi e Borges (2009) analisam as bacias hidrográficas do Igarapé Juruti e Rio Aruã (Juruti/PA) com aplicação do geoprocessamento por meio do tratamento dos dados geoambientais e processamento digital de imagem. Com isto identificaram o avanço da pressão antrópica sobre os recursos naturais através da análise multitemporal visando o monitoramento ambiental.

Já Gomes e Vestena (2013) avaliaram a expansão urbana do município de Guarapuava/PR por meio da análise multitemporal do período de 1995 e 2011 com uso de imagens de satélites de vários sensores. Concluíram que a expansão e o adensamento urbano aumentaram consideravelmente cerca de 50%. Embora o crescimento urbano tenha se dado em todas as direções, porém a expansão da região leste e sudeste foram limitados em função do próprio condicionante físico da região que apresenta o vale do Rio das Pedras, cujo relevo é bastante dissecado, além de ser área de manancial de Guarapuava. Por outro lado, verificaram que há uma tendência de expansão urbana, nas direções norte e oeste, sobre terrenos atualmente ocupados com atividades agropecuárias.

Para Grassi et al. (2013) o mapeamento das áreas de risco depende, necessariamente, do mapeamento das áreas de vulnerabilidade. Neste sentido elaboraram o mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná. Utilizaram os planos de informação como uso do solo e cobertura vegetal, declividade, solo, geomorfologia, proximidade das redes viárias (vias de acesso) e proximidade de superfícies líquidas (hidrografia). Para a hierarquização dos dados aplicaram o método AHP e posteriormente elaboraram a modelagem dos dados por meio da álgebra de mapas com os mesmos pesos obtidos no processo anterior. Concluíram que a maior parte do estado do Paraná possui vulnerabilidade baixa / moderada, sendo que as áreas mais susceptíveis a inundações estão localizadas em regiões que, predominantemente, abrigam rios com leitos de grande dimensão e a região mais vulnerável a deslizamentos está localizada na zona de transição entre o Segundo e o Terceiro Planalto Paranaense, além da Serra do Mar.

Esses são apenas alguns exemplos do potencial de uso dos SIG em diferentes áreas relacionadas ao planejamento do território. Esse sistema possibilita a integração dos dados de diferentes naturezas e diversas escalas e propicia uma gama de potencialidades para a geração de cartas temáticas, manipulação, tratamento e a quantificação de dados georreferenciados. É uma importante ferramenta para elaboração de projetos que abrangem diversas variáveis como, por exemplo, os estudos de fragilidade ambiental. Nesses estudos faz-se necessário realizar o manuseio de um grande volume de dados vetoriais e matriciais para elaborar produtos que tenham como objetivo final a elaboração da carta de fragilidade ambiental.

## CAPÍTULO 3

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o município de Pains, que pertence à microrregião de Formiga, mesorregião do Oeste de Minas, no Estado de Minas Gerais. As principais vias de acesso ao município são as rodovias estaduais MG-170, MG-439 e MG-050 e a rodovia federal BR-354, conforme Figura 01, e está a uma distância de 218 km da capital mineira.

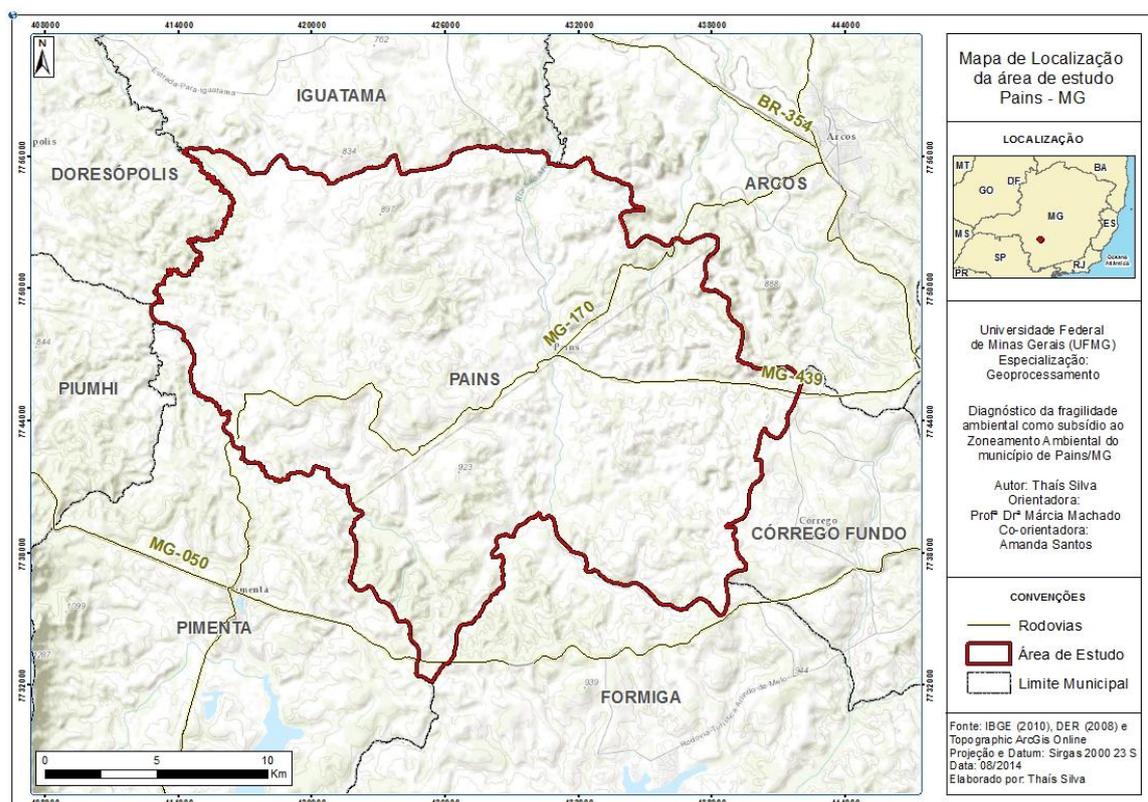


Figura 01: Localização da área de estudo

O município possui uma área territorial de 421,862 km<sup>2</sup>, população total em 2010 de 8.014 habitantes e densidade demográfica de 19 habitantes/km<sup>2</sup>, sendo o IDHM de 0,72 (IBGE, 2010).

A história desse município está atrelada a viagens de mineiros e paulista para o Oeste de Minas durante o século XVIII. Com a assinatura das 20 cartas de sesmarias para a província de Minas, iniciou-se o povoamento com a família Paim Pamplona, o que deu origem ao nome do município. Em dezembro de 1943 o município foi emancipado politicamente, sendo desmembrado do município de Formiga, (IBGE).

Em relação ao aspecto ambiental ele está inserido na Província Cárstica Arcos-Pains-Doresópolis situada no alto da Bacia do Rio São Francisco. Apresenta alta concentração de cavidades subterrâneas naturais e inúmeros acervos arqueológicos em seu território.

O relevo é caracterizado por dolinas, uvalas, sumidouros, surgências e vales cegos (CPRM, 2008), onde a altimetria varia de 630 a 960 metros, localizando-se em dois compartimentos geomorfológicos. O primeiro identificado como Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco e Baixadas do Rio Jacaré/Salitre com faixas, dobramentos e coberturas metassedimentares associadas e o segundo compartimento classificado como Planalto Centro-Sul Mineiro e Depressão de Belo Horizonte com embasamentos em estilos complexos, IBGE (2002).

Quanto ao contexto geológico, Pains, está inserida no contexto do embasamento do Cráton São Francisco, aflorando litotipos da Formação Samburá e Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí, CPRM (2008) e CPRM (2007). A Formação Sete Lagoas é caracterizada por rochas carbonáticas do tipo calcários cinzentos a negros, já a Formação Samburá é identificada pelos arenitos, waxes líticos, ou siltitos argilosos, argilitos e pelitos.

Os solos da região, segundo o mapa de solos da Universidade Federal de Viçosa 2010, são distróficos e eutróficos com horizontes pouco a bem desenvolvidos podendo ser classificados e identificados como: Cambissolo Háptico sob Floresta Caducifólia em relevo suave ondulado a forte ondulado, Latossolo Vermelho encontrado na fase Cerrado em relevo plano e suave ondulado, Argissolo Vermelho-Amarelo identificado sob a Floresta Subcaducifólia em relevo forte ondulado e montanhoso e o Neossolo Litólico associado à Floresta Caducifólia em relevo montanhoso.

Localiza-se na área a Sub-Bacia Afluentes do Alto Rio São Francisco englobando o rio São Miguel e o ribeirão dos Patos como principais afluentes no território municipal. A drenagem superficial é caracterizada por uma baixa densidade devido à infiltração nas fissuras dos calcários e nas feições cársticas (CPRM 2008). De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Cwa, denominado como clima Tropical de Altitude com chuvas no verão e seca no inverno com temperaturas médias de 22°C e precipitação média anual de 1344 mm, CRPM (2008).

## **CAPÍTULO 4**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **4.1 Materiais**

Os materiais utilizados para alcançar os objetivos proposto neste trabalho foram:

Base cartográfica de Solos - UFV (Universidade Federal de Viçosa), escala 1:600.000;

Base cartográfica dos limites municipais - IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) - 2010;

Base cartográfica das cavidades subterrâneas - CECAV (Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas);

Base cartográfica da drenagem - IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), escala 1:100.000;

Base cartográfica dos limites dos processos minerários - DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) – 09/2014;

Base cartográfica de geologia - CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), escala 1:100.000, cartas SF-23-V-B-II (2008) e SF-23-V-B-IV (2007);

Dados das estações pluviométricas - ANA (Agência Nacional das Águas);

Imagem LandSat 8 OLI cena orbital 219/74 datada em 04 de setembro de 2014 do catálogo da USGS (Earth Explorer), resolução 30 metros;

Imagem Aster GDEM (2011), resolução 30 metros.

#### **4.2 Métodos**

O desenvolvimento desse trabalho deu-se a partir da apropriação do conceito de fragilidade ambiental e de técnicas de análise por geoprocessamento. As etapas que o compõe podem ser visualizada abaixo e os procedimentos metodológicos adotados são descritos a seguir na Figura 02.

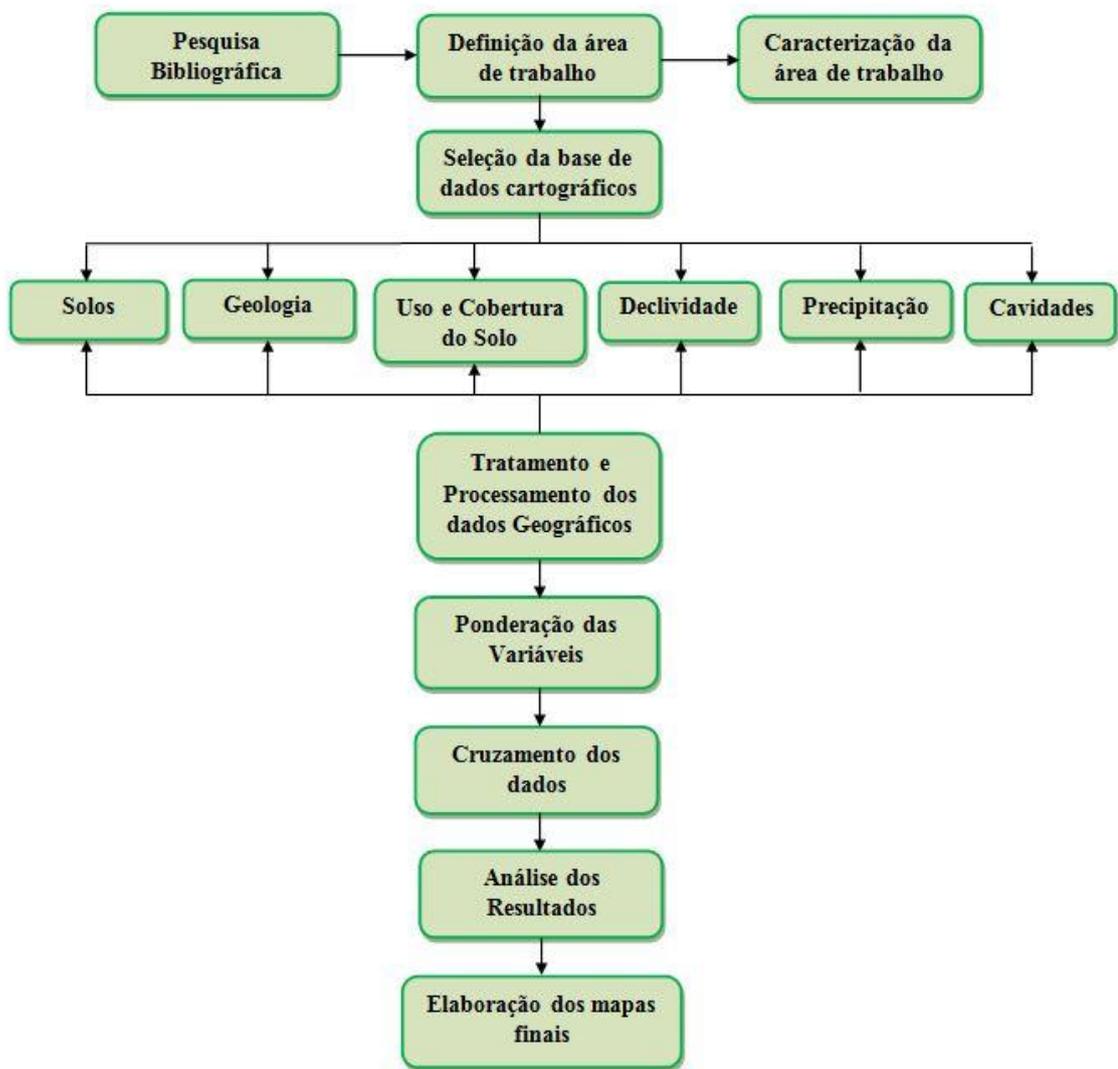


Figura 02: Fluxograma com as etapas do trabalho

#### 4.2.1 Seleção da Base de Dados Cartográficos

As variáveis foram selecionadas de acordo com a metodologia de mapeamento da fragilidade natural adotada por Crepani (2001) e também, a partir de características específicas da área de estudo. Sendo assim, neste trabalho são considerados dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, pluviométricos, de uso e cobertura do solo e as cavidades subterrâneas naturais.

#### **4.2.2 Tratamento e Processamento dos Dados Geográficos**

Para padronização do projeto adotou-se o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 23 Sul e Datum Sirgas 2000 para dados vetoriais e matriciais. Todos os dados coletados foram recortados no limite da área de estudo no ambiente ArcGis 10.

Para cada base de dados disponível foi necessário realizar um procedimento específico que será detalhado nos itens abaixo:

- **Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo**

A cena da imagem Landsat 8 OLI foi obtida na resolução radiométrica de 16 bits, porém foi escalonada para 8 bits visando otimizar o espaço de armazenamento e o processamento dos dados. A imagem foi organizada na composição 4,3,2 (RGB) e fusionada com a Banda 8 (pancromática) para melhorar a resolução espacial da cena obtendo a resolução espacial final de 15 metros. Posteriormente a esse processo foi realizado a equalização dos tons de cinzas presentes na imagem com o objetivo de distribuir homogeneamente as informações dos tons no histograma melhorando assim a interpretação e visualização da imagem. Esse processo foi executado no software Erdas.

Para a classificação dessa imagem foram realizados três procedimentos: segmentação, classificação e pós-classificação. Todos esses processamentos foram executados no software ECognition Developer.

Na segmentação foi adotado o algoritmo estatístico baseado em objeto (multiresolução) que considera várias características da imagem (escala, cor, forma e diferenças de objetos no entorno). A escala de parâmetro definida para a segmentação foi de 30 obtendo um nível fino na separação das feições na imagem com grande quantidade de detalhe sem fragmentar demais os objetos.

Para o processo de classificação foi trabalhado o método de classificação orientada a objeto utilizando o recurso da segmentação multiresolução definida anteriormente. Esse método considera a delimitação dos alvos com as características espectrais com base na segmentação e não apenas a classificação pixel a pixel.

As classes mapeadas, Tabela 01, foram definidas por meio do reconhecimento da área de estudo através da leitura de trabalhos realizados em Pains e região e da análise prévia da cena orbital.

<b>Uso e Cobertura do Solo</b>
Água
Afloramento Rochoso
Área Urbana
Campos
Culturas Perenes e Anuais
Mineração
Pastagem
Remanescentes Florestais

Tabela 01: Classes definidas no mapeamento de Uso e Cobertura do Solo.

Na pós-classificação foi executada a filtragem e validação dos dados classificados. No processo de filtragem foi realizada a eliminação ou redução dos ruídos de classificação dos pontos isolados. A validação dos dados classificados constou dos ajustes e contornos de formas e avaliação do resultado da classificação, conforme Figura 03.

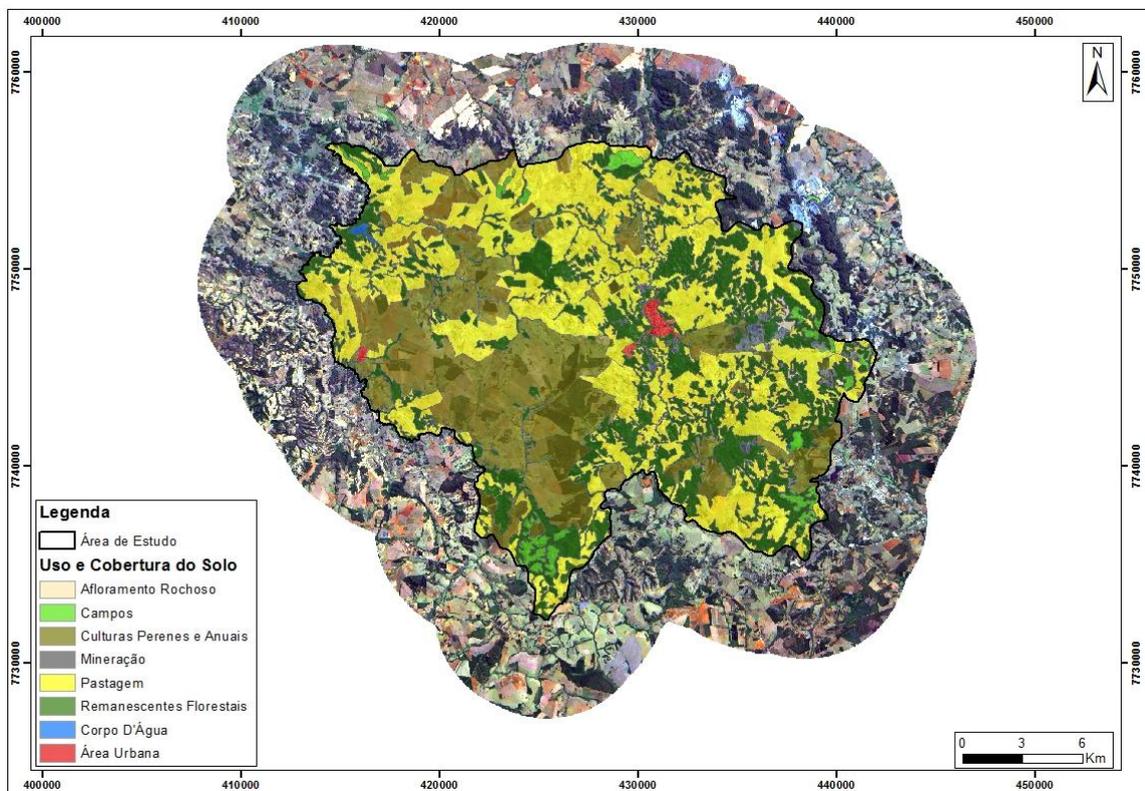


Figura 03: Mapa de Uso e Cobertura do Solo

- **Dados Morfométricos**

A base para o mapeamento morfométrico foi o Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborado a partir de imagens do sensor Aster GDEM, adquirido também da USGS (Earth Explorer). As imagens foram tratadas, filtradas e reamostradas para 10 metros visando auxiliar na visualização da hipsometria do terreno e na elaboração do mapa de declividade.

Esse mapa foi elaborado por meio da ferramenta *Slope* do Software ArcGis 10 com a definição de 5 classes conforme apresentado na Figura 04.

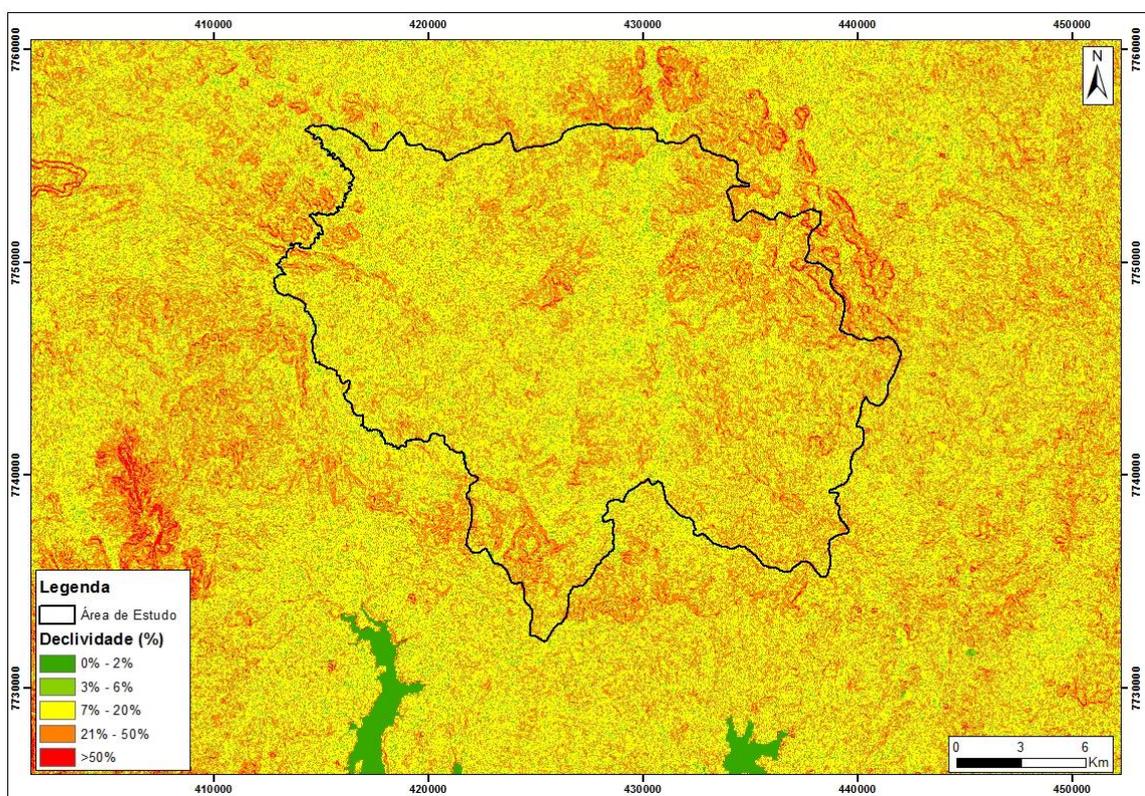


Figura 04: Mapa de Declividade

- **Dados Pluviométricos**

Devido à inexistência de uma estação pluviométrica instalada no município de Pains os dados pluviométricos foram coletados de 07 estações de municípios do entorno, são eles: Bambuí, Iguatama, Arcos, Piumhi, Formiga, Pimenta e Guapé, conforme apresentado na Figura 05.



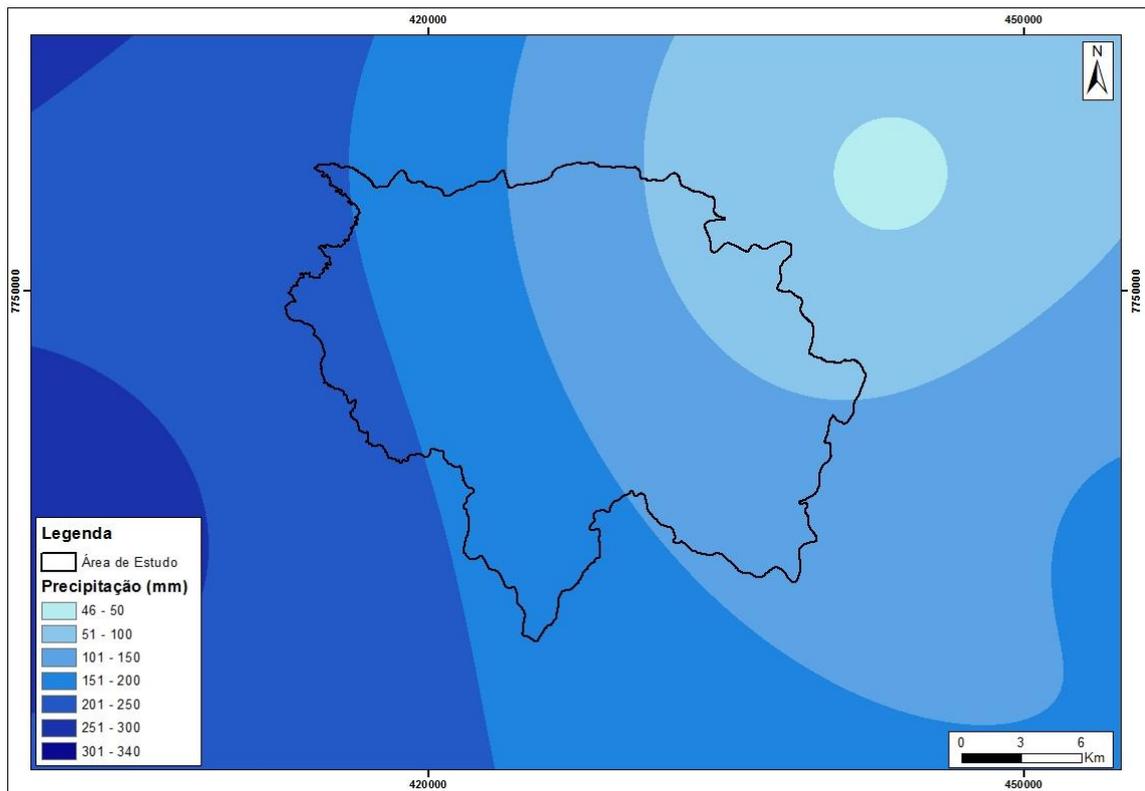


Figura 06: Mapa de Precipitação

- **Dados Geológicos e Pedológicos**

Foi realizado o conhecimento das classes desses dados por meio de sua simbologia no software ArcGis 10. Para essas variáveis foi mantido os dados originais conforme a Figura 07 e Figura 08.

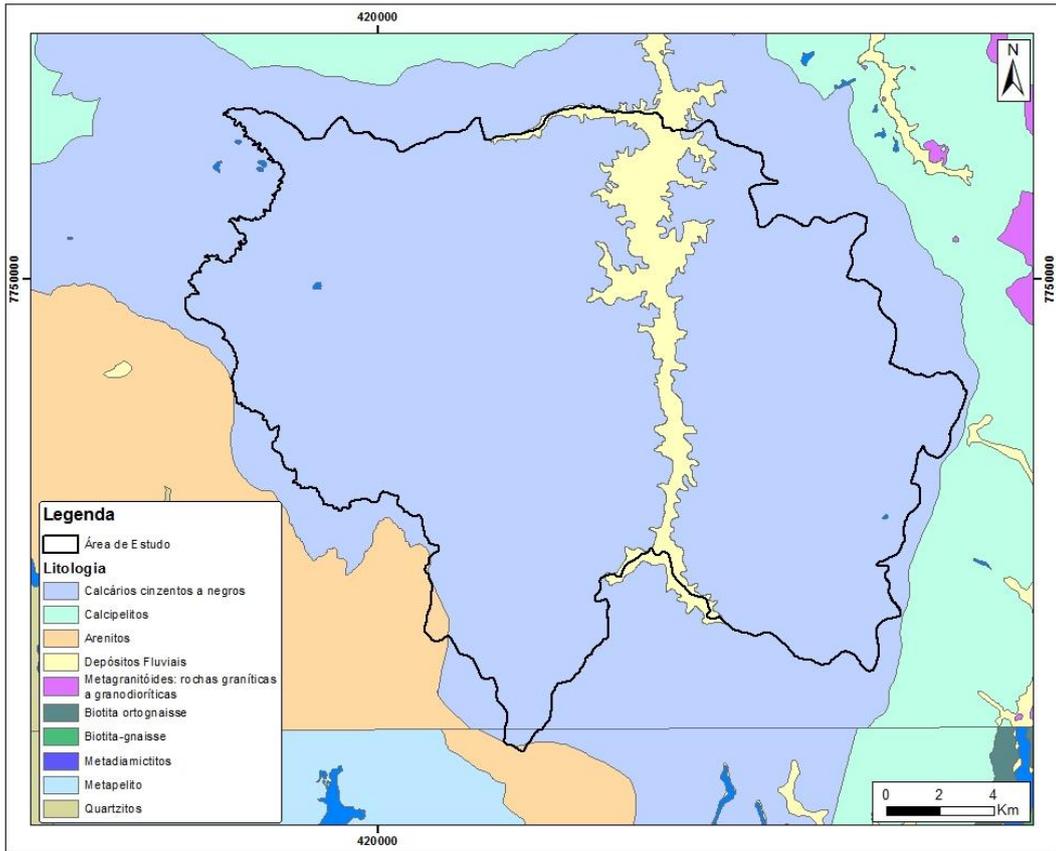


Figura 07: Mapa Geológico

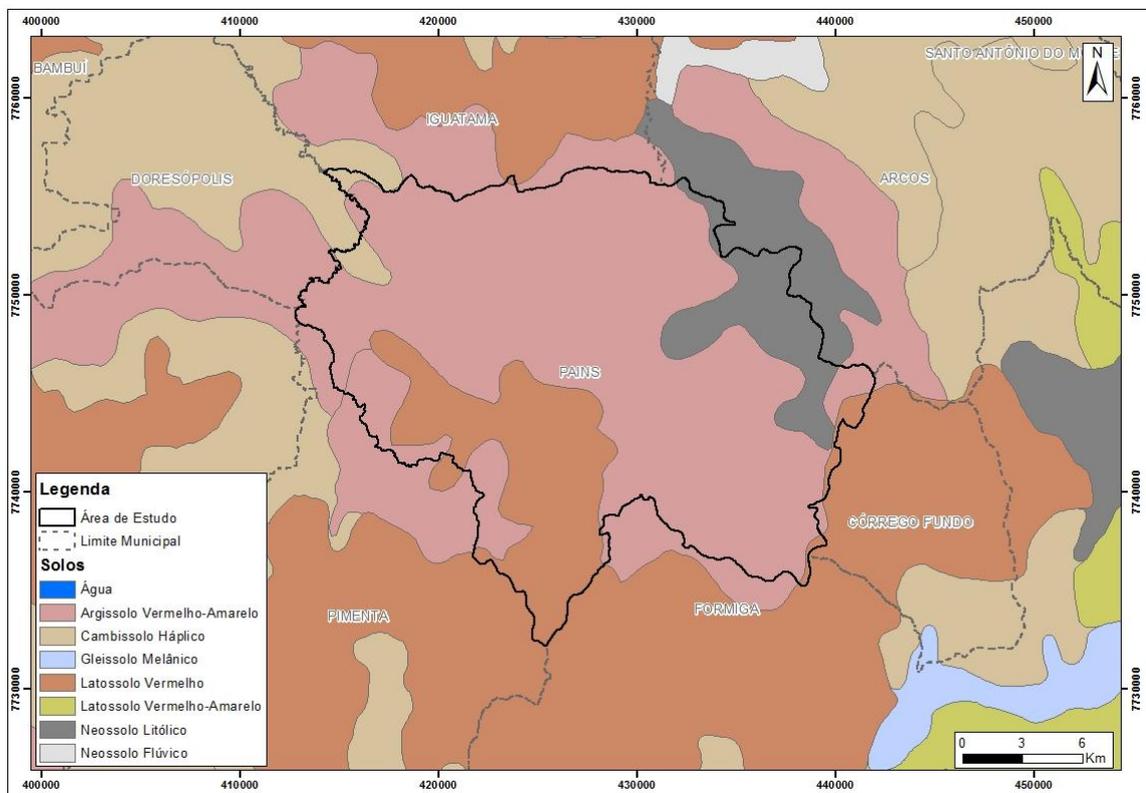


Figura 08: Mapa Pedológico

- **Dados das Cavidades Subterrâneas Naturais**

A definição das áreas de amortização das cavidades subterrâneas naturais foi realizada utilizando como referência o limite das áreas de preservação permanente (250 metros), Figura 09.

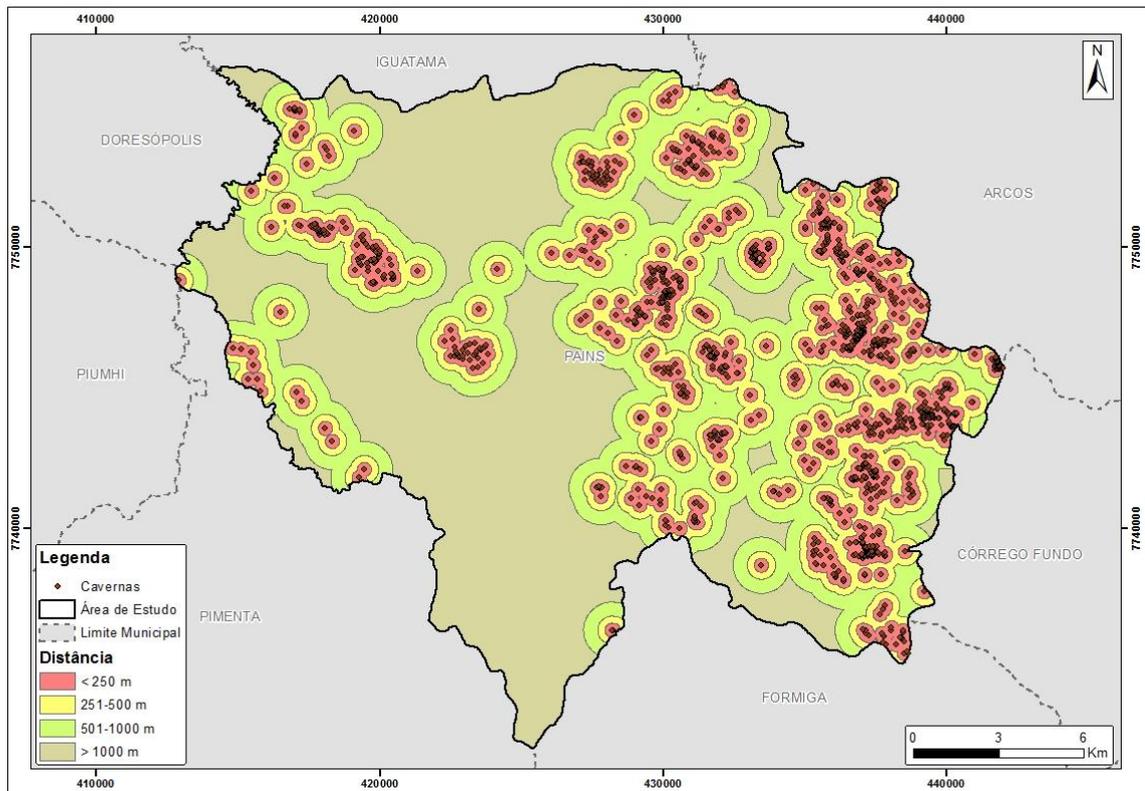


Figura 09: Mapa das Áreas de Amortização das Cavidades de Pains/MG

Essas áreas foram elaboradas por meio da ferramenta *Multiple Ring Buffer* em ambiente ArcGis utilizando as seguintes distâncias: até 250 metros, 251 a 500 metros, 501 a 1000 metros e acima de 1000 metros.

#### 4.2.3 Ponderação das Variáveis

Para essa etapa foi realizada uma adaptação do método definido por Crepani (2001). Cada plano de informação foi convertido do formato vetor para o formato raster e reclassificado. As notas das variáveis da geologia, pedologia, geomorfologia, climatologia e uso e cobertura do solo foram adotadas de acordo com os valores das notas propostas por Crepani (2001), onde foram atribuídos valores que variam de 3 a 1 conforme o grau de fragilidade. As notas adotadas para os dados das cavidades foram definidas a partir das

áreas de amortização mantendo o critério de quanto mais frágil maior a nota. O tamanho do pixel de saída de cada plano informação foi adequado ao valor de escala de menor detalhamento, ou seja, correspondente a variável pedologia. A Tabela 02 apresenta os valores propostos:

<b>Pedologia</b>	
<u>Classe</u>	<u>Nota</u>
Cambissolo Háptico	2,5
Latossolo Vermelho	1,0
Argissolo Vermelho Amarelo	2,0
Neossolo Litólico	3,0
<b>Geologia</b>	
<u>Classe</u>	<u>Nota</u>
Depósitos Fluviais	3,0
Calcário	2,9
Arenitos, Siltitos, Argilitos	2,7
<b>Uso e Cobertura do Solo</b>	
<u>Classe</u>	<u>Nota</u>
Corpo D'Água	0,0
Afloramento Rochoso	3,0
Área Urbana	3,0
Campos	2,8
Culturas Perenes e Anuais	2,9
Mineração	3,0
Pastagem	2,8
Remanescentes Florestais	1,7
<b>Geomorfologia (Declividade %)</b>	
<u>Classe</u>	<u>Nota</u>
< 2%	1,0
2 - 6	1,5
6 - 20	2,0
20 - 50	2,5
> 50	3,0
<b>Precipitação (mm)</b>	
<u>Classe</u>	<u>Nota</u>
50 - 75	1,1
75 - 100	1,2
100 - 125	1,3

125 - 150	1,4
150 - 175	1,5
175 - 200	1,6
200 -225	1,7
<b>Cavidade</b>	
<u>Classe</u>	<u>Nota</u>
< 250 metros	3,0
251 – 500 metros	2,0
Acima de 500 metros	1,0

Tabela 02: Notas e Pesos atribuídos a cada plano de informação

#### 4.2.4 Cruzamento dos Dados

Os dados reclassificados por meio das notas definidas para cada elemento das variáveis foram submetidos ao processo de álgebra de mapas por meio da equação de soma ponderada, conforme apresentado na Equação 01, onde FAN corresponde à fragilidade ambiental natural, C = cavidades, S = solos, G = geologia, U = uso e cobertura do solo, D = declividade e P = precipitação. O objetivo desse processo é realizar o cruzamento das variáveis obtendo como resultado o mapa de Fragilidade Ambiental Natural.

$$FAN = (C*0,39) + (S*0,27) + (G*0,14) + (U*0,10) + (D*0,06) + (P*0,03)$$

Equação 01: Equação Empírica Fragilidade Ambiental Natural.

A atribuição de pesos foi obtida por meio do método *Analytic Hierarchy Process – AHP* proposto por Saaty (1980). Este método subsidia a tomada de decisão através da hierarquização do problema com a atribuição de pesos que definem a contribuição relativa de cada variável envolvida na análise. A hierarquia é definida pelo especialista por meio da comparação par a par das variáveis sendo atribuído um critério de intensidade de importância relativa entre eles. Os critérios de referência e os valores de intensidade de importância utilizados na presente análise são apresentados respectivamente no Quadro 01 e na Tabela 03.

<b>Intensidade de Importância</b>	<b>Definição e Explicação</b>
1	Importância Igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância Moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância Essencial - um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância Demonstrada - um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema - a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2,4,6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais

Quadro 01: Escala de Valores AHP para a Comparação Pareada segundo Saaty 1980.  
 Fonte: Adaptado de Eastman et al (2005) *apud* Campos (2013)

<b>Variável</b>	<b>Cav.</b>	<b>Solo</b>	<b>Geol.</b>	<b>Uso</b>	<b>Decliv.</b>	<b>Precip.</b>
<b>Cav.</b>	1	3	7	4	4	9
<b>Solo</b>	1/3	1	5	6	9	6
<b>Geol.</b>	1/7	1/5	1	5	6	4
<b>Uso</b>	1/4	1/6	1/5	1	7	4
<b>Decliv.</b>	1/4	1/9	1/6	1/7	1	5
<b>Precip.</b>	1/9	1/6	1/4	1/4	1/5	1

Tabela 03: Matriz de Comparação e Vetor de Pesos

Na etapa seguinte foi executada a normalização dos valores da matriz de comparação com objetivo de igualar as unidades. Posteriormente obteve-se o vetor dos pesos por meio da média aritmética de cada linha da matriz normalizada.

Foram elaborados 03 cenários para avaliação do melhor vetor de pesos a ser implantado, Tabela 04, onde o melhor panorama foi cenário 01 representando bem as variáveis envolvidas.

Critérios	Pesos ( % )		
	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03
Cavidade	0,39	0,45	0,37
Solo	0,27	0,16	0,30
Geologia	0,14	0,17	0,12
Uso	0,10	0,11	0,11
Declividade	0,06	0,08	0,06
Precipitação	0,03	0,03	0,05

Tabela 04: Avaliação dos Cenários

Para avaliar o vetor de pesos obtidos da matriz foi calculada a razão de consistência. O resultado desse cálculo foi de  $-0,88$  indicando uma boa consistência, já que valores superiores a 0,1 indicam julgamentos não confiáveis sendo necessário reavaliar a matriz de comparação.

#### 4.2.5 Análise das Informações

Para subsidiar na análise ambiental foram confeccionados três mapas contendo o mapeamento do uso do solo com as áreas de preservação permanente das cavidades naturais subterrâneas, o mapa dos processos minerários com a identificação da fragilidade ambiental e o mapa dos processos minerários juntamente com a localização das cavidades. A partir do mapa de uso e cobertura do solo e cavidades foi possível quantificar e identificar as tipologias inseridas nas áreas de preservação permanente. Além dessa identificação foi feita a análise da fragilidade ambiental com relação ao uso e cobertura do solo com a presença das cavidades e a assimilação da fragilidade com os processos minerários.

#### **4.2.6 Elaboração do Mapa Final**

Com o plano de informação resultante do processo de álgebra de mapas foi elaborado um mapa com 06 classes de análise definidas pelo método de classificação Desvio Padrão, denominadas de Estável, Moderamente Estável, Medianamente Estável/Vulnerável, Medianamente Estável/Vulnerável – Estágio Médio, Moderamente Vulnerável e Vulnerável. Essas classes foram definidas a partir da tabela de escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas apresentadas por Crepani (2001). Posteriormente foi elaborado um *layout* contendo o raster classificado e os principais elementos de um mapa.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E CONCLUSÕES

#### 5.1. Mapa de Fragilidade Ambiental Natural

O mapa de fragilidade ambiental natural, Figura 10, apresenta como variáveis os dados geológicos, pedológicos, climatológicos, morfométricos, cavidades e uso e cobertura do solo.

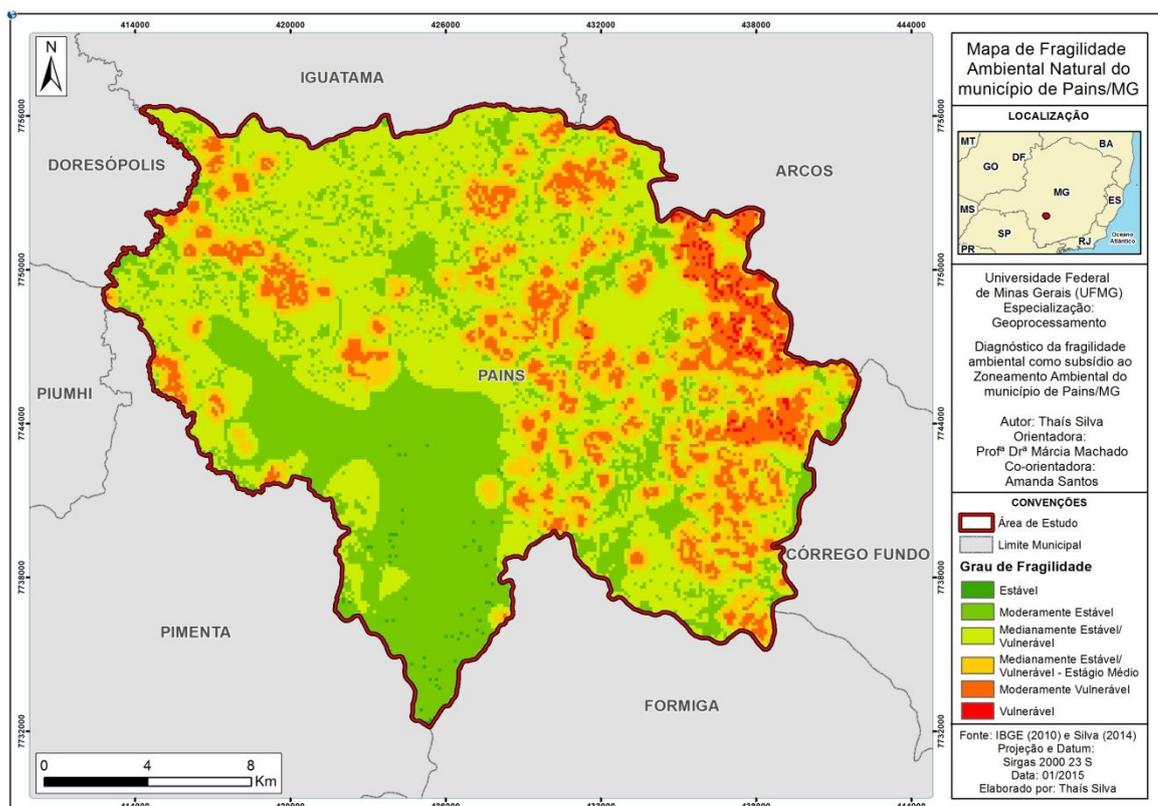


Figura 10: Mapa de Fragilidade Ambiental Natural.

Por meio de sua análise desse mapa é possível perceber que as áreas de fragilidade ambiental natural denominada como vulnerável (alta fragilidade) estão situadas, predominantemente, em áreas de amortização de cavidades de até 250 metros juntamente no contato com culturas perenes, mineração sobre Argissolos, Neossolo com o afloramento rochoso e pastagem. Esse ambiente contribui para a morfogênese prevalecendo os processos erosivos, modificadores das formas de relevo.

As áreas moderadamente vulneráveis podem ser encontradas em ambientes de grande concentração das cavidades em contato com Neossolos, Argissolos e Cambissolos. O encontro do Neossolo com declividade acima de 20% e ocorrências de calcários e afloramentos rochosos, mineração e campos caracteriza ainda mais esse ambiente moderadamente vulnerável. Mesmo com a expressiva presença de remanescentes florestais na porção noroeste do município a fragilidade ambiental permanece moderadamente vulnerável devido ao contato com solos instáveis com horizontes pouco desenvolvidos (Neossolo). Algumas regiões da porção nordeste consideradas também com moderadamente vulneráveis estão associadas ao contato dos Argissolos e Cambissolos sob pastagem, culturas perenes e anuais com expressivas ocorrências de cavidades, remanescentes florestais e campos sendo a precipitação superior a 175 mm.

Nas áreas medianamente estáveis em transição para ambientes moderadamente vulneráveis em estágio médio estão localizadas em zonas de amortização de cavidades de até 500 metros das cavidades Argissolo, Cambissolo e Neossolo em contato com pastagens, culturas perenes e anuais e declividade variando de 6 a 20%.

A fragilidade, de maior expressão no território de Pains, Medianamente Estável/Vulnerável está situada em áreas de amortização de cavidades superior a 500 metros e áreas em contato com os depósitos fluviais. É importante ressaltar que esses depósitos fluviais são materiais inconsolidados compostos por cascalhos, areia, silte e argila associados às encostas íngremes. Também há ocorrências de Argissolos com pastagens e culturas e Cambissolos com remanescentes florestais, pastagens e campos.

Com expressiva ocorrência a fragilidade Moderadamente Estável é caracterizada por arenitos com declividade entre 6 a 20% e baixa ocorrência de cavidades. Um fator preponderante é o contato de Latossolos sob remanescentes florestais, culturas e pastagens e Argissolos com remanescentes florestais.

Os ambientes Estáveis ocorrem em áreas onde há o contato de Latossolos com remanescentes florestais e em áreas de vegetação ripária com declividade inferior a 6%.

Por meio da análise da fragilidade ambiental natural de Pains é possível concluir que predomina o equilíbrio entre a pedogênese e morfogênese com expressiva ocorrência dos

processos de pedogênese seguida dos processos de morfogênese conforme apresentado na Tabela 05.

<b>Fragilidade Ambiental Natural</b>	<b>Processos</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Estável	Pedogênese	70,78	0,17
Moderamente Estável	Pedogênese	11733,02	28,09
Medianamente Estável/Vulnerável	Equilíbrio Pedogênese e Morfogênese	17232,52	41,26
Medianamente Estável/Vulnerável - Estágio Médio	Equilíbrio Pedogênese e Morfogênese	7856,72	18,81
Moderamente Vulnerável	Transição para Morfogênese	4637,09	11,10
Vulnerável	Morfogênese	240,50	0,58

Tabela 05: Relação da fragilidade ambiental com os processos de morfogênese e pedogênese.

## **5.2. Mapa de Abrangência dos Processos Minerários e Cavidades**

O município de Pains concentra 231 processos minerários em fase de autorização de pesquisa, concessão de lavra, disponibilidade, licenciamento, requerimento de lavra e requerimento de pesquisa, conforme representado na Figura 11. Em seu território é possível encontrar 1400 cavidades subterrâneas sob calcarenitos e depósitos fluviais.

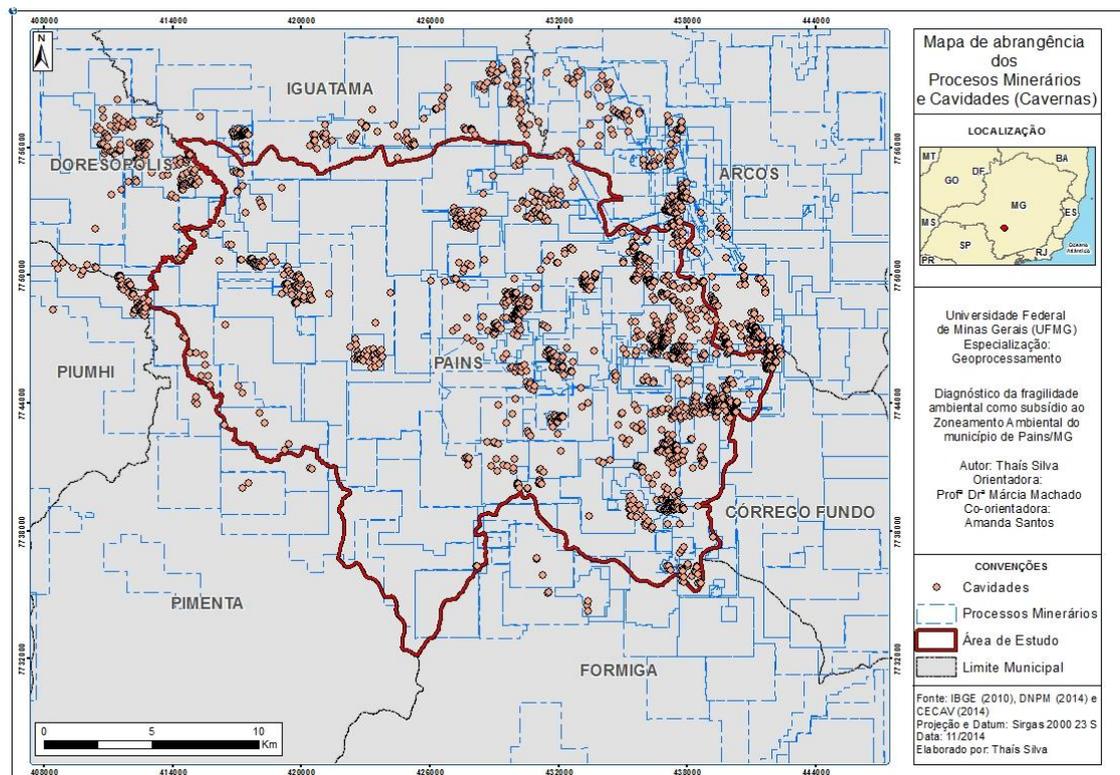


Figura 11: Mapa de Abrangência dos Processos Minerários e Cavidades.

Nos 27 processos minerários que estão em fase de concessão de lavra estão localizadas 302 cavidades. Nos processos em fase de requerimento de lavra (72) são encontradas 878 cavidades, já nos processos em licenciamento (4) estão inseridas 77 cavidades.

Com tantos processos minerários e cavidades contidos no município é evidente que há conflito entre os interesses de exploração mineral e preservação das cavidades, sendo necessário rever as políticas adotadas pelo poder público.

### 5.3. Mapa de Localização dos Processos Minerários com a Fragilidade Ambiental

O mapa de localização dos processos minerários com a fragilidade ambiental natural, Figura 12, expressa a intensa demanda pelos recursos minerais sob ambientes frágeis.

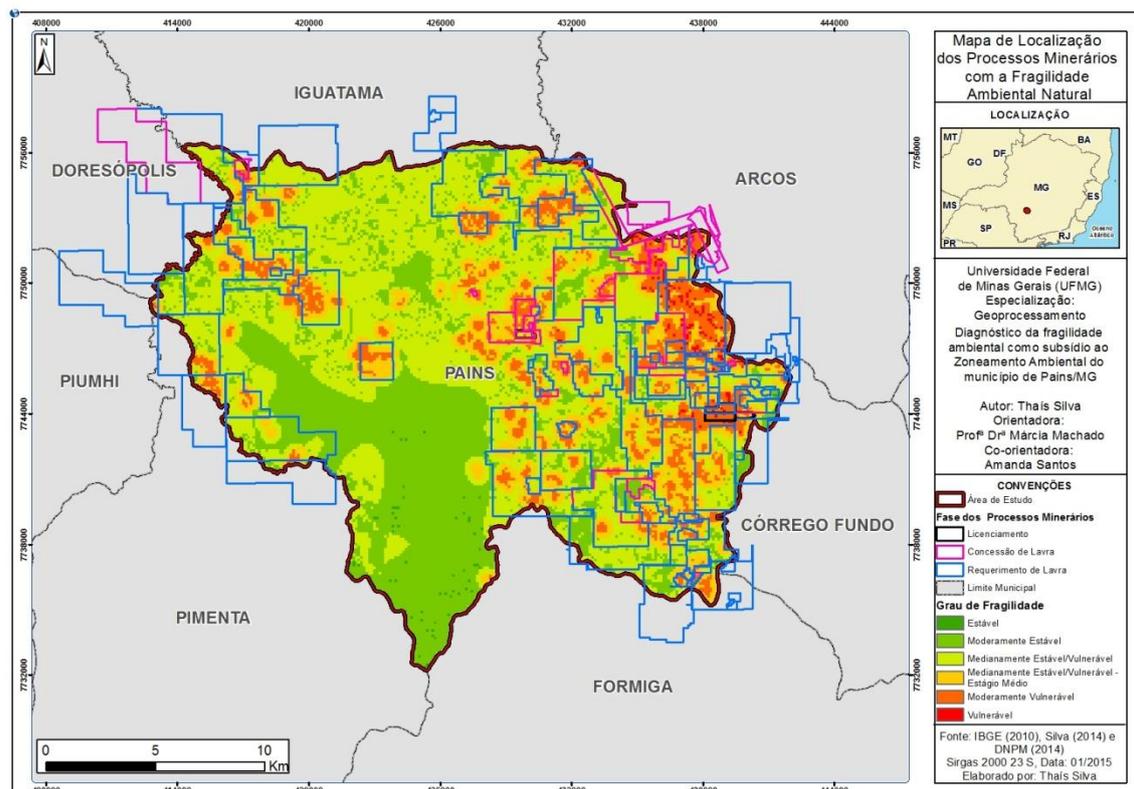


Figura 12: Mapa de Localização dos Processos Minerários com a Fragilidade Ambiental Natural.

Por meio deste mapa é possível perceber que os processos de concessão de lavra, requerimento de lavra e licenciamento estão concentrados em áreas medianamente estável/vulnerável e moderadamente vulnerável com inexpressiva ocorrência de ambientes estáveis, ou seja, de baixa fragilidade ambiental. Portanto 37,11% das áreas de concessão de lavra e 38,89% das áreas dos processos em requerimento de lavra estão inseridos em ambientes medianamente estáveis a vulneráveis, sendo que 69,10% das áreas dos processos em fase de licenciamento estão em ambientes moderadamente vulneráveis.

É necessário destacar que há vários processos de requerimento de lavra em áreas com alta fragilidade ambiental e com uma quantidade significativa de cavidades. Esses processos por ainda estarem na fase de requerimento devem ser bem avaliados para que essa condição de fragilidade não seja agravada.

#### 5.4. Mapa de Uso e Cobertura do Solo em Contraposição as Áreas de Preservação Permanente das Cavidades Subterrâneas Naturais

O uso e cobertura do solo do município de Pains estão relacionados a processos de degradação ambiental com pouca preservação da vegetação nativa, onde 41,46% de seu

território (42.157,99 hectares) é composto por pastagem seguido de culturas perenes e anuais (28,33%), remanescentes florestais (26%), campos (2,19%), mineração (1,06%), área urbana (0,59%), afloramento rochoso (0,24%) e corpos d'água (0,13%).

A Figura 13 apresenta o mapeamento do uso e cobertura do solo com as áreas de preservação permanente das cavidades naturais subterrâneas. Neste mapa é possível verificar quais áreas estão sendo preservadas no entorno das cavidades e quais as áreas não preservadas.

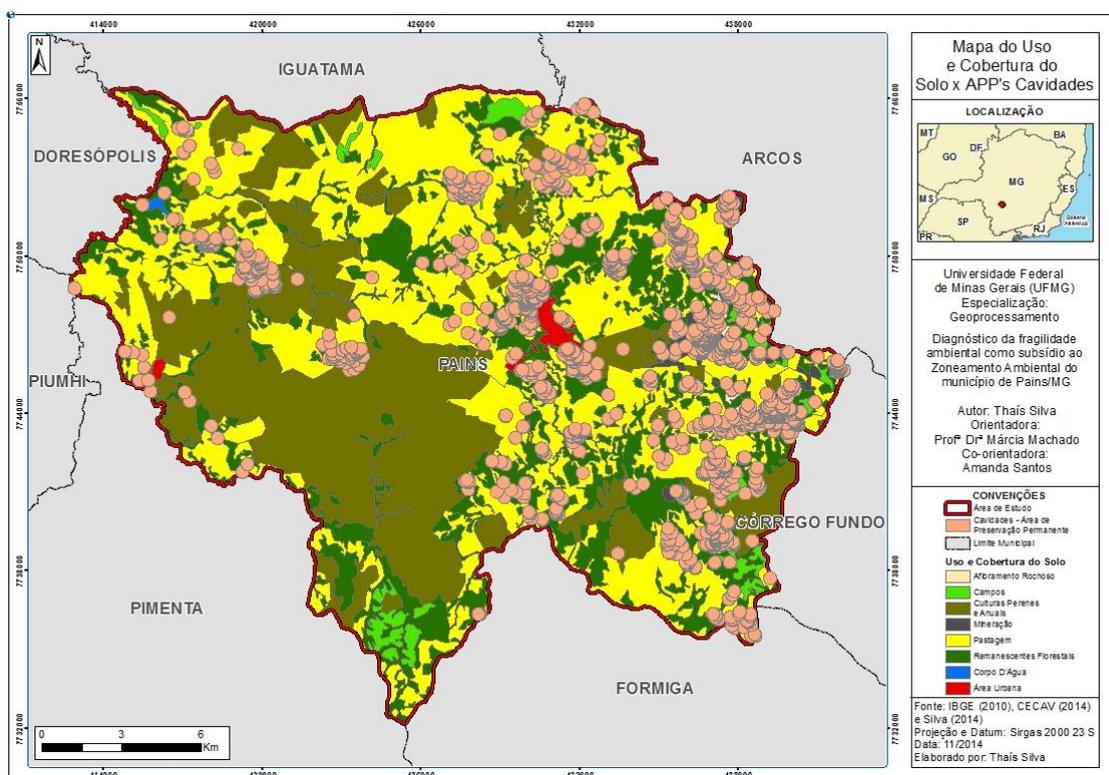


Figura 13: Mapa de Uso e Cobertura do Solo em contraposição as Áreas de Preservação Permanente das Cavidades.

Com esta análise é possível abstrair as informações contidas no mapeamento com as áreas de preservação permanente, onde a Tabela 06 apresenta o percentual contido em cada área de preservação permanente.

Uso do Solo x APP's Cavidades		
Tipologia	Área (ha)	%
Afloramento Rochoso	437,63	1,61%
Água	34,98	0,13%
Área Urbana	120,42	0,44%

<b>Tipologia</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Campos	486,92	1,79%
Culturas Perenes e Anuais	1109,59	4,08%
Mineração	1686,82	6,20%
Pastagem	9352,58	34,38%
Remanescentes Florestais	13975,09	51,37%
Área Total de APP's	27204,04	100,00%

Tabela 06: Quantificação das Áreas de Preservação Permanente com Uso e Cobertura do Solo.

Neste contexto, mesmo o município apresentando a maior parte de seu uso e cobertura do solo antropizados, cerca de 51,37% das áreas de preservação permanente das cavidades encontram-se em áreas de remanescentes florestais, ou seja, preservadas. Mesmo com um percentual maior do que 50% de áreas preservadas é necessário atenção, já que uma parcela significativa das áreas de preservação permanente de cavidades estão relacionadas com tipos de uso e sujeitas a degradação ambiental.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O resultado obtido nesse diagnóstico permitiu análises ambientais associadas com a qualidade ambiental e com as áreas de restrição relacionadas às cavidades subterrâneas naturais de Pains. As bases cartográficas, os mapas e as análises ambientais construídas podem vir a contribuir para a elaboração do Zoneamento Ambiental do município já que o mesmo não possui plano diretor para nortear quanto ao uso e ocupação do solo e ao planejamento territorial.

A análise dos processos minerários, das cavidades e suas respectivas áreas de preservação permanente, assim como o mapeamento do uso do solo permitiram uma análise integrada da situação ambiental do município de Pains evidenciando a necessidade emergente de fiscalização e planejamento ambiental.

Considerando a fragilidade ambiental natural mapeada verifica-se que a classe Medianamente Estável/Vulnerável apresenta maior ocorrência no município com o predomínio do equilíbrio entre a pedogênese e morfogênese, sendo necessário um maior acompanhamento do poder público no monitoramento ambiental, já que o uso e cobertura do solo presentes em Pains indicam um vetor de degradação.

É importante destacar que, embora a pesquisa tenha alcançado os objetivos propostos é possível aprimorar esse diagnóstico da fragilidade ambiental a partir da elaboração de bases cartográficas com maior detalhamento, principalmente para a variável pedologia, e a instalação de estações pluviométricas possibilitando a maior disponibilidade desses dados para a região. Outro fator importante é a hierarquização das cavidades quanto a sua fisionomia.

Diante disso, a utilização das ferramentas de geoprocessamento contribuiu efetivamente para o diagnóstico da fragilidade ambiental e mostrou como é inerente a sua manipulação para o monitoramento ambiental e planejamento territorial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTRAND, Georges. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Caderno de Ciências da Terra, n. 13, p. 1-27, 1971.
- Câmara, G.; Medeiros, C.B.; Casanova, M.A.; Hermely, A.; Magalhães, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação/UNICAMP, 1996.
- Campos, R. Rachel. **Análise espacial dos elementos da diversidade natural da porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero como subsídio para gestão territorial**. Dissertação (Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2013. 80-85 p.
- CPRM. **Geologia da Folha Guapé SF.23-V-B-IV**. Brasília, 2007. 1-18 p.
- CPRM. **Geologia da Folha Piumhi SF.23-V-B-II**. Brasília, 2008. 50 p.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S. de; Hernandez, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial**. São José dos Campos, 2001. 119 p.
- IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/2IZ4>. Acesso em 27 de set. 2014.
- IBGE. **Geomorfologia**. IBGE: Brasília, 2002.
- Gomes, S. Emerson; Vestena, R. Leandro. **O uso de geotecnologias para a análise espaço-temporal da expansão urbana de Guarapuava-PR entre 1995 e 2011**. In: Anais XVI do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu: SBSR, 2013. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0499.pdf>. Acesso em: 20 de nov. 2014.
- Grassi, Jean; Deppe, Flavio; Lohmann, Marciel; Sangoi, S. Dionísio. **Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamento de terra no Estado do Paraná**. In: Anais XVI do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu: SBSR, 2013.

Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0608.pdf>. Acesso em: 25 de nov. 2014.

Monteiro, F. A. Carlos. **Derivações Antropogenéticas dos Geossistemas Terrestres no Brasil e Alterações Climáticas**. RA'EGA – O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba-Universidade Federal do Paraná, v.5, 2001. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/raega/article/view/18325>. Acesso em 15 de nov. 2014.

Ross, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para o Planejamento Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208 p.

Ross, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. In: Revista do Departamento de Geografia, nº 8. FFLCH. USP. São Paulo, 1994.

Schneider, Vailson. **Mapeamento geomorfológico e zoneamento ambiental de fragilidades na bacia hidrográfica do Rio Barra Seca – Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2011. 138p. Disponível em: [http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_5240\\_vailson.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_5240_vailson.pdf). Acesso em: 05 de nov. 2014

Secretaria de Estado da Educação/PR. SEED-PR. **Secretaria da Educação: Geotecnologias**. Disponível em: <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=116>. Acesso em 10 de nov. 2014.

Sporl, Christiane. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. Tese (Doutorado em Geografia)-Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo – USP, 2007. 185p. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-10102007-145640/pt-br.php>. Acessado em 10 de nov. 2014.

Tancredi, H. S. Nicola; Borges, S. Mauricio. **Aplicação de Geoprocessamento na análise ambiental das bacias hidrográficas do Igarapé Juruti Grande e rio Aruã – Juruti – Pará**. In: Anais XIV do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal: SBSR, 2009. Disponível em:

<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.04.45/doc/6321-6328.pdf>.

Acesso em: 25 de nov. 2014.

Tricart, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97 p.

Universidade Federal de Viçosa-UFV. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010