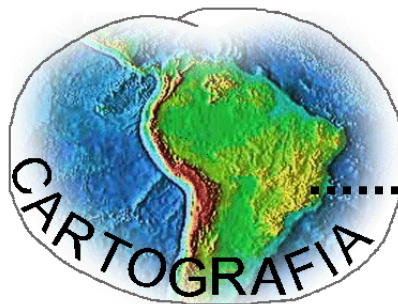


Gabriela Oliveira Rosário

Análise espacial aplicada à  
determinação do risco de erosão do  
solo na porção Noroeste do  
município de Itabirito

XII Curso de Especialização em Geoprocessamento  
2010



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

R789a Rosário, Gabriela Oliveira.

2010

Análise espacial aplicada à determinação do risco de erosão do solo na porção noroeste do município de Itabirito [manuscrito] / Gabriela Oliveira Rosário. – 2010.

viii, 33 f. : il. color.

Monografia (especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2010.

Orientador: Marcos Antônio Timbó Elmiro.

Bibliografia: f. 31-33.

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Análise espacial (Estatística). 3. Solos - Erosão - Itabirito (MG). I. Elmiro, Marcos Antônio Timbó. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 528.8(815.1)

**GABRIELA OLIVEIRA ROSÁRIO**

**ANÁLISE ESPACIAL APLICADO À DETERMINAÇÃO DO RISCO DE EROSÃO  
DO SOLO NA PORÇÃO NOROESTE DO MUNICÍPIO DE ITABIRITO**

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.

Orientador: Prof. Marcos Antônio Timbó Elmiro

**BELO HORIZONTE**

**2010**

Rosário, Gabriela Oliveira

Análise espacial aplicado à determinação do risco de erosão do solo na porção Noroeste do município de / Gabriela Oliveira  
Rosário - Belo Horizonte, 2010.

vi, 41 f.: il.

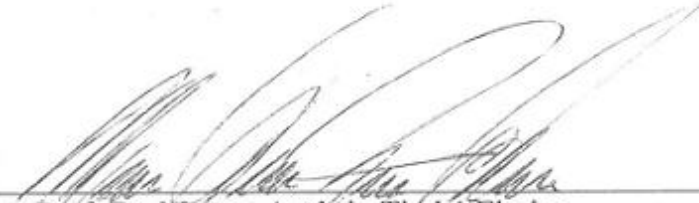
Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento Cartografia, 2010.

Orientador: Prof. Marcos Antônio Timbó

1. Análise espacial 2. SIG 3. Erosão do solo.

Aluno (a) Gabriela Oliveira Rosário

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 16 de dezembro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



---

Prof. Dr. Marcos Antônio Timbó Elmiro



---

Prof. Dr. Plínio Temba

## RESUMO

As interferências antrópicas alteram a dinâmica natural do meio refletindo os seus efeitos nos elementos da paisagem. Algumas vezes a falta de atenção e conhecimento sobre a dinâmica do relevo leva as ações de uso e ocupação do mesmo aos riscos de vidas humanas, aos riscos aos patrimônios naturais e culturais, em geral, e à formação de cicatrizes erosivas na paisagem. Após inúmeras experiências decorrentes dos descuidos no processo de urbanização, há atualmente formas de investigar as condições do meio, para que durante o planejamento urbano se conheça as limitações do relevo, e após a urbanização tenham estudos ou diagnósticos que previnam o aceleração de processos naturais (processos erosivos principalmente). Neste trabalho pretende-se obter como produto final o mapa temático de vulnerabilidade a erosão que servirá para futuro monitoramento e investigação da área de estudo; à criação de um banco de dados com informações espacializadas, bem como a caracterização da região quanto a erosão, utilizando-se os software Spring 5.1.6 e o ArcGis 9.2. A metodologia envolvida consiste na aplicação da Análise Multicritérios permitindo o cruzamento das variáveis selecionadas (declividade, solo, geologia e uso e ocupação), combinação destas por álgebra de matrizes através da média ponderada, onde foram atribuídos os pesos para cada variável e notas para suas componentes, gerando o mapa de risco de erosão. O resultado obtido é uma superfície potencial com resultados por pixel das áreas que possuem risco de erosão. A análise espacial indica a possibilidade, o cruzamento e integração das variáveis, partindo inicialmente da seleção, organização e manipulação dos dados espacializados, sendo necessário, atribuir pesos nas variáveis e notas aos componentes de legenda e posterior agrupamento em classes, como diferentes graus de limitação. As etapas da análise espacial permeiam a análise da situação vigente, somando ao conhecimento obtido através desta análise, permitindo avaliar e construir propostas de intervenção ambiental, uma vez que o fenômeno se constitui o principal componente de degradação dos solos.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	9
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	10
1.1 - Apresentação .....	10
1.2 – Objetivos.....	11
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 – Revisão bibliográfica.....	12
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 – Caracterização da área de estudo .....	17
3.2 – Levantamento dos dados e produção dos mapas.....	19
3.2.1 – Mapa de uso e ocupação do solo .....	19
3.2.2 – Modelo digital de terreno: aspectos geológicos e geomorfológicos.....	21
3.3 – O procedimento de Análise de Multicritério .....	25
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	27
4.1 – Análise Multicritérios .....	27
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 – Localização da área de estudo .....	10
3.1 – Fluxograma da estrutura geral da metodologia .....	17
3.2 – Mapa geológico da área de estudo.....	18
3.3 – Mapa de uso e ocupação da área de estudo .....	20
3.4 – Vista de Oeste para Leste da área de estudo.....	21
3.5 – Mapa topográfico da área de estudo .....	22
3.6 – Mapa de declividade da área de estudo .....	23
3.7 – Mapa de solos da área de estudo .....	24
3.8 – Fluxograma da estrutura geral da metodologia .....	25
4.1 – Mapa de risco de erosão da área de estudo.....	27



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 – Valores de Fator de Erodibilidade para solos.....	25
3.2 – Árvore de decisões na avaliação da síntese de risco de erosão .....	26
4.1 – Classificação quanto ao Risco de Erosão .....	28

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação

As interferências antrópicas alteram a dinâmica natural do meio refletindo os seus efeitos nos elementos da paisagem. Algumas vezes a falta de atenção e conhecimento sobre a dinâmica do relevo leva as ações de uso e ocupação do mesmo a riscos de vidas humanas, a riscos aos patrimônios naturais e culturais, em geral, e à formação de cicatrizes erosivas na paisagem. Após inúmeras experiências decorrentes dos descuidos no processo de urbanização, há atualmente formas de investigar as condições do meio, para que durante o planejamento urbano se conheça as limitações do relevo, e após a urbanização tenham-se estudos ou diagnósticos que previnam o aceleração de processos naturais (processos erosivos principalmente). Esses estudos podem ser auxiliados pelo uso do geoprocessamento, que permitindo analisar e monitorar diferentes processos resultantes da interação sociedade, natureza e espaço geográfico.

Neste trabalho pretende-se obter como produto final o mapa temático de vulnerabilidade a erosão que servirá para futuro monitoramento e investigação da área de estudo; à criação de um banco de dados com informações espacializadas, bem como a caracterização da região quanto a erosão, utilizando-se os software Spring 5.1.6 e o ArcGis 9.2. O primeiro foi utilizado para extrair informações da imagem de satélite Ikonos e do modelo digital de elevação. O ArcGis 9.2 permitiu representar e fazer uma análise a partir de critérios qualitativos partindo de informações de uso e ocupação do solo, declividade, geologia e de solos da região.

Os solos desempenham papel importante nas atividades antrópicas, pois são a base de sustentação de grande parte delas. Os solos refletem a interação da rocha de origem, declividade, clima e elementos bióticos, constituindo, em grandes escalas, fornecedores de informações sobre o meio. A erosão é o principal fenômeno de degradação do solo, com sérios reflexos na dinâmica do meio. O mapa de vulnerabilidade a erosão busca mostrar a expectativa de perda de solos sob sistemas alternativos de ocupação da terra, fornecendo a base para seleção de áreas prioritárias quanto à conservação do solo.

A área de estudo corresponde a uma porção de 811,44 ha, situada a noroeste do município de Itabirito, na zona, hoje, considerada urbana (Figura 1.1), onde uma malha urbana vem se instalando nos últimos anos. Essa foi selecionada por apresentar grande potencial para a expansão urbana e de acordo com a expressão morfológica, possuir escoamento superficial, infiltração e drenagem que favorecem a erosão.

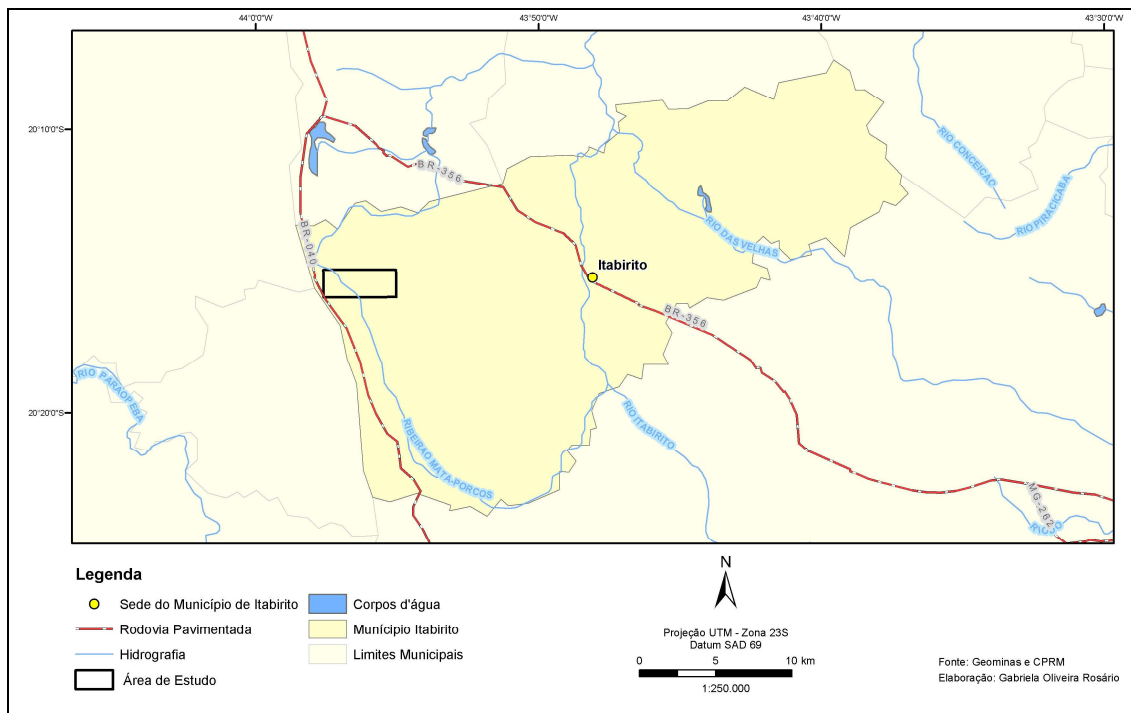


Figura 1.1: Localização da área de estudo

## 1.2 Objetivos

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo identificar, em estudo de caso, o risco de erosão com aplicação de um SIG. Para tanto, será utilizado critério qualitativo a partir de informações de declividade, solos, geologia e uso e ocupação da área. Além disso, pretende-se caracterizar e compartimentar a morfologia considerando as particularidades do relevo da área de estudo e verificar a ocupação da paisagem sob a ação antrópica e suas possíveis conseqüências.

Este trabalho contribuirá para a obtenção do conhecimento sobre a problemática do risco a erosão, considerando as informações que podem compor um banco de dados, com vista aos estudos de risco de erosão dos solos. Além disso, demonstrará, através da metodologia

envolvida, como é possível estudar e monitorar, prevenindo riscos, com ajuda das técnicas do geoprocessamento.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Considerando que este trabalho almeja tanto demonstrar a importância da contribuição do geoprocessamento, principalmente a análise espacial, no estudo e monitoramento ambiental, quanto discutir as características do uso e ocupação e as características geomorfológicas de uma porção do município de Itabirito, faz-se necessária a interação de técnicas, mas também conhecimentos específicos de geoprocessamento, uma vez que, a interação de técnicas demanda conhecimentos para suportá-las e clareza do por quê e para quê do seu emprego. Este para quê remete ao entendimento do objeto do real estudado e monitorado. Caso contrário, o uso das técnicas de geoprocessamento ocorre de maneira inconsistente e desprovida de finalidades objetivas.

Portanto, os estudos para este trabalho apresentaram três etapas principais distintas: 1) o levantamento e estudo bibliográfico da região do estudo; 2) o trabalho técnico com base nas ferramentas de classificação espectral e análise espacial e 3) a análise dos resultados dos produtos gerados, sem que essa ordem deva constituir uma linearidade.

#### 2.1 – Revisão bibliográfica

Os estudos bibliográficos apoiaram-se entre duas frentes de leituras. As referentes ao geoprocessamento, mais especificamente a análise espacial, com destaque para a determinação das áreas que possuem risco de erosão, taxonomia das formas de relevo (geomorfologia) e processos erosivos, às leituras sobre as geociências da região e para os aspectos de uso e ocupação.

O advento das técnicas de Geoprocessamento através do SIG – Sistema de Informações Geográficas possibilita atualmente capturar e trabalhar informações espacialmente referenciadas. Para Câmara *et al.* (2002) o trabalho com as informações é possível, pois há mecanismos que permitem a entrada, edição, análise, visualização e saída dessas informações, incluindo assim, as técnicas do Geoprocessamento. Além disso, Câmara *et al.*

(2002) considera a união do SIG e a análise espacial importantes para incorporar o espaço ao estudo que será realizado:

“Com o uso de SIG e de análise espacial, podemos caracterizar adequadamente a forma de organização do espaço, mas não a função de cada um de seus componentes; podemos ainda estabelecer qual a estrutura do espaço, ao modelar o fenômeno em estudo.”

(CÂMARA *et al.* 2002, p. 21)

Segundo Cullen Jr. (2006), o SIG é uma ferramenta útil, pois ajuda na compreensão dos fenômenos naturais, além de facilitar a integração e análise dos dados gerando posteriormente uma apresentação final (os mapas ou relatórios). Além disso, o SIG pode ser usado no monitoramento e na análise da geodinâmica do relevo, pois é possível caracterizar o quadro geológico, geomorfológico e mapear diferentes formas de relevo.

Optou-se por trabalhar com um SIG por este desempenhar a captura, o gerenciamento, a manipulação, análise, modelagem e visualização dos dados espacialmente referenciados aplicados na busca de soluções de problemas em um programa de planejamento e gerência. Araújo et al (1995) considera que a utilização de um SIG possibilita integrar, numa única base de dados, informações provenientes de dados cartográficos, vetoriais e raster, combinar as informações de interesse, bem como consultar e visualizar e editar o conteúdo de base de dados.

A determinação de áreas que possuem risco de erosão leva a discriminar as regiões mais susceptíveis aos processos erosivos, mas o estudo propõe a determinação destas para subsidiar ações preventivas e corretivas da erosão. Os dados trabalhados no SIG fornecem a base para contextualizar a evolução do relevo da área de estudo, bem como os processos existentes, com fatores que influenciam no surgimento e evolução das erosões.

Através da cartografia, um método de análise e representação espacial, propõe-se a elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão utilizando-se o SIG, através do ArcGis. Na análise espacial da determinação das áreas que possuem risco de erosão, Chaves (1995) considera a utilização de modelos, por estes possibilitarem o estudo de vários cenários diferentes (o pior cenário possível e diferentes tipos de manejos e práticas de conservação do solo), com baixo custo e de forma rápida. Porém, é necessário considerar a aplicabilidade, à estrutura do modelo, os dados disponíveis e ao custo de obtenção, à

precisão, dentre outros fatores. Além disso, se tais cuidados não forem tomados, e o tipo de modelo selecionado e/ou os dados forem inadequados ou insuficientes, os resultados obtidos serão comprometidos (CHAVES, 1995). Oliveira et al (2009), utilizou em seu trabalho as técnicas e modelagem da erosão, pois estas proporcionam a avaliação dos impactos em diversos elementos da paisagem (agricultura, solos e recursos hídricos). A aplicação desse modelo tem sido facilitada pelo uso do SIG.

No presente trabalho, a seleção dos dados disponíveis, bem como a integração dos fatores para gerar o mapa determinando as áreas que possuem risco de erosão, baseou-se nas variáveis que compõe a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), segundo o modelo proposto por Wischmeier e Smith (1978), no qual a perda média anual de solo em toneladas por hectare ( $a$ ) é calculada por meio da integração dos seguintes fatores: Perda média anual de solo, erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento de rampa, declividade da vertente, uso e manejo do solo e práticas conservacionistas.

Segundo Stein (1995), a determinação das áreas susceptíveis a erosão exige uma abrangência multidisciplinar, onde os fatores condicionantes devem ser compreendidos no contexto de evolução do relevo, ou seja, as áreas de risco de erosão explicadas pelas características e propriedades do meio físico e agentes intervenientes. De acordo com Stein (1995),

“[...] a erodibilidade dos solos e a declividade das rampas são os fatores determinantes da susceptibilidade natural à erosão, estes resultados são relativos, pois dependem de valores que expressam associações de solos e caimentos médios de encostas.” (STEIN, 1995 56 p.)

Os fatores selecionados para compor o mapa de risco de erosão são: geologia, solos, uso e ocupação e declividade. Para tanto, faz-se necessário o estudo da geomorfologia da área de estudo, já que esta consiste na manifestação dos processos erosivos e a definição de susceptibilidades naturais à erosão é resgatada do conhecimento da dinâmica superficial da paisagem (STEIN, 1995). O estudo da organização, caracterização do relevo contribuem para alcançar o objetivo do trabalho.

Para Saadi (1997) a geomorfologia assume papel importante em estudo do ambiente, já que permite estabelecer prognósticos de questões voltadas para a problemática ambiental, no trato do monitoramento e avaliação de riscos geomorfológicos. Estes podem ocorrer nas vertentes, nos fundos dos vales e nos topos.

A Geomorfologia, como campo de conhecimento, busca conhecer e estudar as formas de relevo, estrutura, gênese, processos passados e atuais. Segundo Christofolletti (1980),

“A Geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo. As formas representam a expressão espacial de uma superfície, compondo as diferentes configurações da paisagem geomorfológica. É o seu aspecto visível, a sua configuração, que caracteriza o modelado topográfico de uma área. As formas de relevo constituem o objeto da Geomorfologia.” (CHRISTOFOLLETTI, 1980 1 p.)

Outros autores, como Guerra e Marçal (2006), colocam que a Geomorfologia

“Procura compreender as formas de relevo, em diferentes escalas espaciais e temporais, explicando não só a sua gênese, mas também como evoluem no tempo e no espaço [...] As formas de relevo e os processos associados têm sua origem na combinação dos processos que ocorrem no interior do planeta (forças endógenas) e aqueles externos (forças exógenas), vindo da atmosfera” (GUERRA; MARÇAL, 2006, P.73)

Em ambos os autores, as formas e os processos são postos como objeto de estudo. Porém, Guerra e Marçal (2006) chamam a atenção para a questão das escalas espacial e temporal. Quando se considera esse aspecto, está-se pensando, também, em uma referência teórica e metodológica para o estudo de um lugar e a possível classificação das formas de relevo.

Para Cailleux e Tricart (1956, p. 163, *apud* ABREU, 1982, p. 60), na classificação do relevo, devem-se considerar os fundamentos do princípio dinâmico e do dimensional:

“O princípio dinâmico consiste em classificar as formas segundo os mecanismos que surgem da ação predominante das forças externas, como um leito fluvial, uma praia marinha, um *inselberg*, ou das forças internas, como um vulcão, um *horst*, uma fossa oceânica profunda; o princípio dimensional resulta de se levar em consideração um outro aspecto da natureza: a dimensão das formas. Ele está



ligado à noção eminentemente geográfica, da escala. Por essência, ele é quantitativo ao passo que o princípio dinâmico é atualmente qualitativo.”  
(CAILLEUX; TRICART, 2006, p. 163)

De acordo com Souza (2009), a proposta de Cailleux e Tricart (1956) auxiliou bastante as propostas de mapeamento, naquele momento, e lançou uma luz para que se começasse a pensar que, dependendo do tamanho espacial de uma forma considerada, o tempo deixa de ser *geológico* e passa a ser *histórico*, e que uma forma do tempo histórica está contida em outra de tempo geológica.

Portanto, o estudo e análise do relevo são essenciais para examinar os efeitos e interferência do homem sobre os ambientes naturais. As formas do relevo retratam a atuação das atividades tectogenéticas (endógenas) e dos mecanismos morfoclimáticos (exógeno) pretéritos e atuais.

No processo de urbanização há intensa interferência da ação antrópica que afeta diretamente o comportamento morfodinâmico sobre as vertentes – 5º táxon na classificação do Ross (1992) – essas interferências tornam os processos erosivos estáveis e instáveis.

Florenzano (2002) coloca a interpretação de imagens de satélite como importante ferramenta para estudar e monitorar os usos do solo, bem como possíveis processos erosivos. Isso é possível unindo a capacidade de mapear dos sensores remotos com a utilização do SIG, que integra esta informação aos demais dados como a geologia, declividade, por exemplo.

Neste estudo, o trabalho técnico com o geoprocessamento compreendeu em aplicar as ferramentas e recursos do Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizar o software *Spring* para classificar a imagem de satélite Ikonos 2007; processamento e representação espacial dos dados, elaboração de modelos digitais, análise espacial da área e elaboração dos mapas, com o auxílio do ArcGis 9.2, utilizando o datum SAD69.

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma da Figura 3.1 apresenta a estrutura geral da metodologia utilizada para atingir os objetivos do trabalho. Cada tópico, assim como, os detalhes importantes para sua viabilização serão brevemente abordados.



Figura 3.1 - Fluxograma da estrutura geral da metodologia.

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Itabirito, região metropolitana de Belo Horizonte, localiza-se na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, na região do Quadrilátero Ferrífero. Segundo Teixeira (2000), o Quadrilátero Ferrífero é um dos maiores depósitos lateríticos de ferro do Brasil

contendo uma grande concentração de hematita (mineral de minério). De acordo com dados do CPRM – Serviço Geológico do Brasil, além dos depósitos de ferro, há também ricos depósitos de manganês, mármore, caulim, calcário industrial, dolomito, areia, dentre outros. A rica diversidade de recursos minerais atraiu a atenção de extrativistas desde a época colonial. Portanto, a história do município é marcada pela exploração mineral, que tornou possível a emancipação municipal, geração de capital, desenvolvimento dos setores industriais e de serviços e o processo de urbanização.

A área em estudo é formada por diferentes tipos de rochas, como o quartzito ferruginoso, quartzito cinza claro, friável, quartzito moscovita, mármore, filito dolomítico e argiloso, filito cor de alumínio, filito multicolorido e filito gráfitico, itabirito dolomítico, itabirito, gnaíse e granito, conforme mostrado no mapa geológico (Figura 3.2).

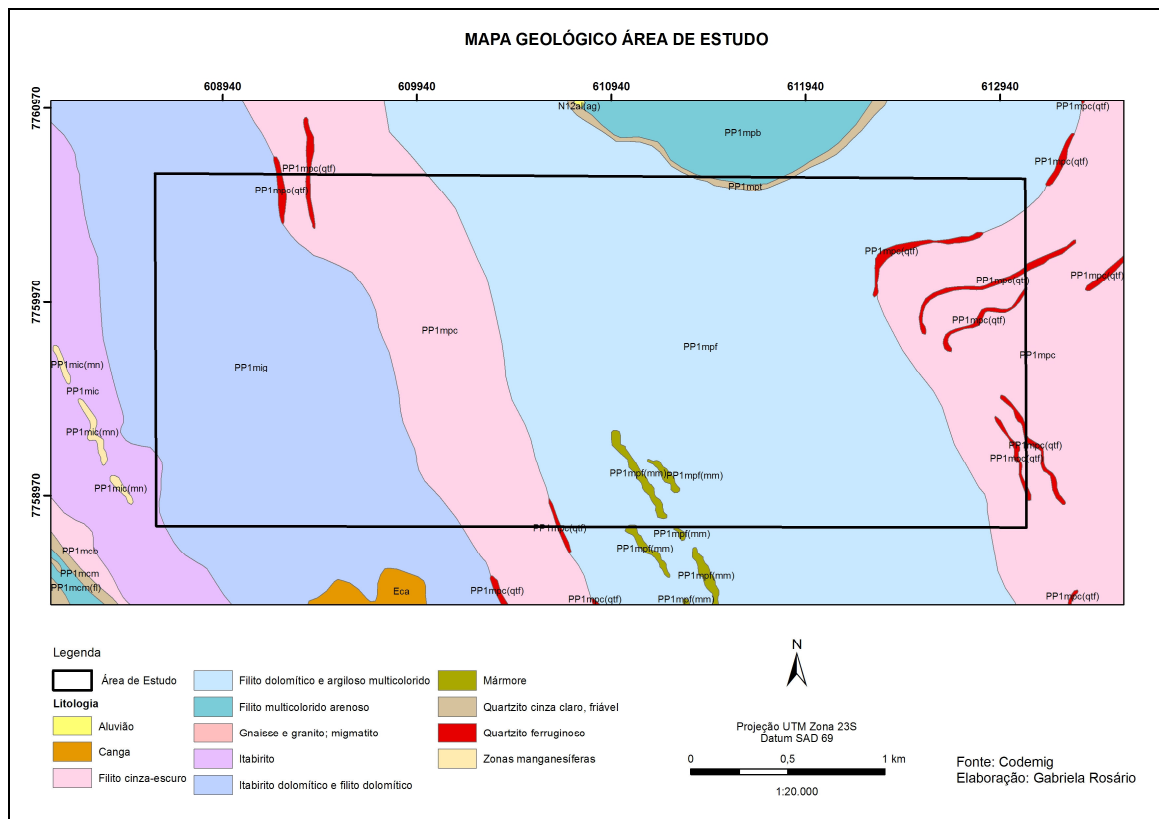


Figura 3.2 - Mapa geológico da área de estudo.

Verificam-se na área em questão diferentes tipologias de uso e ocupação. A oeste tem-se uma grande porção de vegetação preservada, porém com uma parcela ocupada com o uso urbano (Figura 3.3), cuja densidade é de média a baixa. A leste, grande parte possui vegetação rasteira/campo, solo exposto e cicatrizes erosivas, uso rural ocupado pela mineração (Figura 3.3). Essas características podem constituir aspectos que serão ou não

agravados de acordo com as condições climáticas da região. De acordo com os dados da INMET (1992) – Instituto Nacional de Meteorologia e da prefeitura de Itabirito , a região apresenta clima do tipo Tropical de Altitude, com precipitações de aproximadamente 1491 mm total ao ano, relevantes concentradas no período de novembro a janeiro.

## **3.2 – Levantamento dos dados e produção dos mapas**

### **3.2.1 – Mapa de uso e ocupação do solo**

Os dados do uso e ocupação do solo foram extraídos, utilizando o Spring 5.1.6, a partir da classificação da imagem de Satélite Ikonos 2007, 8bits, e um metro de resolução espacial.

A metodologia da classificação da imagem Ikonos, quanto aos padrões de uso e ocupação do solo, teve como premissa, a utilização do software Spring 5.1.6. Inicialmente preocupou-se em trabalhar com a qualidade da imagem aplicando-se o realce para o brilho, contraste e cor. O segundo passo foi utilizar o método estatístico para observar os desvios padrões dos tons de cinza para cada classe que deseja ser criada para encontrar o Limiar de Similaridade. Feito isso, foi preciso escolher o objeto com menor dimensão visualizável a ser classificado ou não. Desde que se conheça o objeto, ou seja, visualizar sua forma na imagem pode tirá-lo como parâmetro de área. Escolheu-se uma das casas (área é de 144 m<sup>2</sup>), para fazer a aplicação da segmentação usando o valor da área da casa e o limiar de similaridade.

O passo seguinte consistiu em definir as amostras para efetuar a classificação da imagem, que foram: área urbana, barragem de rejeito, barragem água, cava 01, cava 02, campo, corpos d'água, estrada pavimentada, solo exposto e vegetação. Nomearam-se as classes e logo após se escolheu as respectivas cores. Feito isso, se adquiriu o número de amostras que se fizeram necessários para as determinadas classes. Já na escolha das amostras fizeram o mais homogêneo possível para que não houvesse muita confusão no momento da classificação. Após este procedimento, analisaram-se as amostras através da matriz de confusão. Observou-se o desempenho médio em torno de 100% e o resultado foi salvo em arquivo shapefile como uso e ocupação do solo. O arquivo shapefile obtido da classificação da imagem Ikonos foi tratado e elaborou-se o mapa de uso e ocupação do solo (Figura 3.3).

A partir do mapa de Uso do Solo (Figura 3.3) é possível afirmar que 57% da área está ocupada por vegetação de campo; 24,0% por vegetação de porte arbóreo; 2,2% por

cicatrizes erosivas e 13% da área apresenta solo exposto. Os 3,8% restantes compreendem uma pequena área urbana, mineração, estradas e corpos d'água.

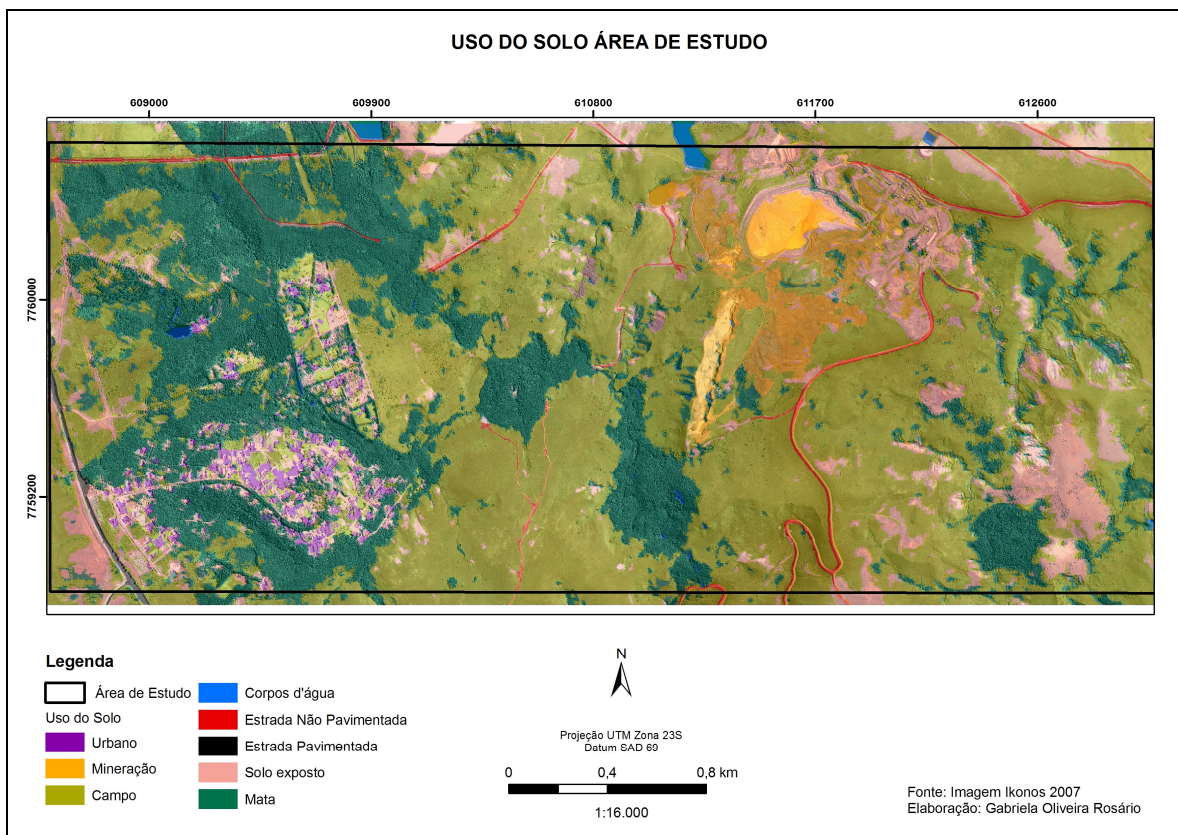


Figura 3.3: Mapa do uso e ocupação da área de estudo

As áreas de mineração, o solo exposto e a vegetação de campo concentram-se na parte leste do mapa, enquanto a vegetação arbórea e a mancha urbana estão na porção oeste. Essa vegetação de porte arbórea ocorre, principalmente, como mata ciliar, o que permite identificar os cursos d'água existentes na área em estudo. E, também, como mata galeria em vertentes côncavas e alguns topos.

### 3.2.2 – Modelo digital de terreno: aspectos geológicos e geomorfológicos

A geologia utilizada foi a disponibilizada pelo Codemig, cuja escala é de 1:50 000 e o mapa de solos foi elaborada a partir da base do Geominas. Já a declividade e modelo tridimensional (Figura 3.4) foram gerados a partir de uma DEM (Modelo Digital de Elevação) do projeto ASTER GDEM Global Digital Elevation Model, com 30m de resolução espacial.

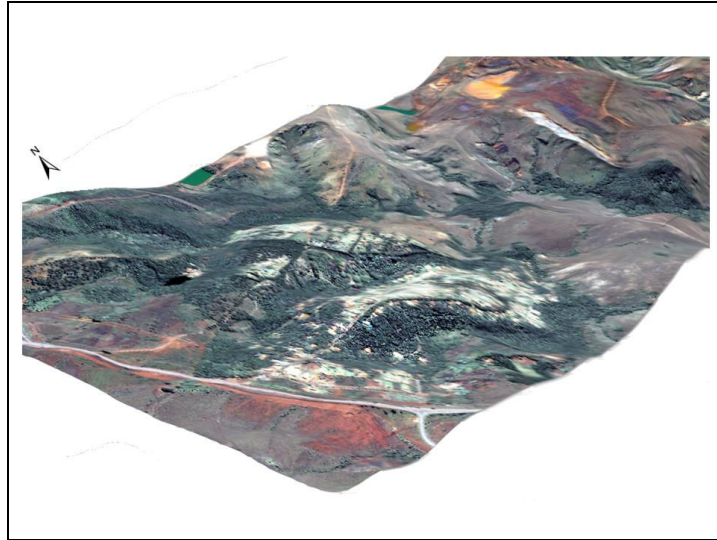


Figura 3.4: Vista de Oeste para Leste da área de estudo

A partir da interação analógica dos mapas de declividade (Figura 3.6) e geológico, foi possível dividir a área de estudo em dois compartimentos. O primeiro, localiza-se na porção da margem oeste do Ribeirão do Silva, lado esquerdo do mapa topográfico (Figura 3.5). Neste compartimento há predominância da camada litológica de itabirito dolomítico, fílitó dolomítico, gnaisse e granito e pequenas porções de quartzito ferruginoso.

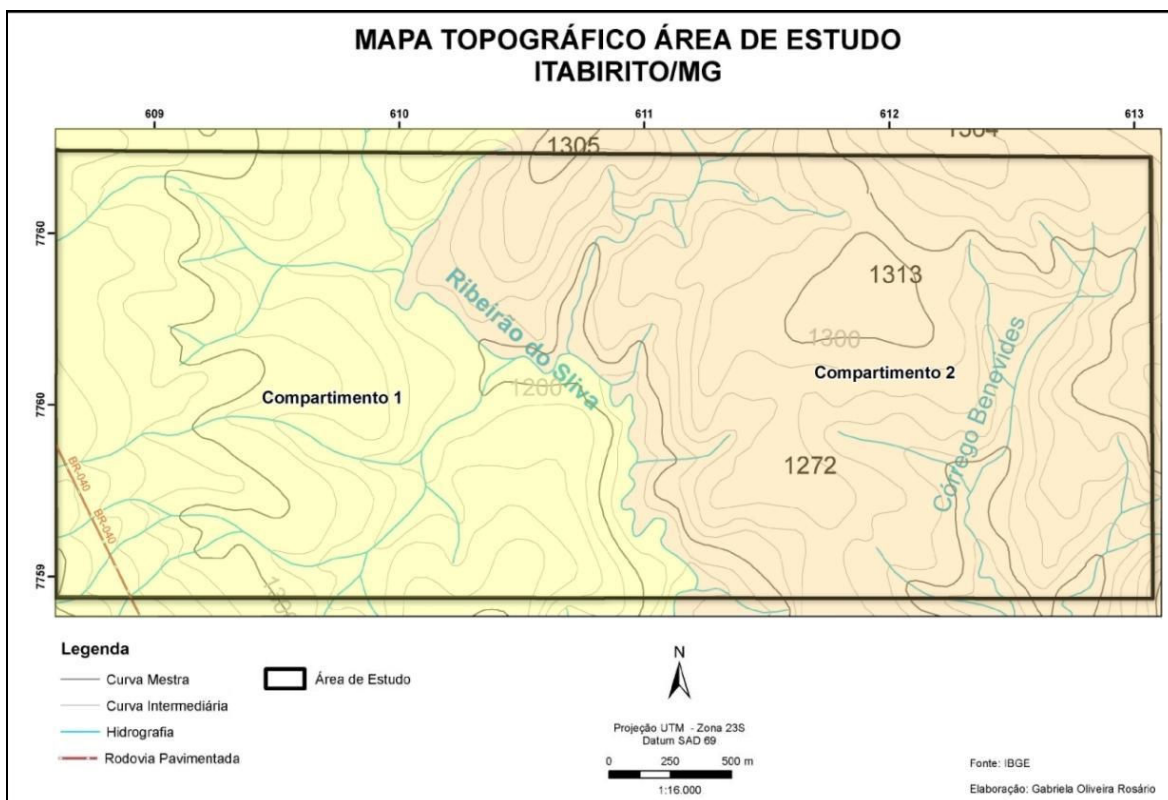


Figura 3.5: Mapa topográfico da área de estudo

Já o compartimento 2, compreende a região localizada na margem leste do Ribeirão do Silva, lado direito do mapa. A litologia predominante nesse compartimento é de itabirito dolomítico, argiloso e multicolorido, gnaiss e granito, ocorrências de mármore e quartzito ferruginoso.

Ao se analisar o mapa de declividade (Figura 3.6) é possível verificar uma diferenciação do terreno do compartimento 1 e 2, no que se refere a declividade das vertentes. No compartimento 1, predominam vertentes com declividade inferiores a  $10^\circ$ , enquanto no outro ocorrem, com frequência, declividades acima de  $15^\circ$ . Os locais com maiores declividades, acima de  $20^\circ$ , ocorrem sobre filito dolomítico e gnaiss.



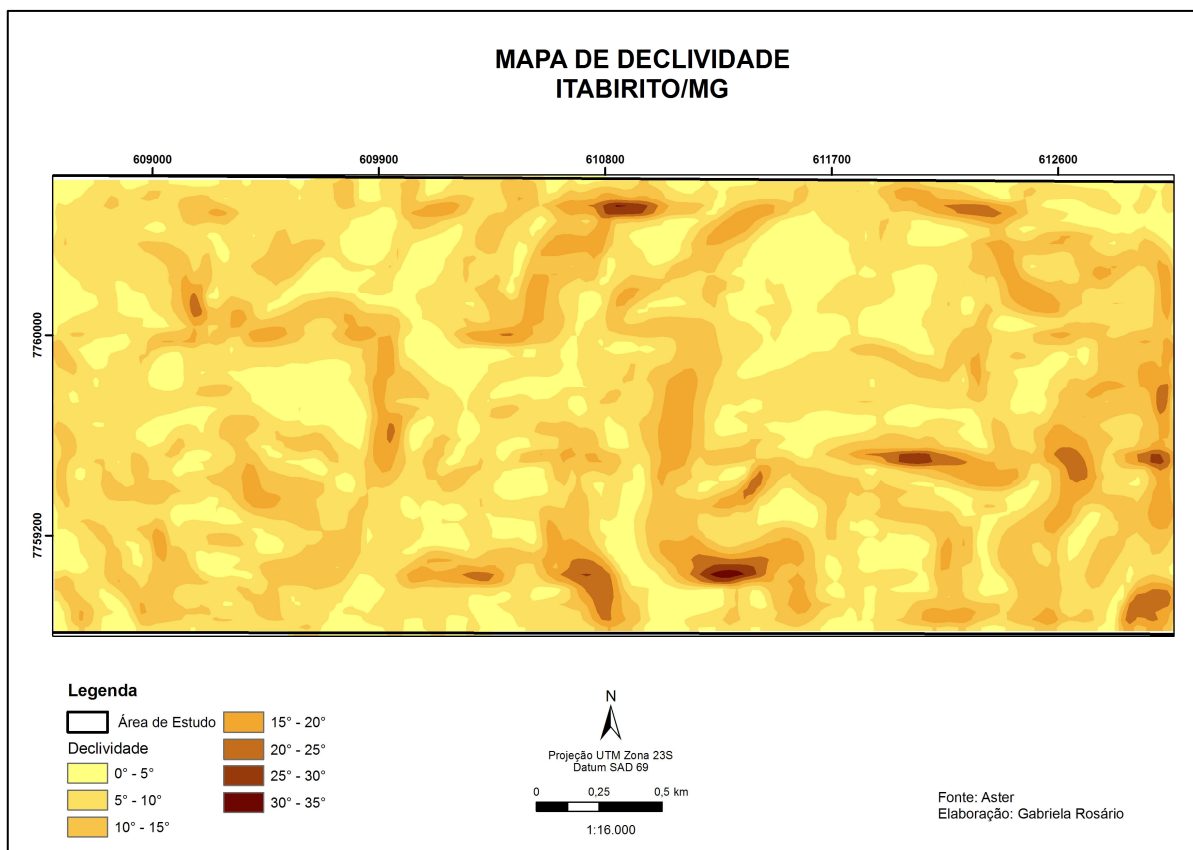


Figura 3.6: Mapa de declividade da área de estudo

Como pode ser observado na Figura 3.7, o compartimento 1 é constituído por latossolo ferrífero, que de acordo com a Crepani et al (2001) – ver Figura 3.5 - possui escala 1 de vulnerabilidade à erosão. Já o compartimento 2, além de possuir latossolo (cor laranja na Figura 3.7) ferrífero, possui também litossolo (cor amarela na Figura 3.7).



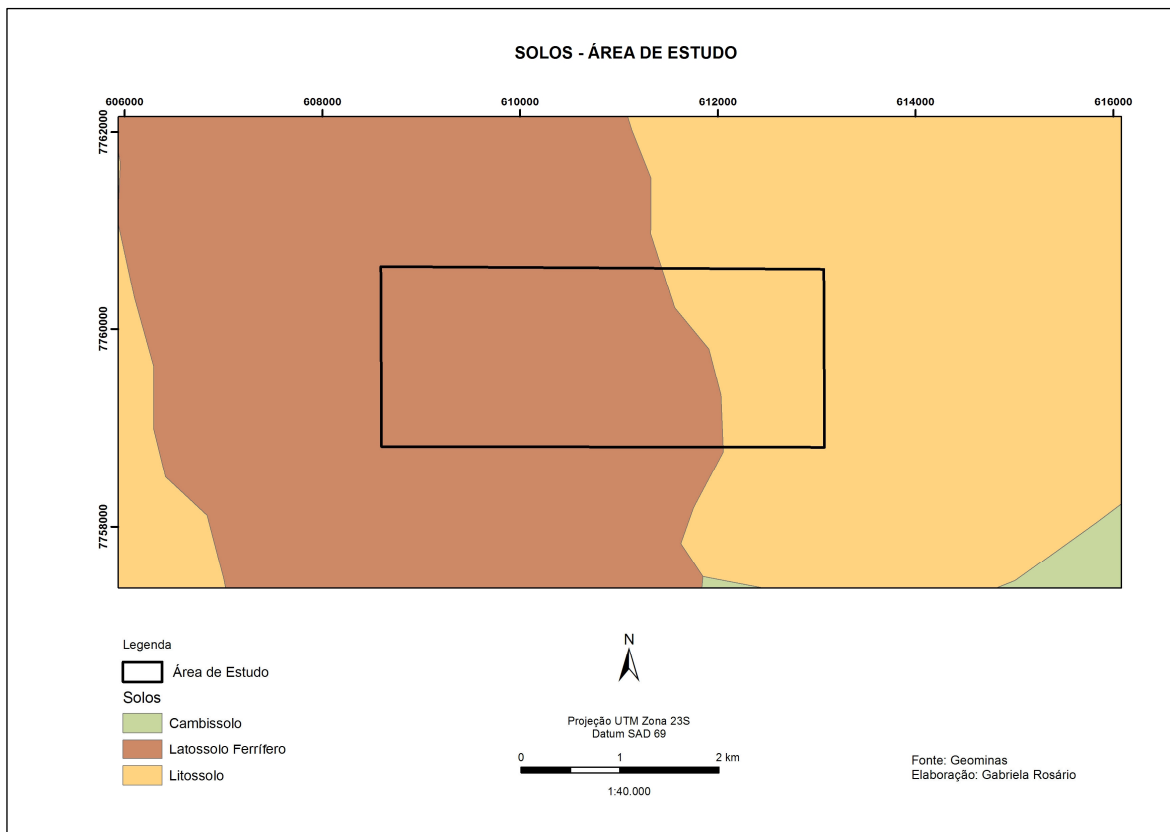


Figura 3.7: Mapa de solos da área de estudo

Segundo Paraná (1995) o solo Latossolo Ferrífero ou Latossolo Vermelho-Escuro é considerado resistente à erosão, possuindo um baixo valor de fator K (fator de erodibilidade), enquanto os solos Litólicos são altamente susceptíveis aos processos erosivos, apresentando valores elevados do fator K (ver Tabela 3.1). Portanto, de acordo com o fator de erodibilidade dos solos, o compartimento 2 é possui o solo mais susceptível à erosão.

Tabela 3.1: Valores de Fator (k) de erodibilidade para solos  
 Fonte: Paraná (1995)

<b>Tipo de solo</b>	<b>Fator k</b>
Hidromófico	0,031 (BAPTISTA, 1997)
Areia Quartzosa (AQD)	0,027 (BAPTISTA, 1997)
Latossolo Vermelho-Escuro (Lea)	0,013 (BAPTISTA, 1997)
Latossolo Vermelho-Amarelo (LVa)	0,020 (BAPTISTA, 1997)
Latossolo Roxo (LR)	0,010 (WISCHMEIER & SMITH, 1978)
Litossolo Eutrófico (Re)	0,035 (WISCHMEIER & SMITH, 1978)
Litossolo Distrófico (Rd)	0,035 (WISCHMEIER & SMITH, 1978)

### 3.3 – O procedimento de Análise de Multicritérios

O risco de erosão pode ser interpretado como a probabilidade de desencadeamento da erosão em futuro próximo. A integração dos mapas temáticos de declividade, solo, geologia e uso e ocupação (ver Figura 3.8) gerará o mapa de risco de erosão.



Figura 3.8 - Fluxograma da estrutura geral da metodologia.

De acordo com Moura (2007), a Análise Multicritérios é um procedimento de variáveis, também conhecida como árvore de decisões ou ainda, Análise Hierárquica de Pesos.

“O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um

de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. A matemática empregada é a simples Média Ponderada...”.

(MOURA, 2007, p. 2902)

Assim, para realizar a análise espacial, selecionaram-se as variáveis e seus respectivos pesos baseado no contexto da análise (ver Tabela 3.2). Cada variável selecionada recebeu um peso e o conjunto soma 100%, segundo o procedimento de média ponderada. Além disto, cada componente de legenda de cada variável recebeu nota de 0 a 10, segundo grau de pertinência de sua participação no conjunto (Moura, 2007). Cabe ressaltar que os pesos e notas atribuídos neste trabalho partiu de revisão bibliográfica.

Tabela 3.2: Árvore de Decisões na Avaliação da síntese de Risco de Erosão

<b>Temas:</b>	<b>Pesos:</b>	<b>Componentes da Legenda:</b>	<b>Notas:</b>
Solos	30%	Latossolo Ferrífero	4
		Litossolo	8
		Quartzito Ferruginoso	2
		Filito	8
		Itabirito Dolomítico	7
Geologia	30%	Quartzito cinza claro, friável	7
		Itabirito	6
		Mármore	2
		Gnaisse e Granito	2
		Mineração	2
		Solo exposto	8
		Urbano	8
Uso e ocupação	20%	Estrada Não Pavimentada	8
		Estrada Pavimentada	4
		Corpos d'água	4
		Campo	7
		Mata	2
		0 - 5%	2
		5 - 10%	3
		10 - 15%	4
Declividade	20%	15 - 20%	5
		20 - 25%	6
		25 - 30%	8
		30 - 35%	9

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1. Análise Multicritérios

O método da Análise Multicritérios permitiu o cruzamento das variáveis selecionadas (declividade, solo, geologia e uso e ocupação), mas para tanto, foi necessário converter os arquivos vetoriais em raster, definir a unidade territorial de integração das análises e escolher o tamanho do pixel na composição dos mapas em formato matricial. Adotou-se o tamanho 30m para o tamanho do pixel, uma vez que, é indicada a adoção da pior resolução, pois não é correto reduzir a resolução (Moura, 2009). O próximo passo foi a combinação das variáveis por álgebra de matrizes através da média ponderada, onde foram atribuídos os pesos para cada variável e notas para suas componentes, gerando o mapa de risco de erosão (Figura 4.1).

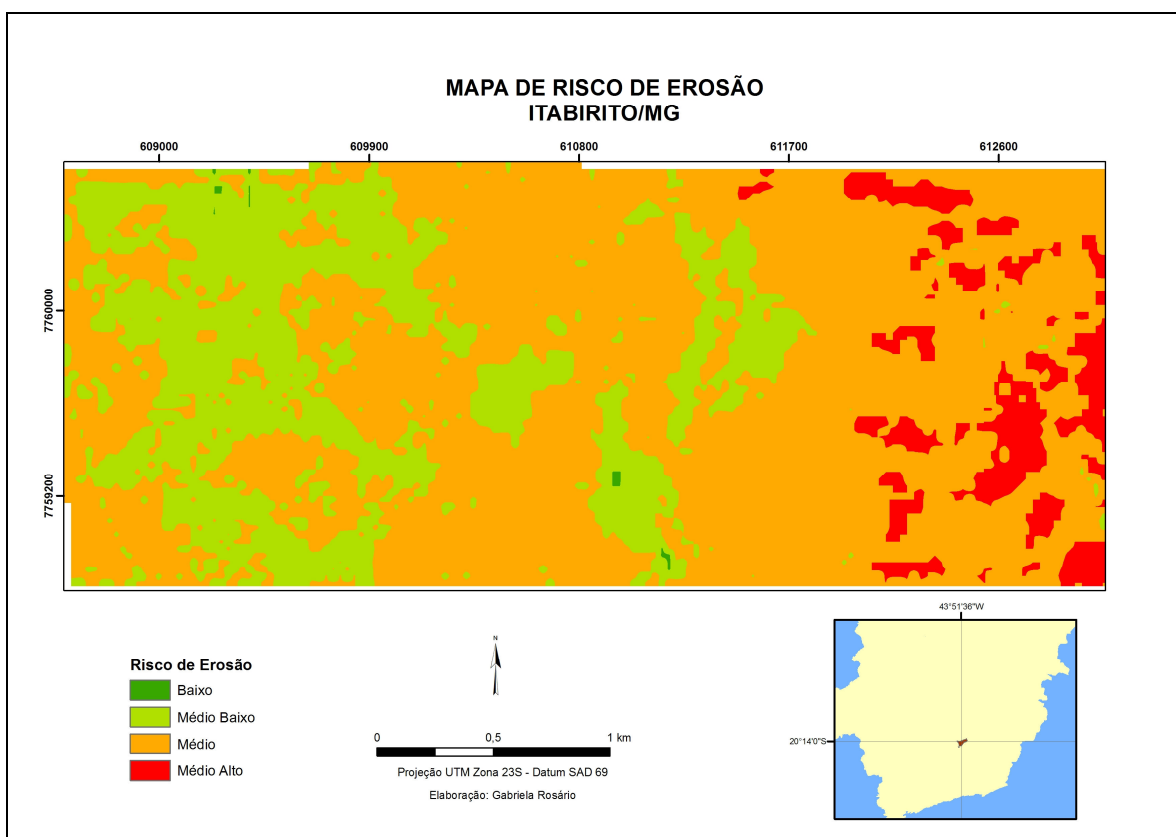


Figura 4.1: Mapa de Risco de Erosão da área de estudo

O resultado obtido é uma superfície potencial com resultados por pixel das áreas que possuem risco de erosão. Foi feita uma classificação das áreas que possuem risco de erosão, de 1 a 10 (Tabela 4.1). As cores quentes (avermelhadas) destacam as áreas que possuem médio alto risco de erosão e as cores frias (esverdeadas) destacam as áreas de menor risco de erosão. Para facilitar a compreensão, os valores numéricos foram transformados em valores qualitativos, agrupando-se a legenda em 5 classes: Baixo, médio baixo, médio, médio alto e alto risco de erosão.

Tabela 4.1: Classificação quanto ao Risco de Erosão

<b>Classes:</b>	<b>Risco de Erosão</b>
1 – 3	Baixa
3 – 5	Média Baixa
5 – 7	Média
7 – 9	Média Alta
9 - 10	Alta

Observa-se que as áreas mais susceptíveis à erosão (laranja e vermelho) correspondem às variáveis que receberam notas elevadas, quanto ao risco de erosão. As áreas que possuem maior risco de erosão correspondem ao compartimento 2, onde há presença de campo, litossolo, filito e declividades acentuadas. As áreas de médio baixo e baixo risco de erosão (tons de verde) correspondem ao compartimento 1, marcado pela presença dos litotipos gnaisse, itabirito, ocorrência de mata, menores declividades e latossolo. A área estudada apresenta uma grande porção sob significativo risco de erosão (Figura 4.1), tornando-se necessário o monitoramento e adoção de práticas preventivas, ou seja, uma exploração com base em manejo adequado do solo, como um dos componentes básicos do ambiente.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÕES**

A análise espacial concluída com a metodologia adotada indica a possibilidade, o cruzamento e integração das variáveis, partindo inicialmente da seleção, organização e manipulação dos dados. Sendo necessário, conforme as referências bibliográficas, atribuir pesos nas variáveis e notas aos componentes de legenda e posterior agrupamento em classes, como diferentes graus de limitação. As etapas da análise espacial permeiam a análise da situação vigente, somando ao conhecimento obtido a análise, permitindo avaliar e construir propostas de intervenção ambiental, uma vez que o fenômeno se constitui o principal componente de degradação dos solos. Neste trabalho, foi possível examinar as condições de risco de erosão da porção Noroeste do município de Itabirito em Minas Gerais, com o uso das técnicas de Análise Espacial, tendo-se verificado que a metodologia utilizada reuniu dados quantitativos (declividade) e dados qualitativos (solos, uso e ocupação e geologia), resultando um mapa valioso no sentido de subsidiar a prevenção da erosão.

A utilização das ferramentas do SIG possibilitou produzir várias imagens representativas da área em estudo. A interação dos dados, que foram espacializados, permitiu correlacionar geologia, solos, usos e declividade. A partir da representação e posterior contextualização desses aspectos, pôde-se compreender os elementos presentes na paisagem, sejam eles naturais ou antrópicos e entender a articulação entre eles.

A experiência obtida neste trabalho mostra também, através da interação e problematização dos elementos presentes no ambiente, a possibilidade de monitoramento e análise de uma área, o que pode conciliar com as necessidades do plano diretor do município, bem como o planejamento e gestão urbana e ambiental.

A análise espacial possibilita cruzar diversas informações referentes à área de estudo, porém é importante ressaltar que o uso dessa ferramenta nos estudos e trabalhos não substitui a pesquisa de campo. A elaboração de mapas constitui uma etapa que antecede o

campo, ou seja, auxilia na tomada de decisões, traçarem rotas para áreas de difícil acesso, no monitoramento da paisagem, no estudo prévio da área e o planejamento do trabalho de campo de modo a viabilizá-lo.

Sabe-se que ações antrópicas interferem na dinâmica de processos naturais, os quais refletem seus efeitos nos elementos da paisagem. A falta de atenção e conhecimento sobre a dinâmica dos processos e do relevo, conciliada com o valor de compra da superfície do relevo, reconhecida como terreno e área pela especulação imobiliária, leva às ações de uso e ocupação que podem ocasionar riscos à patrimônios naturais e culturais e à formação de cicatrizes erosivas.

Os dados espaciais referentes ao uso e ocupação podem ser acompanhados anualmente, a partir da atualização das informações fornecidas pelas imagens de satélite. Com esse procedimento é possível acompanhar se o tipo ocupação atende as orientações das leis e se a presença de um tipo de uso, como o de mineração, não está comprometendo o restante da área, mesmo que esteja ocorrendo na zona permitida para tal uso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, et al. **Determinação do risco de erosão com utilização de um sistema de informações geográficas.** Revista Ceres. Viçosa, 42 (243), 1995.
- ASTER GDEM - **Global Digital Elevation Modelo**, 2010. Disponível em: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/> - acessado em 13 de Agosto 2010.
- CÂMARA, et al. **Análise espacial e geoprocessamento.** INPE, São José dos Campos, SP, 2002, p. 1-27.
- CASTRO, et al. **A busca por relações entre o geoprocessamento e a geomorfologia na elaboração de um planejamento territorial.** 2004. Anais – II Simpósio de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju, SE.
- CHAVES, Henrique Marinho Leite. **Aplicação de modelos na previsão de erosão.** 1995 Anais – IV Simpósio Nacional de Controle de erosão, Bauru, SP.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia.** 2. ed. rev. ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188p.
- CREPANI, E.; Medeiros, J. S. de; Azevedo, L. G. DE.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico.** São José dos Campos: INPE, 2001. 25p.
- CULLEN JUNIOR, Laury; VALLADARES-PADUA, Cláudio; RUDRAN, Rudy (Org.) **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre.** 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006. 481 - 497p.
- GUERRA, Antônio J. T.; MARÇAL, Mônica dos S. **Geomorfologia ambiental: conceitos, temas e aplicações.** In: GUERRA, Antônio J. T.; MARÇAL, Mônica, dos S. *Geomorfologia ambiental.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. cap. 2. p. 17-91.
- FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.



INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Relação das Estações Meteorológicas do Estado de Minas Gerais**. Brasília: Normais climatológicas, 1992.

MOURA, Ana Clara. **Discussões metodológicas para aplicação do modelo de Polígonos de Voronoi em estudos de áreas de influência fenômenos em ocupações urbanas – estudo de caso em Ouro Preto – MG**. 2009. Anais - VII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos – ENABER, São Paulo.

MOURA, Ana Clara. **Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios**. 2007. Anais – XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis.

PARANÁ. Secretaria de Estado e Planejamento e Coordenação geral (SEPL). **Erosão do solo e florestas**. Relatório Setorial, Volume J. In: Plano diretor para a utilização dos recursos hídricos do Estado do Paraná. 1995. Disponível em : <<http://www.hidricos.mg.gov.br/ini-mi.htm>>. Acesso em: 10 de setembro de 2010.

SAADI, Allaoua. **A geomorfologia como ciência de apoio ao planejamento em Minas Gerais**. Geonomos – *Revista de Geociências*. Belo Horizonte, v.5, n.2, dez./1997, p. 1-4.

SOUZA, Carla J. O. **Geomorfologia no Ensino Superior: Interessante, mas difícil! Por quê?** Discussão a partir dos conhecimentos e dificuldades entre alunos de geografia do IGC/UFMG. Belo Horizonte: IGC/UFMG, Tese de doutorado, 2009.

STEIN, Dirceu Pagotto. **Diagnóstico de Erosão**. 1995 Anais – IV Simpósio Nacional de Controle de erosão, Bauru, SP.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. **Pesquisa de campo em geografia**. GEOgraphia: UFF, Niterói/RJ, 2002.

TEIXEIRA, Wilson (Org.) **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 557p.

**Prefeitura Municipal de Itabirito**. Disponível em <http://www.itabirito.mg.gov.br/>, acessado em 12 de Julho 2010.

PRÓ – CITTÁ – Instituto de Estudos Pró-cidadania. **Plano diretor de Itabirito**. Itabirito, 2006. Disponível em:

[http://www.itabirito.mg.gov.br/prefeitura/secretarias/urbanismo/lei\\_plano\\_diretor.pdf](http://www.itabirito.mg.gov.br/prefeitura/secretarias/urbanismo/lei_plano_diretor.pdf) -  
acessado em 13 de Agosto 2010.

WISCHMEIER, W.H.; Smith, D.D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning.** Washington: USDA Agriculture Handbook, n. 537, 58p. 1978.