

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Ciências Biológicas

Curso de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos

Amanda Almeida Raposo

**Análise morfométrica e da suscetibilidade erosiva como base
para o ordenamento territorial da bacia do ribeirão Sardinha
(Quadrilátero Ferrífero – MG)**

Belo Horizonte

Agosto de 2014

Amanda Almeida Raposo

**Análise morfométrica e da suscetibilidade erosiva como base
para o ordenamento territorial da bacia do ribeirão Sardinha
(Quadrilátero Ferrífero – MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Programa de Pós-
Graduação em Gerenciamento de
Recursos Hídricos do Instituto de
Ciências Biológicas da Universidade
Federal de Minas Gerais para obtenção
do título de especialista em Gestão de
Recursos Hídricos.

Orientador: Thiago de Alencar Silva

Belo Horizonte
Agosto de 2014

043 Raposo, Amanda Almeida.
Análise morfométrica e da suscetibilidade erosiva como base para o ordenamento territorial da bacia do ribeirão Sardinha (Quadrilátero Ferrífero - MG) [manuscrito] / Amanda Almeida Raposo. - 2014.

92 f.: il. ; 29,5 cm.

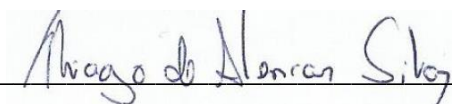
Orientador: Thiago de Alencar Silva.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas.

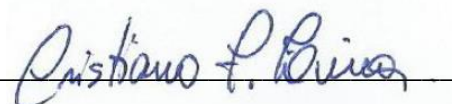
1. Zoneamento - Teses. 2. Política ambiental - Teses. 3. Erosão - Teses. 4. Quadrilátero Ferrífero (MG) - Teses. 5. Geomorfologia - Teses. I. Silva, Thiago de Alencar. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 551.4

Monografia intitulada “Análise morfométrica e da suscetibilidade erosiva como base para o ordenamento territorial da bacia do ribeirão Sardinha (Quadrilátero Ferrífero – MG)” de autoria da aluna Amanda Almeida Raposo, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores.



Prof. Dr. Thiago de Alencar Silva - ICB/UFMG – Orientador



Prof. Msc. Cristiano Figueiredo Lima

Belo Horizonte, 07 de agosto de 2014

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por todas as oportunidades que Ele tem colocado em minha vida.

Agradeço a meus pais e meus irmãos pelo cuidado e motivação.

Agradeço ao meu marido Fabiano pelo apoio constante durante todo o curso.

Agradeço aos colegas da Brandt Meio Ambiente pelas discussões e auxílio técnico.

Por fim, agradeço a todos os professores que com sua dedicação e sabedoria contribuíram para a minha formação como gestora de recursos hídricos.

“ Não vos inquieteis, pois, pelo dia de amanhã, porque o dia de amanhã cuidará de si mesmo”.

Mateus 6:34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVO.....	3
3. REFERENCIAIS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS.....	4
3.1 - Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão	4
3.2. Análise Morfométrica de Bacias Hidrográficas	4
3.2.1. Parâmetros morfométricos	6
3.2.1.1. Classe Linear	6
3.2.1.2. Classe Zonal	8
3.2.1.3. Classe Hipsométrica	12
3.3. Processos erosivos e escoamento superficial.....	14
3.4. Suscetibilidade e vulnerabilidade erosiva.....	17
4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
5.1. Análise Morfométrica	24
5.2 - Mapeamento de suscetibilidade e vulnerabilidade erosiva.....	25
6 - RESULTADOS	32
6.1. Análise Morfométrica das sub-bacias analisadas.....	32
6.2 - Mapeamento da suscetibilidade e vulnerabilidade erosiva.....	39
6.2.1 –Classes de solos e erodibilidade	39
6.2.2 - Características do relevo.....	45
6.2.3 - Aspectos litológicos	50
6.2.4 - Uso e ocupação do solo	58
6.2.5 - Definição dos pesos por variável.....	64
6.2.6 - Mapa de suscetibilidade natural à erosão	65
6.2.7 - Mapa de vulnerabilidade a erosão.....	69
6.3. Ordenamento territorial: proposta de zoneamento ambiental da sub-bacia considerando aspectos físicos do terreno e aptidões de uso e conservação.	73
6.3.1 - Macrozonas em termos de vulnerabilidade erosiva.....	74
6.3.2 - Subzonas do ordenamento territorial ambiental	75
6.3.2.1 - Subzonas de conservação, preservação e recuperação.....	75
6.3.2.2 - Subzonas com usos já instalados e com potencial de expansão.....	77
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

FIGURAS

FIGURA 1 – Localização e contextualização geológica da sub-bacia do ribeirão Sardinha no Quadrilátero Ferrífero (recorte para a bacia do Alto Rio das Velhas)	23
FIGURA 2 - Exemplo de cruzamento das matrizes dos mapas base pelo método de álgebra de mapas	29
FIGURA 3 – Hierarquia dos canais fluviais da bacia do Ribeirão Sardinha de acordo com Strahler (1952)	33
FIGURA 4– Macrozoneamento da análise morfométrica	38
FIGURA 5– Mapa pedológico da sub-bacia do ribeirão Sardinha	44
FIGURA 6 - Carta de declividade da sub-bacia do ribeirão Sardinha	47
FIGURA 7– Carta hipsométrica da sub-bacia do ribeirão Sardinha	48
FIGURA 8– Unidades do relevo da sub-bacia do ribeirão Sardinha	49
FIGURA 9 – Mapa geológico da sub-bacia do ribeirão Sardinha	57
FIGURA 10- Focos de erosão acelerada nas cabeceiras do ribeirão do Mango	60
FIGURA 11 - Focos de erosão acelerada no divisor de drenagem das bacias do Sardinha e do rio Maracujá (Coordenadas UTM fuso 23 K: 633.520 mE / 7.747.735 mN). Fonte: Imagem Google Earth, Junho de 2014.....	61
FIGURA 12 – Uso e ocupação do solo na sub-bacia do ribeirão Sardinha	63
FIGURA 13 - Gráfico de distribuição percentual das classes de usos e ocupação dos solos na sub-bacia do ribeirão Sardinha	64
FIGURA 14 - Mapa de suscetibilidade natural à erosão da sub-bacia do ribeirão Sardinha	66
FIGURA 15 – Gráfico de distribuição percentual das classes de suscetibilidade natural à erosão na sub-bacia do ribeirão Sardinha	67
FIGURA 16- Mapa de vulnerabilidade à erosão da sub-bacia do ribeirão Sardinha	70
FIGURA 17 - Distribuição percentual das classes de suscetibilidade natural à erosão aliadas à ocupação dos solos.....	71
FIGURA 18- Comparação da distribuição percentual das classes de suscetibilidade à erosão com e sem a análise de ocupação dos solos.....	72
FIGURA 19 - Proposta do zoneamento ambiental com foco na vulnerabilidade erosiva	83

QUADROS

QUADRO 1 - Atributos e parâmetros morfométricos lineares	7
QUADRO 2 - Atributos e parâmetros morfométricos zonais	11
QUADRO 3 - Atributos e parâmetros morfométricos hipsométrico	14
QUADRO 4 – Escala de comparadores do método AHP.....	26
QUADRO 5 – Valores de IA para matrizes quadradas de ordem n, segundo Saaty (1977).....	26
QUADRO 6 - Classes de declive	27
QUADRO 7 - Classes de elevação	28
QUADRO 8 – Organograma metodológico do desenvolvimento da pesquisa	31
QUADRO 9 - Atributos morfométricos calculados para a bacia do ribeirão do Sardinha e suas sub-bacias.....	32
QUADRO 10 - Número de canais, comprimento e comprimento médio dos canais por ordem hierárquica da bacia do ribeirão sardinha – área total de estudo	34
QUADRO 11– Número de canais, comprimento e comprimento médio dos canais por ordem hierárquica das sub-bacia.....	34
QUADRO 12 – Parâmetros morfométricos por classe calculados para a bacia do ribeirão Sardinha e suas sub-bacias	35
QUADRO 13 – Índice de Sinuosidade média dos canais de 4ª, 5ª e 6ª ordem	35
QUADRO 14 – Classes do zoneamento morfométrico e níveis de suscetibilidade erosiva	39
QUADRO 15 – Principais características e escala de susceptibilidade de solos presentes na área de estudo ...	43
QUADRO 15–Principais características e escala de susceptibilidade das classes de unidades do relevo	46
QUADRO 16 - Classificação das unidades geológicas, litologias, principais processos geomecânicos associados e escala de susceptibilidade da litologia	56
QUADRO 17 - Classes de uso e cobertura do solo mapeadas, descrição e suscetibilidade erosiva.....	62
QUADRO 18 - Matriz 1 - comparação pareada e pesos os pesos definidos para o mapa de suscetibilidade natural a erosão.....	65
QUADRO 19 - Matriz 2 - comparação pareada e pesos os pesos definidos para o mapa de vulnerabilidade a erosão	65
QUADRO 20 – Síntese das principais características das classe da suscetibilidade natural a erosão	69
QUADRO 21 - Zonas estabelecidas pelo Plano Diretor localizadas dentro da área de estudo.....	79
QUADRO 22 – Descrição das zonas das áreas urbanas existentes dentro da área de estudo	79

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- A:** Área da Bacia
- AHP:** Método de Análise Hierárquica
- APP:** Área de Preservação Permanente
- CBx:** Cambissolo Háplico
- Cm:** Coeficiente de Manutenção
- Dd:** Densidade de Drenagem
- Dh:** Densidade Hidrográfica
- Dm:** Declividade Média
- Dmax:** Declividade Máxima
- Dmin:** Declividade Mínima
- Dv:** Distância Vetorial do Canal Principal
- FESD:** Floresta Estacional Semi-Decidual
- Gcp:** Gradiente do Canal Principal
- GEOMINAS:** Programa de Uso Integrado de Geoprocessamento pelo Governo de Minas Gerais
- GPS:** Global Position System
- Hmax:** Altitude Máxima
- Hmed:** Altitude Média
- Hmin:** Altitude Mínima
- ΔHb : Amplitude Altimétrica da Bacia
- ΔHcp : Amplitude Altimétrica do Canal Principal
- IA:** Índice Aleatório
- IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- Ic:** Índice de Circularidade
- IC:** Índice de Consistência
- Ir:** Índice de Rugosidade
- Is:** Índice de Sinuosidade
- L:** Comprimento dos Canais
- Lm:** Comprimento Médio dos Canais
- LVA:** Latossolo Vermelho Amarelo
- MDE:** Modelo Digital de Elevação
- N:** Número de Canais
- P:** Perímetro da Bacia
- RC:** Razão de Consistência
- RGB:** Red, Blue and Green

RLd: Neossolo Litólico

UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais

UFV: Universidade Federal de Viçosa

UTM: Universal Transversa de Mercator

RESUMO

A sub-bacia do ribeirão Sardinha, localizada no sul do Quadrilátero Ferrífero, embora apresente paisagem relativamente preservada, possui quantidade significativa de focos de erosão acelerada principalmente em suas cabeceiras de drenagem. Partindo de tal consideração, o presente trabalho tem por objetivo apresentar um zoneamento ambiental da sub-bacia, por meio da análise morfométrica e da suscetibilidade dos terrenos aos processos erosivos. Para tanto, o trabalho parte de três etapas metodológicas, a saber: análise morfométrica, mapeamento de suscetibilidade natural a erosão e mapeamento da vulnerabilidade erosiva. De porte desses dados é apresentado o zoneamento ambiental da sub-bacia, bem como as vocações e fragilidades do terrenos em termos de uso e conservação dos solos.

Verificou-se que as áreas com maior suscetibilidade erosiva natural compreende uma faixa ao longo do alto e médio curso da sub-bacia do ribeirão Sardinha, o que corrobora com a realidade local, haja vista que nestas áreas se concentram as maiores ocorrências de focos erosivos. Por meio da avaliação dos dados de uso e ocupação do solo constataram-se poucas alterações nas áreas com maiores níveis de suscetibilidade erosiva, demonstrando que a área de estudo possui elevada suscetibilidade natural do terreno à erosão. Por fim, foram definidas quatro macrozonas em termos de suscetibilidade erosiva, bem como subzonas de preservação e de usos potenciais. Maior atenção deve ser dada a Zona ZN1 tendo em vista que a mesma possui alta suscetibilidade erosiva natural e pressão ambiental associada ao uso minerário e seu potencial de expansão.

Palavras-chave: análise morfométrica, suscetibilidade erosiva, zoneamento ambiental

ABSTRACT

The Sardinha's creek sub-basin, located in Southern Iron Quadrangle, although presents relatively preserved landscape, has a significant amount of accelerated erosion foci mainly on its headwaters drain. Based on this consideration, this paper aims to present an environmental zoning sub-basin, by means of morphological analysis and the susceptibility of land to erosion. For this purpose, the work consists of three methodological steps: morphometric analysis, mapping natural erosive susceptibility and erosive susceptibility considering the use and occupation of the ground, zoning and environmental indicating vocations and weaknesses in terms of use and conservation .

It was found that areas with higher natural erosive susceptibility embrace a strip along the upper and middle portion of Sardinha's creek sub-basin which corroborates with the local reality, given that in these areas are observed highest occurrences of accelerated erosion foci. Through data's insertion about the use and occupation of the land has been found few changes in areas with higher levels of susceptibility demonstrating that the study area already has natural susceptibility of land to erosion.

Finally, four macro-areas were defined in terms of erosive susceptibility as well as six microzones of aptitude and potential. Greater attention should be given to Zn1 Zone in order to have the same high drainage density and high gradient river and the main channel demonstrating the high energy potential for formation of new channels of first order.

Keywords: morphometric analysis, erosive susceptibility, environmental zoning

1. INTRODUÇÃO

A compreensão dos processos erosivos em uma bacia hidrográfica envolve a interpretação dos aspectos físicos do terreno bem como do uso e ocupação dos mesmos. Há diferentes formas de se abordar os processos erosivos, sendo um dos métodos adotados a análise da dinâmica hidrológica em bacias de drenagem por meio da relação entre os processos ocorridos nas vertentes e os cursos fluviais (Christofolletti, 1970; Lana et al. 2001; Alves e Castro, 2003; Santos & Sobreira, 2008). Tal método, associado a um mapeamento sistemático de suscetibilidade erosiva, permite identificar os principais atributos de ordem física e antrópica que condicionam tais processos auxiliando, portanto, na elaboração de planos de prevenção, conservação e recuperação dos solos e de mananciais.

A suscetibilidade erosiva constitui-se como um indicador da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica ou de um sistema natural (Tricart, 1977; Crepani et al., 2001). Os sistemas ambientais, face às intervenções humanas, apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características genéticas. Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, cobertura do solo, microclima e recursos hídricos) acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. A identificação dos ambientes naturais e de suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas em uma região (Ross, 2004; Kawakubo et al., 2005).

A sub-bacia do ribeirão Sardinha, localizada no sul do Quadrilátero Ferrífero, embora apresente paisagem relativamente preservada, possui quantidade significativa de focos de erosão acelerada, principalmente nas cabeceiras de suas principais micro bacias, o que denota forte tendência de erodibilidade natural do terreno nesta porção e erosão remontante ativa dos canais de primeira ordem. A bacia constitui-se como um afluente do Ribeirão Mata Porcos que, por sua vez, deságua no Rio Itabirito, um dos principais afluentes do alto Rio das Velhas.

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo apresentar um zoneamento ambiental e ordenamento territorial da sub-bacia do ribeirão Sardinha, por meio da análise morfométrica e da suscetibilidade dos terrenos aos processos erosivos, dando continuidade a trabalhos anteriores já realizados nesta sub-bacia (Raposo et al., 2008; Barros et al., 2008; Raposo et al., 2009; Raposo, Barros e Magalhães Jr.; 2009 e Raposo, 2009).

Para tanto, foram calculados os principais parâmetros morfométricos, com foco na avaliação do comportamento dos componentes geomorfológicos das bacias

hidrográficas, especialmente em relação aos processos erosivos. A partir desses dados e juntamente com as variáveis pedológicas, geológicas, geomorfológicas, e de uso e cobertura do solo, foram elaborados dois mapas: (i) referente à suscetibilidade natural do solo à erosão e (ii) referente a vulnerabilidade natural, o qual incorpora os dados de uso e ocupação dos solos. Esses dados permitiram avaliar se a suscetibilidade do solo à erosão na sub-bacia está mais relacionada aos fatores naturais ou à atuação antrópica. Por fim, e considerando as variáveis mapeadas, foi proposto um zoneamento ambiental da sub-bacia indicando suas potencialidades, limitações e propostas de ações para a gestão da mesma.

2 - OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um zoneamento ambiental da sub-bacia do ribeirão Sardinha, por meio da análise morfométrica e da suscetibilidade e vulnerabilidade dos terrenos aos processos erosivos.

Abrange ainda os seguintes objetivos específicos:

- Cálculo dos principais parâmetros morfométricos com foco no comportamento dos componentes geomorfológicos das bacias hidrográficas em relação aos processos erosivos;
- Elaboração de mapas da suscetibilidade natural à erosão e de vulnerabilidade natural, considerando os dados de uso e ocupação dos solos, tendo por bases os dados de morfometria, pedologia, geologia, relevo, e uso e cobertura do solo;
- Avaliar se a suscetibilidade à erosão na sub-bacia está mais relacionada aos fatores naturais ou à atuação antrópica;
- Apresentação das macrozonas em termos de vulnerabilidade erosiva e subzonas de usos e conservação dos solos.

3. REFERENCIAIS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS

3.1 - Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão.

A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci, 1997). Cada bacia hidrográfica possuem subdivisões sendo as mesmas definidas por sub-bacias e/ou microbacias.

Os conceitos de bacia e sub-bacias se relacionam a ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica (Fernandes & Silva, 1994). Conforme define Teodoro, et. al., 2007 há diversas definições formuladas ao longo do tempo para tais termos:

As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Para definir sua área os autores utilizam-se de diferentes unidades de medida. Para Faustino (1996), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km², já para Rocha (1997, apud MARTINS et al., 2005), são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km² a 300 km²). Para Santana (2004), bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos. (Teodoro, et. al., 2007, p. 138,139)

O conceito de sub-bacia para o presente trabalho foi pautado nas definições de Santana (2004) e Faustino (1996).

Ainda, verifica-se na literatura o termo microbacia. Conforme apresentado por Teodoro, et. al., 2007, dentre os autores que descrevem tal termo podemos citar: Faustino (1996); Hein (2000); Machado (2002); Braga (2003); Mosca (2003); Leonardo (2003) e Cecílio e Reis (2006).

Para este trabalho foi considerado o conceito de Faustino (1996) no qual define que a microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, sendo que várias microbacias formam uma sub-bacia, e sua área de drenagem é inferior a 100 km².

3.2. Análise Morfométrica de Bacias Hidrográficas

Na análise geomorfológica e ambiental a bacia hidrográfica se constitui como uma das mais adequadas escalas de investigação, tendo em vista a intrínseca relação entre

os processos ocorridos nas vertentes e os cursos fluviais. Entretanto, conforme observam Alves e Castro (2003), grande parte dos trabalhos científicos acerca de bacias hidrográficas evidenciam apenas qualitativamente os aspectos de forma o que é, em geral, insuficiente para a identificação de homogeneidades, no que diz respeito aos fatores que influenciam as formas de relevo.

Uma das principais formas de avaliar quantitativamente a interação dos processos e condicionantes geomorfológicos em uma bacia hidrográfica é a análise morfométrica da mesma. Esta análise tem por objetivo caracterizar os aspectos geométricos e de composição das bacias, estabelecendo indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e à composição integrativa entre os elementos (Cherem, 2008). Conforme descreve Christofolleti (1999), a análise morfológica de bacias hidrográficas é um dos tipos de análises de sistemas ambientais e requisita informações relativas ao relevo e à rede de drenagem. A leitura de alguns parâmetros decorrentes de tais aspectos pode auxiliar na identificação de áreas mais susceptíveis ou de maior vulnerabilidade à ocorrência de processos erosivos bem como contribuir para elaboração de planos de prevenção, conservação e recuperação dos solos de bacias hidrográficas (Santos & Sobreira, 2008).

Os primeiros parâmetros morfométricos foram definidos por Horton (1945). Este autor apresenta Leis de composição de bacias hidrográficas, que têm por princípio definir um comportamento ideal para as mesmas. Caso uma bacia se comporte segundo essas Leis, pode-se dizer que não há anomalias em sua configuração. A partir das Leis de Horton (1945) novos parâmetros foram definidos, principalmente a partir década de 1950. Em relação a estes parâmetros Cherem (2008, p. 26) descreve que:

(...) podem representar a estruturação e configuração das bacias hidrográficas para verificar se essas estão mais próximas dos “padrões de normalidade” estabelecidos inicialmente pelas leis de Horton, possibilitando, conseqüentemente, a mensuração do grau de desenvolvimento das bacias e a influência de perturbações tectônicas.

Em Minas Gerais merecem destaque os trabalhos de Christofolleti (1970), Lana et al. (2001), Alves e Castro (2003), Tonello et al. (2006), Oliveira et al. (2007) e Feltran Filho e Lima (2007). Dentre estes, destaca-se Christofolleti (1970) por ser um trabalho bastante completo, o qual integra toda a metodologia existente para a análise morfométrica de bacias hidrográficas, até então.

Em relação ao alto Rio das Velhas, destacam-se os trabalhos de Santos e Sobreira (2008) e de Cherem (2008). O primeiro apresenta um estudo de análise morfométrica das bacias que compõem a borda leste do Complexo do Baçõ, no sentido de auxiliar na identificação de áreas mais susceptíveis ou de maior vulnerabilidade à ocorrência de processos erosivos e de enchentes. O segundo, por sua vez, tem por objetivo a

compartimentação morfométrica da bacia do alto Rio das Velhas como um todo, a fim de testar a aplicação de modelos digitais de elevação (MDE) do terreno como base para realização de análises de sistemas geomorfológicos de escala regional e local.

3.2.1. Parâmetros morfométricos

A análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser feita considerando três dimensões, a saber: linear, zonal e hipsométrica. Tal divisão decorre da natureza dos dados necessários para geração dos parâmetros morfométricos e, conseqüentemente, pelo tipo de interpretação possível de ser realizada.

Os parâmetros lineares estão associados à rede de drenagem e ao seu arranjo espacial dentro da bacia, sendo representados por uma unidade de medida linear (km ou m). Os parâmetros zonais são, muitas vezes, representados em relação à área da bacia e indicam as relações entre a rede de drenagem e seu arranjo espacial na bacia. Por sua vez, os parâmetros hipsométricos representam a tridimensionalidade da bacia ao incluir a variação altimétrica e não possuem unidade de medida específica (Christofolletti, 1980).

No presente trabalho foram escolhidos alguns dos principais parâmetros morfométricos descritos na literatura. A escolha foi feita com o intuito de buscar aqueles parâmetros que melhor auxiliassem na interpretação dos processos geodinâmicos da bacia estudada com enfoque nos processos erosivos pluviais. A seguir é feita uma caracterização de cada um dos parâmetros escolhidos, os quais foram separados por tipo de classe e descritos de forma sucinta nos Quadros 1, 2 e 3.

3.2.1.1. Classe Linear

Dentro da classe linear foram extraídos os seguintes atributos: Hierarquia Fluvial (Hf); Perímetro da bacia (P); Número de canais fluviais (N); Comprimento dos canais fluviais (L) e Distância vetorial dos canais fluviais (Dv). O parâmetro selecionado em tal classe compreende o Índice de Sinuosidade (Is), que se utiliza dos dois últimos atributos supracitados (Tabela 1).

Hierarquia Fluvial (Hf)

A Hierarquia Fluvial corresponde à ordenação dos canais fluviais dentro de uma bacia hidrográfica. Podem ser distinguidos dois tipos de hierarquização: um proposto por Strahler (1952) e outro por Horton (1945). O presente trabalho parte da metodologia do primeiro autor, o qual considera que os canais de primeira ordem são aqueles que não apresentam tributários, isto é, são canais de cabeceiras de drenagem. Os canais de

segunda ordem são, por sua vez, os canais subseqüentes à confluência de dois canais de primeira ordem e assim sucessivamente (Chistofoletri, 1980).

Perímetro (P)

O perímetro de uma bacia hidrográfica representa o comprimento total da linha que serve como divisor de águas da bacia, ou seja, o divisor topográfico. O aumento do perímetro de uma bacia hidrográfica está diretamente ligado ao seu desenvolvimento, o que expressa que quanto maior o perímetro maior a área da bacia (Feltran Filho e Lima, 2007). No presente trabalho, o cálculo deste atributo foi realizado por geoprocessamento, no software Arc.Gis 10 (© Esri Inc., 2010).

Número de canais fluviais (N)

Considera-se o número de canais fluviais por cada ordem hierárquica, tendo em vista a proposta de Strahler (1952), e o número total de canais fluviais da bacia.

Índice de Sinuosidade (Is)

O índice de sinuosidade demonstra o grau de divagação de um curso fluvial. Consiste em um parâmetro inicialmente apresentado por Horton (1945). Este parâmetro é obtido através da relação entre o comprimento real do curso principal da bacia (L) – maior extensão dada pela distância entre a nascente do curso e sua foz – e o comprimento do seu vetor (Dv) – maior distância medida entre a cabeceira e a foz, acompanhando-se a direção vetorial do canal principal. Segundo Horton (1945) *apud* Feltran Filho e Lima (2007), o canal mais longo constitui-se como sendo a nascente do rio principal da bacia. Quanto mais próximo da unidade for o índice de sinuosidade, menos sinuoso é o canal e, conseqüentemente, mais rápido corre o fluxo d'água (Feltran Filho e Lima, 2007).

Este parâmetro é expresso pela Equação (1):

$$I_s = \frac{L}{D_v} \quad (1)$$

onde: L é o comprimento do canal principal e Dv é a distância vetorial entre os pontos extremos do canal.

Valores próximos a 1 indicam um canal próximo ao retilíneo com possibilidade de elevado controle estrutural ou alta energia, enquanto valores acima de 2 indicam baixa energia, sendo os valores intermediários relativos a formas transicionais entre canais retilíneos e meandranes (Alves & Castro, 2003).

QUADRO 1 - Atributos e parâmetros morfométricos lineares

	TIPO	EQUAÇÃO	DEFINIÇÃO	FONTE	SIGNIFICADO
Atributos	Hierarquia Fluvial (Hf)	----	-----	Strahler (1952)	Ordenação dos canais fluviais dentro de uma bacia hidrográfica
	Perímetro (P)	Cálculo automático (Arc.Gis 10)	-----	----	Comprimento total da linha que serve como divisor de águas da bacia
	Número de canais (N)	----	-----	----	----
Parâmetro	Índice de Sinuosidade (Is)	$Is = L \times Dv^{-1}$	L - comprimento do canal principal. dv - distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal	Schumm (1963)	Grau de divagação de um curso fluvial. Is = \square 1,0 – canal tende a ser retilíneo. Is > 2,0 – canais tortuosos

3.2.1.2. Classe Zonal

Esta classe abrange o atributo de Área da bacia (A), fundamental para a determinação dos seguintes parâmetros: Índice de Circularidade (Ic), Densidade Hidrográfica (Dh), Densidade de Drenagem (Dd), Coeficiente de Manutenção (Cm) (Tabela 2).

Índice de Circularidade (Ic)

Conforme descreve Cherem (2008), o índice de circularidade foi inicialmente proposto por Miller em 1953. Tal índice é dado pela Equação (2):

$$Ic = \frac{A}{Ac} \quad (2)$$

onde: A é a área da bacia; Ac é a área de um círculo que tenha o perímetro idêntico ao da bacia considerada, sendo o valor máximo considerado igual a 1,0.

Alves e Castro (2003) apresentam possíveis interpretações decorrente dos valores do Ic, a saber:

- Ic = 0,51 – escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas;
- Ic > 0,51 – bacia circular favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas);
- Ic < 0,51 – bacia mais alongada favorecendo o escoamento.

Dessa forma, conforme expressam Feltran Filho e Lima (2007), o Índice de Circularidade varia de acordo com a forma da bacia, apresentando um valor adimensional.

Quanto mais irregular for a forma da bacia, maior será o I_c e menores são as tendências de ocorrência de enchentes. Quando esse índice é igual ou próximo de 1,0 a bacia hidrográfica apresenta forma circular.

Além da relação com a velocidade do fluxo de água, esse parâmetro representa também a transmissividade do escoamento superficial concentrado, isto é, se o tempo de concentração da bacia é lento ou rápido (Cherem, 2008).

Densidade Hidrográfica (D_h)

Este parâmetro estabelece a relação entre o número de cursos d'água e a área de uma determinada bacia, sendo expresso pela Equação (3):

$$D_h = \frac{N}{A} \quad (3)$$

onde: N é o número total de rios; e A é a área da bacia.

De acordo com Alves e Castro (2003), tal parâmetro foi proposto inicialmente por Freitas (1952) e expressa o número de canais existentes em cada quilômetro quadrado da bacia hidrográfica, indicando o potencial hídrico da região.

Feltran Filho e Lima (2007) afirmam que por meio desse índice é possível comparar a frequência ou quantidade de canais em uma determinada área padrão, que neste caso equivale a 1km^2 . A maior ou menor concentração de canais tem relação direta com os processos de escoamento e a capacidade de geração de novos cursos d'água (Christofoletti, 1969).

Densidade de drenagem (D_d)

Inicialmente proposto por Horton (1945), a densidade de drenagem compreende a relação entre a soma do comprimento total dos canais de escoamento (efêmeros, intermitentes ou perenes) com a área da bacia hidrográfica, sendo expresso pela Equação (4):

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (4)$$

onde: L corresponde ao comprimento total dos canais e A à área total da bacia.

Ao tratar de bacias hidrográficas em um mesmo ambiente climático, tal parâmetro representa o comportamento hidrológico definido pela litologia, pedologia e estrutura geológica, imprimindo a capacidade de infiltração e de formação de canais superficiais (Christofoletti, 1970 *apud* Cherem, 2008). Milani e Canali (2000) afirmam que a densidade de drenagem reflete a propriedade de transmissibilidade do terreno e,

consequentemente, a suscetibilidade à erosão. Dessa forma, áreas com índices elevados de densidade de drenagem são resultantes da baixa transmissibilidade do terreno e, portanto mais sujeitas à erosão.

A Dd é bastante relevante na medida em que apresenta relação inversa com a extensão do escoamento superficial. Pode-se apontá-lo, portanto, como um indicador da eficiência da drenagem na área da bacia fluvial. Embora existam poucas informações sobre densidade de drenagem em bacias hidrográficas, pode-se afirmar que este índice varia entre 0,5 para bacias com drenagem pobre e 3,5 para bacias muito bem drenadas (Villela e Mattos, 1975 *apud* Feltran Filho e Lima, 2007).

Coeficiente de Manutenção (Cm)

Conforme definem Pizarra et al. (2004), o Coeficiente de Manutenção representa uma estimativa da área mínima que é exigida para que o canal de drenagem possa se implementar e desenvolver. Inicialmente proposto por Schumm (1956), sua fórmula matemática corresponde à razão inversa da densidade de drenagem da bacia, sendo expressa, portanto, pela Equação (5):

$$Cm = (1 / Dd) \times 1000 \quad (5)$$

onde: Dd corresponde à densidade de drenagem

QUADRO 2 - Atributos e parâmetros morfométricos zonais

	TIPO	EQUAÇÃO	DEFINIÇÃO	FONTE	SIGNIFICADO
ATRIBUTO	Área da bacia (A)	Cálculo automático (Arc.Gis 10)	----	----	-----
	Índice de Circularidade (Ic)	$Ic = \frac{A}{Ac}$	A - área da bacia; AC - área de um círculo que tenha o perímetro idêntico ao da bacia considerada	Miller (1953)	Ic = 0,51- escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas Ic > 0,51- bacia circular favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas). Ic < 0,51- bacia mais alongada favorecendo o escoamento
PARÂMETRO	Densidade Hidrográfica (Dh)	$Dh = N \times A^{-1}$	N - número total de rios A - área da bacia	Freitas (1952)	Expressa o número de canais existentes em cada quilômetro quadrado da bacia hidrográfica, indicando o potencial hídrico da região
	Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = L \times A^{-1}$	L - comprimento total dos canais A - área total da bacia	Horton (1945)	Relaciona-se diretamente com os processos climáticos atuantes na área estudada, os quais influenciam o fornecimento e transporte de material detrítico ou indicam o grau de manipulação Antrópica
	Coefficiente de manutenção (Cm)	$Cm = 1 \times \frac{1000}{Dd}$	Dd – densidade de drenagem	Schumm (1956)	Área mínima exigida para que o canal de drenagem possa se implementar e desenvolver

3.2.1.3. Classe Hipsométrica

A classe hipsométrica corresponde às características do relevo e abrange os atributos de Declividade da bacia (média, máxima e mínima) e de Altimetria (média, máxima, mínima e variação altimétrica dos canais com base nas curvas de nível) para a extração dos seguintes parâmetros: Índice de Rugosidade (Ir), Declividade Média (Dm), Gradiente do Canal Principal (Gcp) (Tabela 3).

Índice de Rugosidade (Ir)

Este índice corresponde ao produto da amplitude altimétrica pela densidade de drenagem, sendo, portanto um valor adimensional. Ele é expresso pela Equação (6):

$$Ir = H \times Dd \quad (6)$$

onde: H corresponde à amplitude topográfica e Dd à densidade de drenagem.

O Ir foi aprimorado por Strahler (1958), que observou que os valores da rugosidade do relevo aumentam quando a amplitude topográfica ou a densidade de drenagem apresentam valores elevados, ou seja, quando as vertentes são longas e íngremes (Strahler, 1958 *apud* Feltran Filho e Lima, 2007).

Em relação às interpretações geomorfológicas, Freitas (1952) aponta que bacias hidrográficas com elevado índice de rugosidade têm maior potencial para ocorrência de cheias, haja vista que se constituem como bacias de alta energia em decorrência da elevada amplitude altimétrica. Além disso, altos índices de Ir podem indicar que as bacias apresentam alta transmissividade hidráulica, já que todos os pontos desta estão mais próximos da rede de drenagem, convertendo o fluxo de vertente em fluxo fluvial em menor tempo.

Declividade Média

Cherem (2008, p. 34) apresenta a seguinte definição para a Declividade Média:

(...) expressa a energia e a intensidade de atuação dos processos morfogenéticos, incluindo a dinâmica dos escoamentos superficiais concentrados e difusos (laminar) nas vertentes. Quando associada à declividade máxima, possibilita comparações sobre energia máxima e média dentro das bacias hidrográficas.

No presente trabalho o cálculo da declividade média foi feito por geoprocessamento no *software* Arc.Gis 10 (© Esri Inc., 2010), a partir de curvas de nível com equidistância de 20m do Projeto Geominas, o qual teve como fonte de dados os mapas do IBGE.

Gradiente do Canal Principal (Gcp)

O G_{cp} é descrito como a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término do segmento fluvial (amplitude altimétrica do canal principal) com o comprimento do mesmo. Este parâmetro reflete o potencial de energia no canal fluvial, haja vista que sua finalidade é indicar a declividade dos cursos de água, podendo ser medido para o rio principal e para todos os segmentos de qualquer ordem (Christofolletti, 1980 *apud* Milani E Canali, 2000).

O Gradiente do Canal Principal pode ser obtido por meio da Equação (7):

$$G_{cp} = \frac{A_{cp} \times 1000}{C_{cp}} \quad (7)$$

onde: A_{cp} representa a amplitude altimétrica do canal; C_{cp} o comprimento do canal e 1000 representa a unidade de transformação de metros em quilômetros.

QUADRO 3 - Atributos e parâmetros morfométricos hipsométrico

	TIPO	EQUAÇÃO	DEFINIÇÃO	FONTE	SIGNIFICADO
ATRIBUTOS	Declividade (D)	Cálculo automático (Arc.Gis 10)	----	----	
	Altimetria	Cálculo automático (Arc.Gis 10)		----	
PARÂMETRO	Índice de rugosidade (Ir)	$Ir = H \times Dd$	H – Amplitude altimétrica Dd – densidade de drenagem	Strahler (1958)	Valores elevados indicam maior potencial para ocorrência de cheias na bacia e/ou pode indicar que as bacias apresentam alta transmissividade e hidráulica
	Declividade média (Dm)	Cálculo automático (Arc.Gis 10)	----	----	Expressa a energia e a intensidade de atuação dos processos morfogenéticos, incluindo a dinâmica dos escoamentos superficiais concentrados e difusos nas vertentes
	Gradiente do canal principal (Gcp)	$Gcp = (Acp / Ccp) \times 1000$	Acp - amplitude altimétrica do canal principal Ccp - comprimento do canal principal	Christofolletti (1980)	Reflete o potencial de energia no canal fluvial

3.3. Processos erosivos e escoamento superficial

A erosão é um processo natural que envolve as etapas de desagregação, remoção, transporte e deposição dos materiais rochosos, solos ou depósitos superficiais inconsolidados, o que pode se dar de maneira lenta ou acelerada (McCann e Ford, 1996). Desta forma, corresponde a um processo natural responsável pela suavização das formas de relevo e rejuvenescimento dos solos, mas que é facilmente intensificado pelas atividades humanas, podendo se tornar um problema para a infraestrutura urbana, rural e para as atividades produtivas.

Os principais fatores condicionantes dos processos erosivos são:

- a *pluviosidade*, principalmente no que se refere à erosividade da chuva, definida pela distribuição de seu volume no tempo e espaço;
- o tipo e/ou a presença ou não de *cobertura vegetal*, pois esta possibilita a proteção natural dos solos à ação direta da chuva, além de introduzir matéria orgânica ao solo, facilitando a infiltração e reduzindo o escoamento superficial;
- o *relevo*, em razão das características de comprimento e declividade das rampas;
- o tipo de *solo*, principalmente no que diz respeito à sua erodibilidade, definida por sua composição granulométrica, presença de matéria orgânica, organização dos horizontes, tipos de estruturas e etc.;
- o *substrato rochoso*, em termos de litologia e presença ou não de estruturas (descontinuidades);
- os *usos* do terreno, pois podem acelerar a erosão, uma vez que praticamente a totalidade destes implicam na remoção da cobertura vegetal natural e/ou alteração da dinâmica natural das águas sub e superficiais.

Em geral, distinguem-se duas formas de abordagem para os processos erosivos: erosão natural ou geológica - erosão que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo - e erosão acelerada ou antrópica, cuja intensidade é superior à da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural (Infantil Júnior e Fornasari Filho, 1998). Praticamente todas as atividades humanas alteram os processos da dinâmica superficial, seja pela movimentação e desestruturação dos terrenos geológicos, pela alteração no escoamento das águas de superfície e de subsuperfície, pela impermeabilização do solo, pela remoção ou destruição da cobertura vegetal, pela introdução de substâncias e elementos químicos, dentre outros fatores (Infantil Júnior e Fornasari Filho, 1998).

Nos ambientes tropicais úmidos, em geral, o agente erosivo mais comum é a água, configurando a chamada erosão hídrica, caracterizada pela desagregação e transporte de partículas do solo pela ação da água das chuvas (Moreira, 2006; Silva et al., 2003). Podem ser distinguidos diferentes tipos de erosão hídrica, sendo possível sua divisão em dois grupos: erosão em *splash* – primeiro estágio do processo erosivo superficial – e erosão por escoamento superficial pluvial, a qual se subdivide em escoamento em lençol, escoamento difuso e escoamento concentrado.

A erosão por *splash* (salpicamento) é maior quanto maior a exposição do solo, pois é causada pela incidência direta da água da chuva, causando o destacamento de

partículas, que ficam sujeitas ao transporte e deposição à jusante, e a selagem superficial (formação de uma “capa siltica”) (Guerra, 1999).

O escoamento superficial pluvial (*runoff*) se inicia quando a capacidade de armazenamento do solo em suas microcavidades e estrutura interna é superada (*overland-flow*) ou quando a taxa de infiltração é menor que a precipitação (fluxo hortoniano). O escoamento difuso e o escoamento em lençol são fluxos não canalizados, responsáveis pela remoção e transporte de partículas finas (argila, silte e areia muito fina). No entanto, enquanto este, responsável pela chamada erosão laminar, se dá numa lâmina d’água mais ou menos uniforme e que recobre a superfície, aquele se dá em filetes de escala milimétrica e pode ocorrer em todas as porções da vertente.

O escoamento concentrado, por sua vez, se caracteriza pela canalização do fluxo. Esse tipo de escoamento só ocorre a uma distância crítica dos interflúvios, necessária à organização e junção das linhas de escoamento, formando um fluxo concentrado em canais definidos, que se tornam trajetórias preferenciais para a água. Podem ser distinguidas três formas erosivas, ou focos erosivos, decorrentes desse processo: os sulcos, as ravinas e as voçorocas.

Os sulcos e as ravinas possuem a mesma origem e função: resultam da concentração do fluxo da água da chuva em canais e desempenham o papel de caminhos preferenciais para o escoamento pluvial. A diferenciação dessas formas erosivas é dada por sua profundidade (ABGE, 1998). Já as voçorocas possuem diferentes origens. Elas podem ser tanto fruto do aprofundamento de ravinas, chegando a atingir o nível freático, como se formarem a partir de túneis na subsuperfície (*pipes*) com posterior colapso do solo. As voçorocas possuem uma evolução complexa, que inclui a erosão remontante em uma ou várias frentes de expansão, a incisão vertical, o alargamento a partir do colapso de solo em suas bordas (em razão do encharcamento dado pela influência do nível freático), além da erosão subsuperficial por “entubamento” (*piping*).

Apesar do impacto visual causado pelas voçorocas (fluxo concentrado) ser muito grande, em certos contextos a erosão laminar (fluxo não concentrado) pode ser responsável por uma maior perda de solo que os voçorocamentos, uma vez que estes ocorrem “pontualmente”, enquanto a erosão laminar erode a superfície em camadas relativamente finas e homogêneas em grande área, sendo difícil a sua visualização.

Uma das principais causas de degradação do solo é a remoção da cobertura vegetal, pois torna o solo desprotegido frente à atuação dos agentes erosivos. Para Bertoni e Lombardi Neto (1999), a cobertura vegetal é a proteção natural do solo, não só do impacto direto da chuva, como da dispersão da água pela interceptação e evaporação das gotas de

chuva pela folhagem. A vegetação contribui também para a incorporação de matéria orgânica ao solo, a qual aumenta a capacidade de retenção de água e favorece uma melhor estruturação do solo, pois fornece substâncias ligantes. Nesse sentido, a presença da vegetação no terreno favorece ainda a diminuição do escoamento superficial. Além de acelerar a erosão, o aumento do escoamento superficial acarreta maior frequência e intensidade das inundações, outro processo do meio físico modificado por ações humanas (Sánchez, 2008).

Observa-se claramente que a floresta atua como principal protetora do solo; quando substituída por pastagem, as taxas de erosão possuem uma ordem de grandeza (dez vezes) maior; já quando ocorre a substituição por culturas, o processo erosivo é cerca de três ordens de grandeza (mil vezes) mais intenso – as taxas de erosão variam muito de cultura para cultura e dependem também das práticas agrícolas usadas, como o plantio em curvas de nível, por exemplo (Sánchez, 2008). A elevada perda de solo nesses casos se deve não só à supressão da vegetação original, mas também à compactação do solo associada à pecuária e à agricultura, seja pelo pisoteio animal ou pelo uso de maquinário agrícola.

Vale destacar que a vegetação protege os solos não apenas superficialmente. A vegetação reduz também a erosão sub-superficial, por meio da redução do fluxo interno, estruturação do solo e redução da velocidade do fluxo pelas raízes.

Desta forma, os riscos de erosão dependem tanto das condições naturais quanto dos modelos de uso da terra. O clima (especialmente a intensidade da chuva), as características das encostas, a cobertura do solo, a natureza geológica das rochas e a natureza dos solos também são importantes. Com respeito ao uso da terra, qualquer atividade que exija a remoção da cobertura vegetal protetora (florestas, arbustos, forragens, etc.) promove erosão, o mesmo ocorrendo com medidas impróprias, como arar morro acima (Guerra, 2005; Silva et al., 2004).

3.4. Suscetibilidade e vulnerabilidade erosiva

Os conceitos de susceptibilidade e vulnerabilidade à erosão são aplicados tendo como base a teoria da ecodinâmica de Tricart (1977). De forma geral, a susceptibilidade natural à erosão corresponde à possibilidade de ocorrência de um processo erosivo em razão das condições naturais do meio físico. Quando a propensão natural do solo à erosão passa também a ser influenciada pelas interferências antrópicas temos o conceito de vulnerabilidade natural. A vulnerabilidade natural corresponde à incapacidade de uma

unidade espacial resistir e/ou recuperar-se após sofrer impactos negativos decorrentes de atividades antrópicas (Scolforo, Oliveira, e Carvalho, 2008)

Desta forma, a susceptibilidade erosiva torna-se, assim, um indicador da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica ou de um sistema natural, não considerando a interferência antrópica. Por sua vez, a vulnerabilidade a erosão considera tal interferência associada à fragilidade natural do terreno aos processos erosivos. Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, cobertura do solo, microclima e recursos hídricos) acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. A identificação dos ambientes naturais e de suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas em uma região (Ross, 2004; Kawakubo et al., 2005).

Com base no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), Crepani et al. (1996; 2001) desenvolveram uma metodologia para expressar a suscetibilidade e vulnerabilidade à erosão mediante a atribuição de valores de estabilidade aos processos de perda de solos para cada aspecto analisado, sendo eles: litologia, solos, declividade, clima e vegetação/uso e cobertura do solo.

No presente estudo optou-se pela não utilização do parâmetro clima (erosividade) em função de não haver variações expressivas dentro da área de estudo que justifiquem sua inserção como fator de diferenciação para a potencialização de feições erosivas. Desta forma, para a área de estudo em questão acredita-se que os elementos que mais influenciam na propensão do solo à erosão são: pedologia, geologia, relevo e uso e cobertura do solo.

Segundo Oliveira (2007), IPT (1988), e Silva & Barbieri (2004), esses aspectos possuem as seguintes funções:

- ***Pedologia***

A pedologia compreende o principal atributo para avaliar a erodibilidade dos solos. Este conceito pode ser entendido como sendo a susceptibilidade à erosão decorrente do tamanho das partículas sólidas e da estabilidade dos agregados que compõe o solo. A erodibilidade tende a aumentar quando os teores de areia muito fina e silte são elevados e a diminuir com a elevação dos teores de argila e matéria orgânica (Wischmeier & Smith, 1958). As argilas comportam-se como elementos agregantes do solo devido à sua alta atividade eletroquímica, enquanto a areia é transportada com dificuldade devido ao seu peso. Por outro lado, o silte é a porção textural mais suscetível aos agentes erosivos, pois não possui nem a característica agregante da argila, nem o peso da areia.

Considerando somente a granulometria, Rezende & Rezende (1983) citam que o solo será mais resistente à erosão quanto melhor for a combinação dos fatores condutividade hidráulica e estabilidade dos agregados. No entanto, essas propriedades têm efeitos inversamente proporcionais, pois solos menos coerentes são os que apresentam maior taxa de infiltração e vice-versa, o que se deve à distribuição dos tamanhos dos poros do solo. Nos solos pouco coerentes, como os de textura arenosa, há uma grande quantidade de macroporos (maiores que 50 µm), os quais são responsáveis pela infiltração da água no perfil do solo. Nos solos coerentes, de textura argilosa, há alta quantidade de microporos, favorecendo a retenção e a armazenagem de água no solo. Nota-se, porém, que o arranjo interagregado de solos argilosos favorece a manutenção de altos valores de condutividade hidráulica e a alta resistência à erosão.

A condutividade hidráulica não permanece constante no mesmo solo, devido aos processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem continuamente, como por exemplo, a alteração do complexo de íons trocáveis e a migração de partículas de argila durante o fluxo (Klar, 1984; Reichardt, 1990). Por isso, a análise dos solos quanto à susceptibilidade à erosão levou em consideração sua profundidade, permeabilidade e textura das camadas superficial e subsuperficial, as quais correspondem aos principais atributos que influenciam na erodibilidade e na infiltração da água no perfil do solo.

- **Relevo**

A declividade do relevo influi no desenvolvimento pedogenético, uma vez que atua como condicionante na infiltração de água necessária ao desenvolvimento de solos mais profundos, bem como na predisposição à retirada de solo pelos processos erosivos.

Assim, a declividade do terreno é um fator que influencia diretamente a susceptibilidade à erosão de uma área, já que o tamanho e a quantidade do material carregado pela água em um processo erosivo dependem da velocidade com que escoam pelo solo, sendo a velocidade função do comprimento do declive e da inclinação do terreno. Assim, áreas mais declivosas são as mais vulneráveis à instalação e intensificação de processos erosivos.

Além disso, a declividade tem tanto maior importância quanto maior for o trecho percorrido pela água que escoam, ou seja, quanto maior for a amplitude da encosta.

- **Geologia**

Tendo em vista que as rochas são formadas pelos agregados de minerais, sua resistência ao intemperismo vai depender da resistência ao intemperismo dos minerais que a compõem bem como da resistência à desagregação entre os minerais.

Desta forma, quanto mais o agente intemperizador (água) fica em contato com o mineral, mais ele será intemperizado. Portanto quanto mais porosa a rocha, ou mais fraturada, mais a água pode atacar seus grãos constituintes e mais rapidamente também são retirados os produtos do intemperismo para que novas superfícies do cristal sejam expostas e intemperizadas. Por sua vez, a resistência à desagregação entre os minerais compreende o grau de coesão das rochas. Rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese).

- ***Uso e cobertura do solo***

A avaliação do uso e cobertura do solo de uma área faz-se extremamente necessário para alcançar os objetivos propostos neste estudo, pois se trata de um elemento que influencia no grau de proteção do solo e que pode provocar e/ou desencadear processos erosivos.

Sabe-se que quanto maior a cobertura dos solos por vegetação, tanto de porte arbóreo quanto herbáceo-arbustivo, menor será a sua vulnerabilidade à erosão. A presença de vegetação impede a erosão superficial acelerada, pois mantém a estruturação do solo e reduz a velocidade do fluxo de água, forçando sua infiltração pelas raízes, além de fornecer maior rugosidade à superfície. Por outro lado, áreas de solo exposto aumentam a vulnerabilidade à erosão do terreno, já que diminuem a capacidade de agregação do solo e favorecem o maior impacto das gotas da chuva (erosão por salpicamento), a compactação do solo e o escoamento superficial, dentre outros.

4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia do Ribeirão Sardinha se localiza na porção sul da alta bacia do Rio das Velhas, nas bordas serranas do Quadrilátero Ferrífero, conforme Figura 1. Sua área corresponde a 121,16 Km² e está totalmente inserida a noroeste do município de Ouro Preto, entre as longitudes UTM 624.021mE e 639.743mE e latitudes UTM 7.754.611mN e 7.738.440mN (fuso 23K), abrangendo porção de área dos distritos de Engenheiro Correia, Santo Antônio do Leite e Miguel Burnier. A bacia conta com dois principais cursos d'água, a saber: o curso do Ribeirão Sardinha, na porção oeste da bacia e o curso do Ribeirão do Mango, na porção leste. Embora este apresente maior vazão e extensão que aquele, após a confluência dos dois ribeirões o curso fluvial passa a se denominar Ribeirão Sardinha, conforme a classificação da carta topográfica do IBGE (IBGE, 1976). Esse ribeirão deságua no Ribeirão Mata Porcos, que, por sua vez, tem sua foz em um dos principais afluentes do Alto Rio das Velhas, o rio Itabirito.

O modelado da região apresenta dissecação acentuada e as variações morfológicas e altimétricas na região aparecem relacionadas ao quadro litológico, de modo que quartzitos e itabiritos do Supergrupo Minas sustentam as bordas serranas do Quadrilátero, enquanto as áreas modeladas sobre xistos e filitos ocupam posição intermediária em relação às esculpidas sobre os gnaisses migmatíticos do Complexo do Bação. Essas últimas, em função da baixa resistência ao intemperismo e à erosão, favoreceram o esvaziamento do interior do Quadrilátero, originando uma área mais rebaixada e suavizada (SALGADO, 2006). O baixo vale do Ribeirão drena essas terras baixas com morfologia colinosa (SOBREIRA, 2000). Em grande parte, os interflúvios são nivelados em altitudes variando entre 1040 e 1150 m.

A rede de drenagem que recorta a área de estudo tem direção NW-SE e sua baixa bacia se instala ao longo das principais discontinuidades tectônicas do embasamento cristalino. Comumente, ao longo desse curso d'água são encontradas soleiras rochosas que estabelecem importantes níveis de base locais na região (Valadão & Silveira, 1992).

De modo geral, a região apresenta três tipos de solo. Na baixa-média bacia, correspondente ao domínio do Complexo Bação, destaca-se solos com horizonte B latossólico caracterizados por Latossolos Vermelho Amarelo Distróficos A moderado com textura argilosa, apresentando um relevo ondulado. Na região, os Latossolos apresentam aptidão agrícola restrita para lavouras.

Na alta bacia, na região das rochas do Supergrupo Minas se destacam solos poucos desenvolvidos caracterizados como Neossolos Litólicos Distróficos A moderado com

textura indiscriminada e Cambissolos Distróficos A moderado. Relacionam-se com um relevo forte ondulado e montanhoso. Essa região apresenta terras pertencentes à classe de aptidão restrita para pastagem natural.

Embora a área apresente paisagem formada por cobertura florestal relativamente preservada, observa-se a ocorrência de processos erosivos lineares, principalmente nas cabeceiras das principais micro-bacias, o que denota forte tendência de erodibilidade natural do terreno nesta porção e erosão remontante ativa dos canais de primeira ordem.

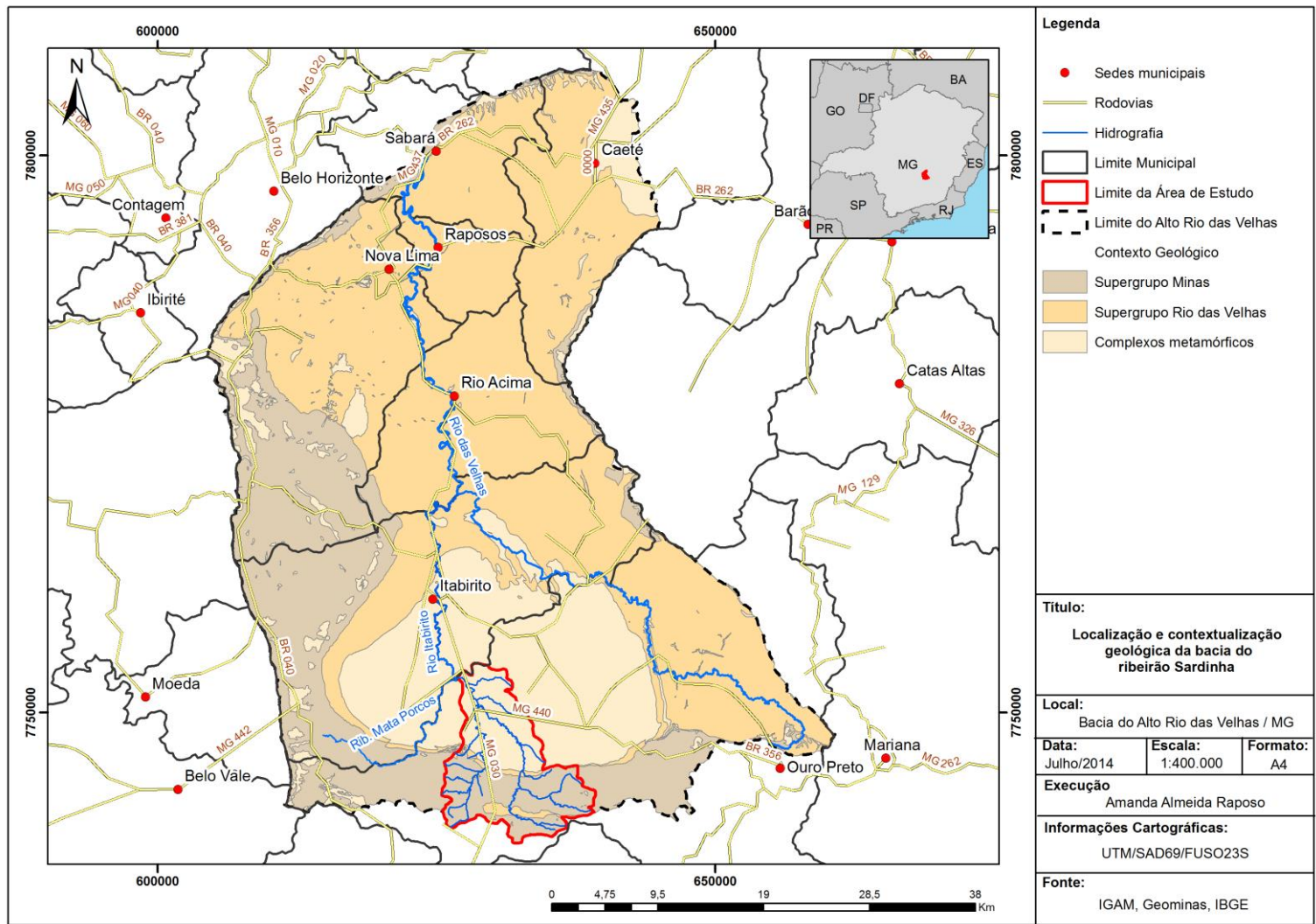


FIGURA 1 – Localização e contextualização geológica da sub-bacia do ribeirão Sardinha no Quadrilátero Ferrífero (recorte para a bacia do Alto Rio das Velhas)

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho seguiu três linhas de investigação, a saber: análise morfométrica da sub-bacia; mapeamento de suscetibilidade erosiva e mapeamento da vulnerabilidade a erosão. Por meio dos resultados torna-se possível analisar a influência dos fatores naturais e antrópicos sobre as áreas mais susceptíveis à ocorrência de processos erosivos, bem como apresentar um zoneamento ambiental referenciados pelas vocações e fragilidades dos terrenos.

Para as análises do presente estudo foram utilizadas bases de dados digitais disponíveis e gratuitas e, desta forma, não foram realizadas atividades de campo. Cabe destacar que, as representações cartográficas partem de generalizações, ou seja, as representações não conseguem ser completamente fieis à realidade, por maior que seja a escala.

A seguir será feita a descrição de cada etapa de trabalho apresentando os materiais e métodos utilizados.

5.1. Análise Morfométrica

A análise morfométrica foi realizada considerando a sub-bacia do Ribeirão Sardinha como um todo e três microbacias dentro da mesma, a saber: alta bacia do ribeirão do Mango, baixa bacia do ribeirão do Mango e microbacia do alto-médio curso do ribeirão Sardinha. A seleção destas deve-se ao fato de que se constituem como os principais afluentes de toda a sub-bacia. A baixa bacia do ribeirão Sardinha não foi utilizada para os cálculos da análise morfométrica, pois não apresentou valores significativos para a comparação. Isto porque o curso principal desta porção da bacia corta apenas duas curvas de nível, o que dificulta a interpretação dos parâmetros hipsométricos de Índice de Rugosidade (Ir), Declividade Média (Dm) e Gradiente do Canal Principal (Gcp).

Para a construção dos dados foi utilizada as bases hidrográfica e hipsométrica de Minas Gerais disponibilizadas pelo Geominas, as quais são compatíveis com a escala de 1:50.000, sendo as curvas de nível espaçadas de 20 em 20 metros. Todo o processamento dos dados foi feito no software Arc.Gis 10 (© Esri Inc., 2010).

Para a geração dos parâmetros morfométricos escolhidos foi necessária a extração dos seguintes atributos da bacia de drenagem: área da bacia (A); perímetro da bacia (P); comprimento dos canais fluviais (L); distância vetorial dos canais fluviais (Dv);

número de canais fluviais (N); declividade da bacia (média, máxima, mínima); altimetria (média, máxima, mínima, variação altimétrica dos canais com base nas curvas de nível);

Foram escolhidos os seguintes parâmetros: Índice de Sinuosidade do Canal Principal (Is), Índice de Circularidade (Ic), Densidade Hidrográfica (Dh), Densidade de Drenagem (Dd), Coeficiente de Manutenção (Cm), Índice de Rugosidade (Ir), Declividade Média (Dm), Gradiente do Canal Principal (Gcp). As fórmulas para os cálculos de cada parâmetro foram descritas no tópico 2.1.1.

Os dados obtidos foram correlacionados e interpretados, gerando um mapeamento de macrozonas da análise morfométrica em termos de permeabilidade dos solos e escoamento superficial pluvial. O zoneamento foi utilizado como atributo no cruzamento dos dados para elaboração dos mapas de suscetibilidade e vulnerabilidade à erosão.

5.2 - Mapeamento de suscetibilidade e vulnerabilidade erosiva

A fim de verificar se a propensão aos processos erosivos na sub-bacia do ribeirão Sardinha está mais relacionada aos fatores naturais ou à atuação antrópica foi elaborado dois mapas, a saber;

- a) *Mapa de suscetibilidade à erosão*: baseado apenas na influência do relevo, dos aspectos geológicos, da erodibilidade dos solos e da análise morfométrica.
- b) *Mapa de vulnerabilidade à erosão*: baseado na influência do relevo, aspectos geológicos, erodibilidade dos solos, análise morfométrica e no uso e ocupação do solo.

Para cada variável, considerando cada um dos mapas supracitados, foi atribuído um peso de importância com relação à influência para a erosão do terreno. Para a definição dos pesos foi utilizado o método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - AHP).

O método de Análise Hierárquica (AHP), criado por Saaty (1977), tem como fundamento aplicar uma matriz de intensidade e importância entre as variáveis do tema a ser analisado gerando-se assim, pesos diferenciados para cada uma destas, de acordo com sua importância para suscetibilidade erosiva.

Este método faz uso de uma escala de comparação (Quadro 4) em que se pode definir linearmente a hierarquia de importância entre os fatores pré-definidos.

QUADRO 4 – Escala de comparadores do método AHP

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty (1997)

Segundo Magalhães et. al., 2011, a fase de atribuição dos valores, com base na escala de comparadores, é considerada como o momento mais importante, tendo em vista que, os valores de importância atribuídos a um fator interferem diretamente no resultado obtido.

Para verificar a consistência da matriz. Saaty (1977) propõe uma razão de consistência (RC) expressa pela seguinte Equação 8:

$$RC = \frac{IC}{IA} \tag{8}$$

Onde: IC corresponde ao Índice de Consistência e o IA Ao Índice Aleatório.

O IC é dado pela seguinte equação:

$$I.C.= \text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{9}$$

Onde λ_{\max} corresponde à divisão do vector do total de entradas pelos pesos e n corresponde ao número da matriz.

O valor de IC deve ser comparado com o Índice Aleatório (IA) a fim de verificar se o resultado é menor ou igual e 0,10 (10%): O Índice Aleatório varia de acordo com o número da matriz e está representado na tabela abaixo:

QUADRO 5 – Valores de IA para matrizes quadradas de ordem n, segundo Saaty (1977)

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Neste caso quanto maior o valor de RC maior será a inconsistência da matriz. Assim, para matrizes de ordem 4 o RC deve ser menor de 0,9 e para matrizes de ordem 5, menor que 1,12.

A seguir são apresentadas as variáveis escolhidas para os mapeamentos bem como a base de dados utilizada.

- ***Pedologia***

Para a análise da erodibilidade foram utilizadas as bases do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, em escala 1:650.000, elaborado pelo Departamento de Solos-DPS / LABGEO da Universidade Federal de Viçosa-UFV em 2010.

- ***Geologia***

Para avaliação dos aspectos geológicos foi utilizada a base de dados do mapeamento “Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e Correção Cartográfica em SIG” em escala 1:50.000 realizado pelo Departamento de Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG em 2005.

As unidades geológicas definidas contemplaram os Supergrupos, Grupos e Formações quando existentes.

- ***Relevo***

Para atribuição de classes do relevo foi elaborado um mapa de unidades do relevo tendo por base as características da declividade e elevação do terreno.

Os mapas de declividade e hipsometria, base para o mapa final, foram elaborados por meio de curvas de nível com equidistância de 20 metros disponibilizadas pelo projeto Geominas.

O mapa de declividade adotou os limites de declive conforme estabelecidos em Santos et al. (2005), o qual definem seis tipos principais de relevo conforme quadro abaixo:

QUADRO 6 - Classes de declive

Tipo de relevo	Declive (%)
Plano	0 - 3
Suave ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 20
Forte ondulado	20 - 45
Montanhoso	45 - 75
Escarpado	>75

O mapa de elevação também foi composto por cinco classes calculadas pelo método de classificação de pontos de quebra natura - agrupamentos estatísticos pelo algoritmo de Jenks - pelo software Arc.Gis 10 (© Esri Inc., 2010), conforme quadro abaixo:

QUADRO 7 - Classes de elevação

Classes de elevação (altitude em m)
1420 - 1209
1209 - 1113
1113 - 1022
1022 - 677
<677

Por meio da interpretação dos dados gerados foi elaborado o mapa de unidades do relevo.

- ***Zoneamento morfométrico***

Para o zoneamento morfométrico são utilizados os dados calculados conforme especificados no tópico 4.1. Análise Morfométrica. Os valores de suscetibilidade atribuídos para cada classe gerada serão especificados no tópico 5.1 - Análise Morfométrica das sub-bacias analisadas.

- ***Uso e ocupação do solo***

A base de uso e ocupação do solo, utilizada para elaboração do “Mapa de vulnerabilidade à erosão” foi extraída da imagem de satélite do sistema orbital TM/Landsat 5 com Órbita 218 e ponto 74, datada de 2011, adquirida no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A composição de bandas da imagem foi feita utilizando o software ArcGis e a classificação das imagens foi feita no software gratuito MultiSpec.

Ainda foi realizado o mapeamento de feições erosivas na sub-bacia tendo por base imagens Ikonos (RGB 321 – cor natural) datadas de 2006, cedidas pela Universidade Federal de Ouro Preto, georreferenciadas em coordenadas UTM, datum WGS84.

Desta forma, foram mapeadas nove classes de usos e cobertura. Cabe destacar que para as classes lineares – sistema viário - foi aplicado um “buffer” de 15 metros ao longo dos elementos (a direita e a esquerda) gerando uma representação poligonal. O buffer foi definido tendo por base um valor médio das faixas de domínio não edificantes das construções lineares.

O cruzamento dos dados foi feito considerando as variáveis supracitadas e os pesos definidos para cada uma destas pelo método de álgebra de mapas. A álgebra de mapas usa expressões contendo operadores e funções para realizar análise espacial

cartográfica usando dados raster, os quais são geograficamente cadeias de números referenciados. O termo “álgebra de mapas” foi introduzido por Tomlin em 1990, para indicar o conjunto de procedimentos de análise espacial em Geoprocessamento, o qual, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas produz novos dados. Os mapas são tratados como variáveis individuais, e as funções definidas sobre estas variáveis são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa (Barbosa, et al.,1998).

A figura abaixo representa um exemplo do cruzamento das matrizes dos parâmetros selecionados pelo método de álgebra de mapas.

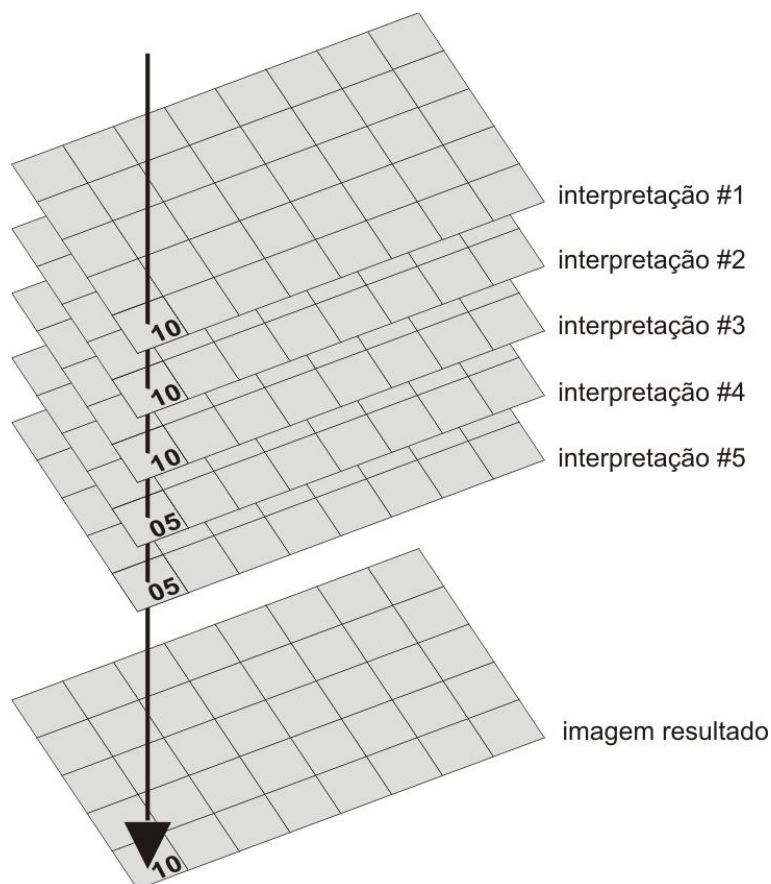


FIGURA 2 - Exemplo de cruzamento das matrizes dos mapas base pelo método de álgebra de mapas

Fonte: Alencar-Silva, 2011

Dessa forma, para a confecção dos mapas, primeiro efetuou-se a hierarquização dos parâmetros quanto ao seu grau de suscetibilidade / vulnerabilidade à erosão. Na sequência, atribuiu-se valores para cada classe existente, que variaram de 1 a 5. Para cada um dos mapas supracitados foi feito o cruzamento dos dados, em formato raster, de acordo com as equações abaixo, sendo P igual ao valor do peso definido:

Mapa de suscetibilidade à erosão - Equação (10)

$$[(\text{Ped.}^*P) + (\text{Geol.}^*P) + (\text{Rel.}^*P) + (\text{Morf.}^*P)] / 4 \quad (10)$$

Mapa de vulnerabilidade a erosão – Equação (11)

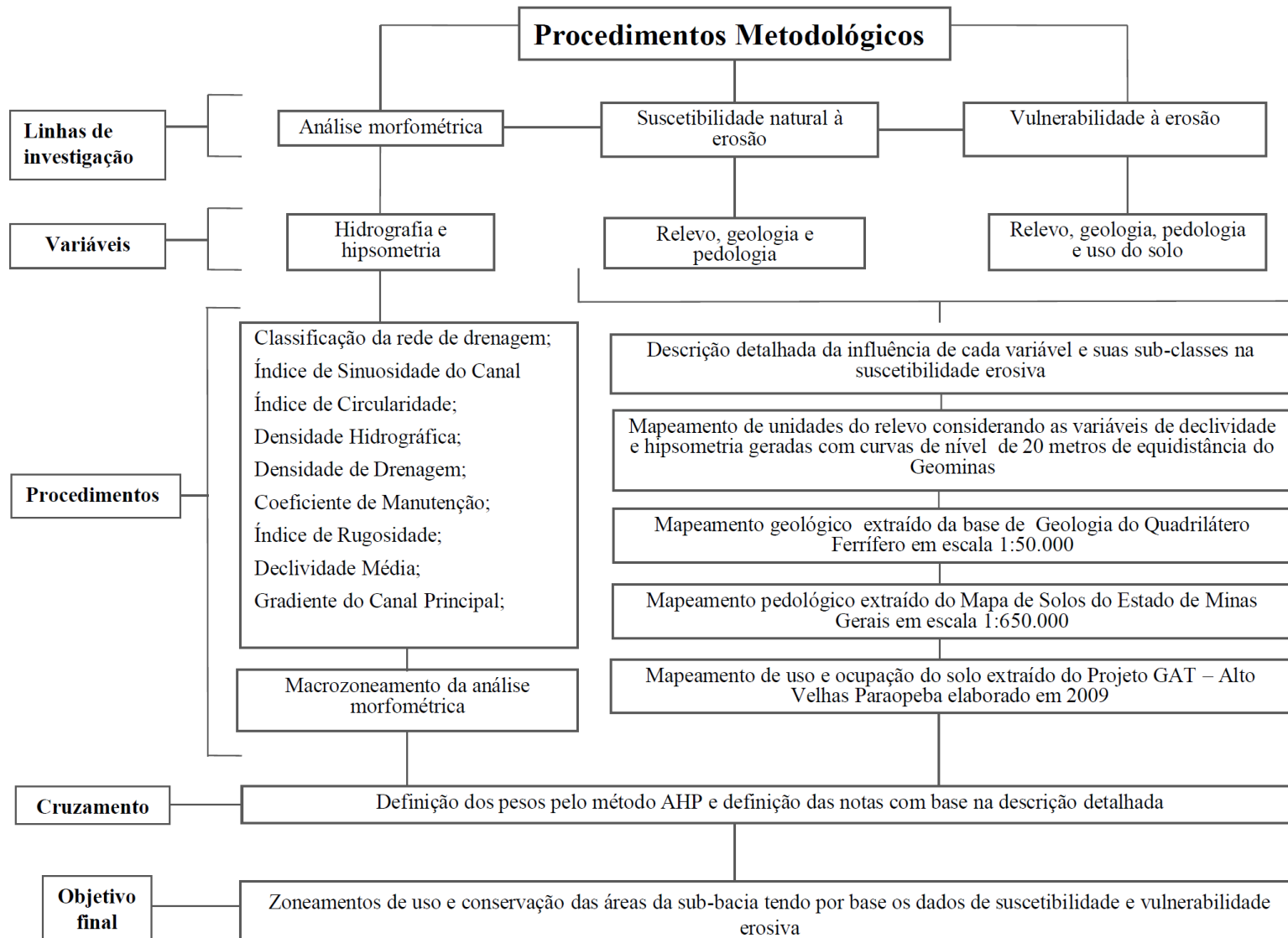
$$[(\text{Ped.}^*P) + (\text{Geol.}^*P) + (\text{Rel.}^*P) + (\text{Morf.}^*P) + (\text{Uso e ocupação}^*P)] / 5 \quad (11)$$

Por fim, para o mapa final foram estabelecidas cinco classes de suscetibilidade erosiva e de vulnerabilidade, classificadas em Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta abrangendo a média aritmética dos parâmetros avaliados.

As pesos definidos para cada variável bem como as notas atribuídas as mesmas se encontram descritas e justificadas no tópico 5 a seguir.

O Quadro 8 apresenta o organograma metodológico da pesquisa, com as indicações das linhas de pesquisa, variáveis utilizadas, procedimentos empregados, cruzamento das informações e o objetivo final.

QUADRO 8 – Organograma metodológico do desenvolvimento da pesquisa



6 - RESULTADOS

6.1. Análise Morfométrica das sub-bacias analisadas

Para o cálculo dos parâmetros morfométricos foram extraídos os dados dos atributos das bacias, sendo esses: área, perímetro, distância vetorial dos canais fluviais, declividade e altitude, conforme expressos no Quadro 9.

Posteriormente, foi feita a hierarquização da rede de drenagem pelo método de Strahler (1952). Constatou-se que a bacia do ribeirão Sardinha configura-se como uma bacia de sexta ordem em termos de hierarquia fluvial, sendo seus dois principais afluentes, Mango e Sardinha, canais de quinta ordem (Figura 3). A bacia do Ribeirão Sardinha apresenta ao todo 468 canais fluviais sendo 347 canais de primeira ordem e apenas um de sexta ordem. Os valores do número de canais, comprimento e comprimento médio desses por ordem hierárquica e por sub-bacia podem ser visualizados no Quadro 10 e 11. Os dados se constituem como atributos para o cálculo dos parâmetros morfométricos lineares.

QUADRO 9 - Atributos morfométricos calculados para a bacia do ribeirão do Sardinha e suas sub-bacias

Área de drenagem	A (km ²)	P(m)	Dv(m)	Declividade (%)			Altitude (m)			
				Dmax	Dmin	Hmax	Hmed	Hmin	ΔHp	ΔHb
Rib. Sardinha – Área Total	121,1	61198	16247	89,63	0	1420	1150	880	0	540
Baixa bacia do rib. Mango	24	28037	8031	89,41	0	1240	1030	920	0	540
Alta bacia do rib. Mango	41	34819	4934	89,47	0	1420	1170	1000	0	500
Alto/médio curso do rib. Sardinha	36,9	31516	11257	89,63	0	1420	1170	920	0	500

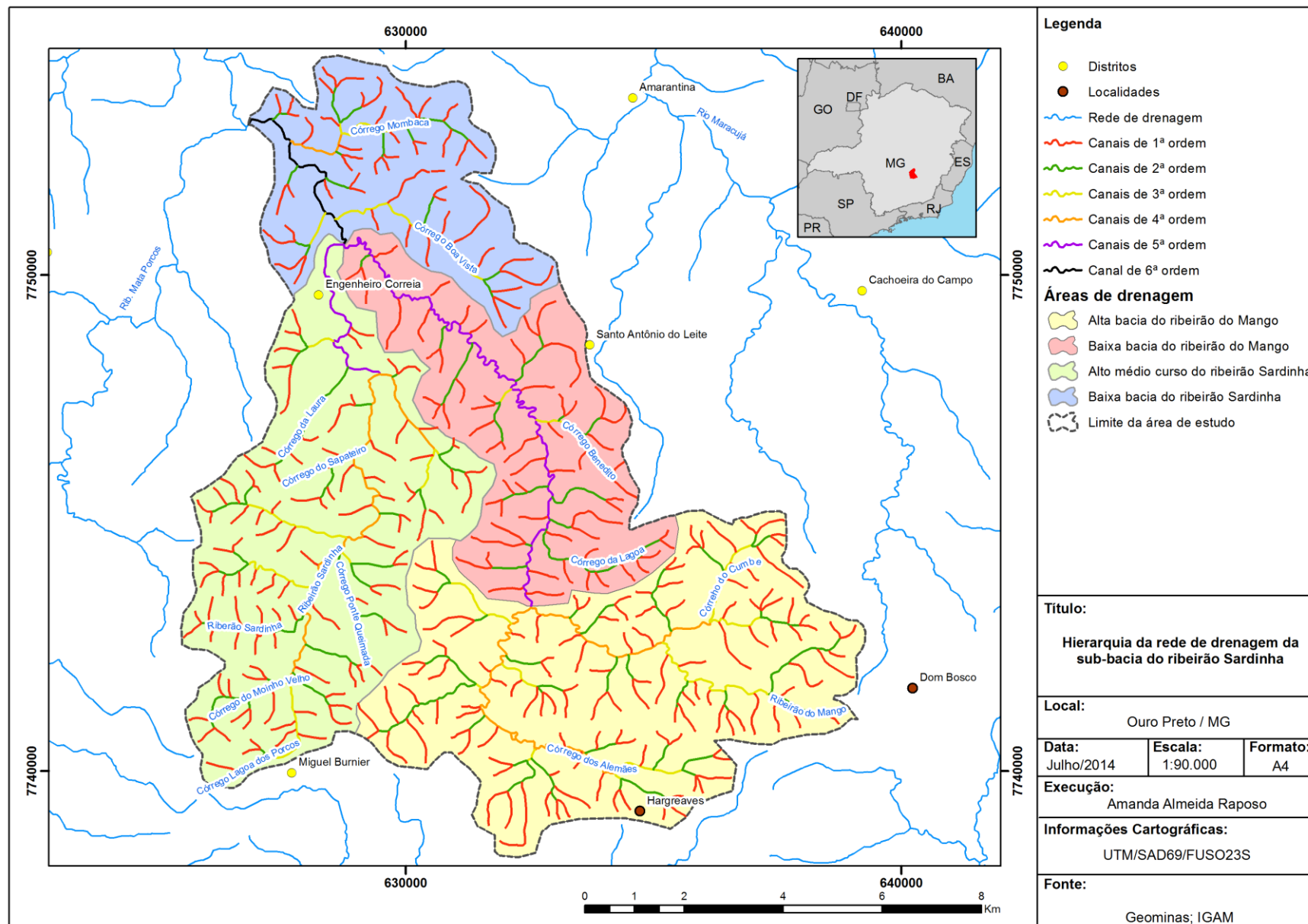


FIGURA 3 – Hierarquia dos canais fluviais da bacia do Ribeirão Sardinha de acordo com Strahler (1952)

QUADRO 10 - Número de canais, comprimento e comprimento médio dos canais por ordem hierárquica da bacia do ribeirão sardinha – área total de estudo

Ordem	Bacia do Ribeirão Sardinha – Área total		
	N	L (km)	Lm (km)
1ª ordem	347	182,08	0,52
2ª ordem	87	63,7	0,73
3ª ordem	26	27,72	1,06
4ª ordem	5	24,4	4,88
5ª ordem	2	17,9	8,95
6ª ordem	1	4,3	4,3
Total	468	320,1	0,68

QUADRO 11– Número de canais, comprimento e comprimento médio dos canais por ordem hierárquica das sub-bacia

Ordem	Baixa bacia do rib. do Mango			Alta bacia do rib. do Mango			Alto/médio curso do rib. Sardinha		
	N	L (km)	Lm (km)	N	L (km)	Lm (km)	N	L (km)	Lm (km)
1ª ordem	65,00	36,00	0,55	128,00	67,00	0,52	108,00	51,37	0,48
2ª ordem	15,00	13,00	0,87	32,00	23,64	0,74	26,00	20,00	0,77
3ª ordem	2,00	1,30	0,65	14,00	11,10	0,79	8,00	8,90	1,11
4ª ordem	0,00	0,00	0,00	2,00	12,15	6,08	2,00	10,50	5,25
5ª ordem	1,00	13,60	13,60	0,00	0,00	0,00	1,00	4,30	4,30
6ª ordem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	83,00	63,90	0,77	176,00	113,89	0,65	145,00	95,07	0,66

Observa-se um número significativo de canais de primeira ordem na alta bacia do ribeirão do Mango se comparada a alta bacia do canal principal do ribeirão Sardinha. Tal fato aponta para uma maior dissecação dos canais na alta porção da bacia do ribeirão do Mango e maior energia para formação dos canais de primeira ordem conferindo a esta porção maior potencial erosivo.

De porte de todos os dados foi calculado oito parâmetros morfométricos para as bacias conforme expressos no Quadro 12.

QUADRO 12 – Parâmetros morfométricos por classe calculados para a bacia do ribeirão Sardinha e suas sub-bacias

Bacia de drenagem	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS							
	Lineares	Zonais			Classe Hipsométrica			
	Is	Dh	Dd	Cm	Ic	Gcp	Dm	Ir
Rib. Sardinha – Área Total	1,73	3,86	2,64	378,3	0,40	1,55	14,53	1427,36
Baixa bacia do rib. Mango	1,70	3,45	2,66	375,5	0,38	0,4	13,1	1437,75
Alta bacia do rib. Mango	1,99	4,29	2,77	359,9	0,43	3,4	15,11	1388,90
Alto/médio curso do rib. Sardinha	1,43	3,92	2,57	388,1	0,46	2,73	13,1	1288,21

Dentre os parâmetros lineares foi calculado o Índice de Sinuosidade do canal principal (Is). O Is para a bacia como um todo foi de 1,73, valor mais próximo a 2, o que indica um padrão de drenagem mais próximo do meandrante. Embora a baixa bacia do ribeirão do Mango tenha apresentado valor elevado com relação a este parâmetro o mesmo não se aplica pois não se observa padrão sinuoso ao longo do canal principal. Tal valor esta associado a inflexão da rede de drenagem de SE-NW para SW-NE decorrente de aspectos estruturais geológicos.

Em comparação com as outras sub-bacia, a área de drenagem do baixo ribeirão do Mango foi a que obteve o maior valor de Is (1,70) indicando ser essa uma bacia de mais baixa energia e com alto grau de meandramento. Em contrapartida, o alto-médio curso do ribeirão Sardinha apresenta baixo valor de Is, o que demonstra ser esse curso mais próximo ao retilíneo.

Para toda a bacia observa-se que os canais de 5ª ordem são os que apresentaram maiores valores de Is em comparação com os de 4ª e 6ª ordem, conforme pode ser observado no Quadro 13. Deve-se ressaltar que o canal de 5ª ordem da baixa bacia do ribeirão do Mango foi o que contribui para o elevado valor de Is apresentado.

QUADRO 13 – Índice de Sinuosidade média dos canais de 4ª, 5ª e 6ª ordem

Ordem Hierárquica	Índ. de sinuosidade média
4ª ordem	1,25
5ª ordem	1,62
6ª ordem	1,42

Para os parâmetros zonais foram extraídos os valores do Índice de Circularidade (IC), Densidade hidrográfica (Dh), Densidade de drenagem (Dd) e o Coeficiente de Manutenção (Cm).

O I_c para todas as bacias se apresentou menor que 0,51 o que de acordo com Alves & Castro (2003) demonstra serem bacias mais alongadas, o qual favorece o escoamento superficial concentrado. Entretanto, cabe destacar o formato mais próximo ao circular na alta bacia do ribeirão do Mango e no alto-médio curso do ribeirão Sardinha.

Os valores de D_h e D_d apresentou-se elevado para a alta bacia do ribeirão do Mango, seguida da alta-média bacia do ribeirão Sardinha o que pode indicar que as zonas de cabeceira da área de estudo apresenta baixa transmissibilidade do terreno e menor capacidade de infiltração e, conseqüentemente, maior possibilidade de ocorrência de processos erosivos.

Os valores de C_m para todas as sub-bacias se apresentam bastante contíguos o que indica que todas apresentam valores próximos de área mínima exigida para que um canal de drenagem possa se desenvolver.

O Gradiente do Canal Principal (G_{cp}), a Declividade Média (D_m) e o Índice de Rugosidade (I_r), constituem, por sua vez, os parâmetros da classe hipsométrica calculados para as bacias em questão.

O G_{cp} do ribeirão Sardinha como um todo apresentou valores baixos o que indica baixo potencial de energia do canal principal. Entretanto, comparativamente a alta bacia do ribeirão do Mango apresentou valores mais elevados em relação às outras, seguida da alta-média bacia do ribeirão Sardinha, o que indica maior potencial para o encaixamento da rede de drenagem nestas áreas e formação de canais de primeira ordem. A baixa bacia do ribeirão do Mango, por sua vez, apresentou valores baixos para este parâmetro confirmando os valores apresentados para o I_s , na medida em que demonstra menor energia do canal principal nesta porção com um padrão de drenagem mais próximo ao meandrante.

Em relação à D_m das bacias observa-se que todas apresentaram valores próximos. Para a definição das classes de declividade foi utilizado a classificação de Santos et al. (2005), que define seis classes distintas, conforme expressas no Quadro 6. Conforme a classificação, as bacias apresentam, de forma geral, relevo caracterizado como ondulado (vide Figura 6). O maior índice de declividade média para a alta bacia do ribeirão do Mango decorre do fato desta concentrar em suas cabeceiras os maiores valores de declividade que podem ser associados, em grande medida, às rochas mais resistentes do Supergrupo Minas (vide Figura 9).

O I_r das bacias apresentaram valores relativamente baixos, dado que condiz com a caracterização do relevo como ondulado. Tal fato pode ser decorrente da baixa amplitude altimétrica das bacias em questão se comparada com outras áreas na porção

setentrional do domínio serrano do Quadrilátero Ferrífero, conforme demonstra Cherem (2008).

Desta feita, considerando os aspectos descritos foi possível delinear macrozonas em termos de permeabilidade dos solos e vulnerabilidade natural dos terrenos a erosão considerando os parâmetros mais relevantes para cada zona, conforme pode ser visualizado na Figura 4.

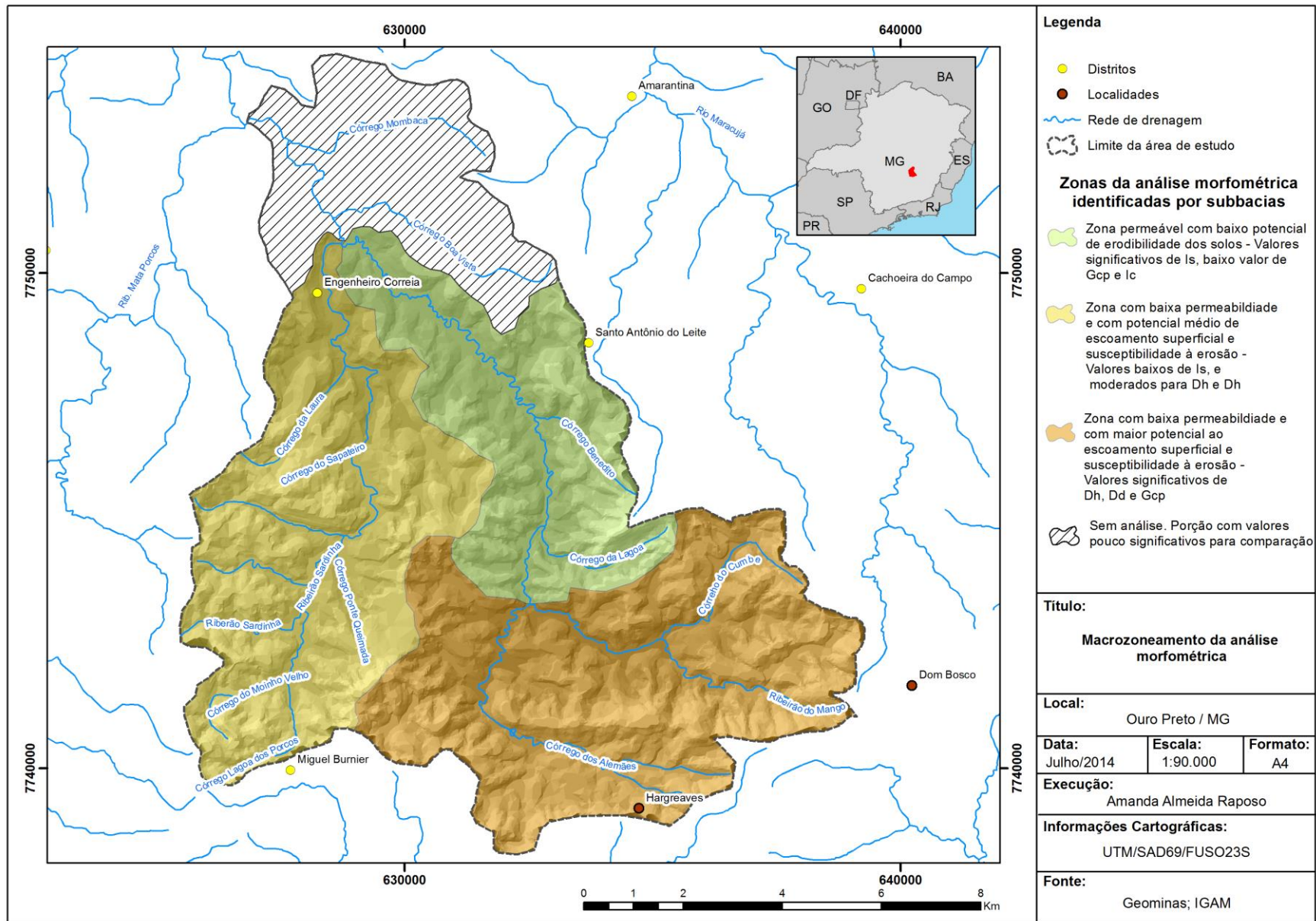


FIGURA 4– Macrozoneamento da análise morfométrica

Considerando o zoneamento morfométrico proposto, foram estabelecidas três classes de mapeamento. O Quadro 14 apresenta as classes propostas, bem como os valores de suscetibilidade erosiva atribuído para cada uma. Cabe destacar a baixa bacia do ribeirão Sardinha não foi incluída no macrozoneamento, pois não apresentou valores significativos para a comparação em função do detalhamento da curva de nível disponível. Neste caso, para esta área não foi atribuído nenhum peso e a mesma foi excluída da base raster para as etapas de cruzamento dos dados.

A classe definida como Zona permeável foi classificada como baixa e não como muito baixa, tendo em vista que embora apresente relevo suave, seu canal principal apresenta considerável potencial de erosão marginal em função do leito fluvial concrecionado, o que dificulta a incisão vertical do vale e promove a migração lateral do canal (Raposo et al., 2008).

QUADRO 14 – Classes do zoneamento morfométrico e níveis de suscetibilidade erosiva

Classes	Características morfométricas	Suscetibilidade a erosão	Nota atribuída
Zona permeável	Valores significativos de I_s , baixo valor de G_{cp} e I_c	Baixa	2
Zona com baixa permeabilidade e com potencial médio de escoamento superficial	Valores baixos de I_s , e moderados para D_h e D_h	Média	3
Zona com baixa permeabilidade e com maior potencial ao escoamento superficial	Valores significativos de D_h , D_d e G_{cp}	Muito Alta	5

6.2 - Mapeamento da suscetibilidade e vulnerabilidade erosiva

A seguir será feita uma descrição das variáveis selecionadas para o estudo a fim de confirmar as notas e pesos que serão propostos para o mapeamento da suscetibilidade e da vulnerabilidade erosiva.

6.2.1 – Classes de solos e erodibilidade

Conforme descrito em capítulos anteriores foram identificadas três classes de solos conforme mapeamento de solos do Estado de Minas Gerais, elaborado pela UFV (Figura 5).

A seguir será feita uma descrição dos solos para caracterização da erodibilidade natural dos mesmos, conforme descrito pela EMBRAPA, 2006.

- ***Latossolo Vermelho Amarelo (LVAd1)***

Os Latossolos são solos em avançado estágio de intemperização, normalmente profundos, sendo a espessura do solum raramente inferior a um metro. Têm sequência de horizontes A, B, C, com pouca diferenciação de sub-horizontais, e transições usualmente difusas ou graduais.

Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram solos que têm cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenada, indicativa de formação em condições, atuais ou pretéritas, com certo grau de gleização.

Em distinção às cores mais escuras do A, o horizonte B tem cores mais vivas, variando desde amarelas ou mesmo bruno-acinzentadas até vermelho-escuro-acinzentadas, nos matizes 2,5YR a 10YR. São, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos.

Os Latossolos são constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial.

O horizonte B latossólico deve apresentar espessura mínima de 50cm, textura franco arenosa ou mais fina e baixos teores de silte. O horizonte B latossólico apresenta diferenciação pouco nítida entre os seus subhorizontes, com transição, de maneira geral, difusa. A estrutura neste horizonte pode ser fortemente desenvolvida, quando os elementos de estrutura forem granulares, de tamanho muito pequeno e pequeno, ou fraca e mais raramente de desenvolvimento moderado, quando se tratar de estrutura em blocos subangulares. A consistência do material do horizonte B, quando seco, varia de macia a muito dura e de firme a muito friável quando úmido.

Na área de estudo os Latossolos são distróficos típico com horizonte A moderado e textura argilosa. Ocorre na baixa porção da bacia onde predomina um relevo plano a suave ondulado.

Estão relacionados aos complexos gnáissicos do embasamento cristalino, com predomínio de rochas granito-gnáissicas e intrusivas máficas e ultramáficas. Tal unidade geológica compreende solos pedologicamente mais desenvolvidos com espesso manto de intemperismo.

De forma geral, os Latossolos apresentam elevada resistência à erosão tendo em vista a grande macro porosidade e, portanto grande permeabilidade deste solo. Ainda que apresentem baixa suscetibilidade à erosão e movimentos de massa estes processos

são comumente visualizados nesta classe o que se associa ao intenso uso desta tipologia com compactação, retirada de cobertura vegetal e exposição de perfis em cortes e aterro e por isso tal solo pode ser considerado de média erodibilidade.

- ***Cambissolo Háptico (CXbd1)***

Os Cambissolos são solos que conformam a sequência de horizontes A-Bi-C, sendo o horizonte A com espessura inferior a 40 cm e o horizonte B incipiente (Bi) com espessura inferior a 50 cm, indicando processo inicial de formação. O grau de evolução do horizonte Bi não permite sua classificação junto aos demais horizontes B de solos mais evoluídos. O gradiente textural do horizonte A para o B é baixo e os horizontes são pouco diferenciados entre si.

As alterações físicas e químicas em graus não muito avançado dos Cambissolos são evidenciadas pelos altos teores de silte, encontrados até mesmo nos horizontes superficiais; por seu fraco grau de desenvolvimento intermediário da estrutura do solo; e por sua reduzida permeabilidade, limitada pela baixa quantidade de macroporos e/ou pela pouca profundidade. Quanto maior a presença da fração areia na textura desses solos, menor é sua plasticidade.

De forma geral, são solo altamente susceptíveis a processos erosivos laminares e lineares e movimentos de massa, principalmente quando ocorre a exposição do horizonte C, rico em silte. Quando esses solos se formam em relevo declivoso, os processos de instabilidade são muito favorecidos.

Na área de estudo, os Cambissolos são do tipo distróficos típicos com horizonte A fraco/moderado e textura argilosa. Ocorre predominantemente no extremo sudeste da área de estudo nas cabeceiras do córrego do Cumbe onde se observa um relevo ondulado a forte ondulado e rochas filíticas e quartzítica do Grupo Piracicaba.

Desta feita, a erodibilidade dos Cambissolos da área de estudo pode ser classificada como muito alta, haja vista que esses solos geralmente não apresentarem pedregosidade e possuem o horizonte C relativamente próximo a superfície, onde os processos erosivos são mais atuantes.

- ***Neossolo Litólico (RLd5)***

Os Neossolos Litólicos apresentam horizonte A ou O hístico com menos de 40 cm de espessura, assentado diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr que tenha 90% ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matações) e que apresenta um contato lítico dentro a 50

cm da superfície do solo. Esta classe de solo admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

Esses solos são bastante homogêneos, pouco desenvolvidos e com boa drenagem, ocorrendo normalmente em associação a afloramento de rochas. Os Neossolos Litólicos são encontrados em relevo movimentado, que variam de ondulado a fortemente ondulado, com declividades de 30 a até 100%; contudo, verifica-se isoladamente sua presença em superfícies planas com até 10% de inclinação.

Em função da reduzida profundidade efetiva o uso deste solo é limitado sobretudo o agrícola, devido ao reduzido volume de terra disponível para o ancoramento das plantas e para a retenção de umidade. A maioria desses solos ocorre em relevos acidentados, o que aumenta a sua já elevada susceptibilidade à erosão.

Em consequência da textura grosseira, são muito porosos e com elevada permeabilidade. Tal atributo, juntamente com a baixa capacidade adsorptiva, caracteriza-os como solos extremamente favoráveis a contaminação de aquíferos.

Na área de estudo os Neossolos Litólicos são do tipo distrófico típico com A fraco/moderado e pode estar associado às outras classes de solos supracitadas (Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho Amarelo). Ocorre predominantemente nas cabeceiras da sub-bacia de estudo, mais especificamente nas sub-bacia do córrego dos Alemães e córrego Lagoa dos Porcos onde predomina relevo ondulado a forte ondulado e litologias do Supergrupo Rio das Velhas e do Supergrupo Minas. Normalmente se encontram cobertos por vegetação do tipo campo cerrado. A menor atuação da pedogênese nestas áreas pode estar relacionada a dois fatores principais: a maior resistência da rocha de origem e a influência do relevo.

Considerando os aspectos supracitados, os Neossolos Litólicos podem ser classificados como de erodibilidade alta. Cabe destacar que, como são solos ainda pouco profundos e de elevada pedregosidade, a quantidade de material intemperizado passível de transporte é pequena e por isso tal solo não foi classificado com erodibilidade muito alta.

Partindo da descrição acima foram estabelecidas as notas para cada tipo de solo, conforme pode ser visualizado no Quadro 15. A Figura 5, por sua vez, apresenta a espacialização das classes de solos dentro da área de estudo.

QUADRO 15 – Principais características e escala de susceptibilidade dos solos presentes na área de estudo

Unidade	Relevo	Associações	Vegetação predominante	Geologia predominante	Nível de erodibilidade	Nota atribuída
Cambissolo Háptico	Forte ondulado Ondulado	--	Campo Cerrado	Supergrupo Minas – Grupo Piracicaba	Média	3
Neossolo Litólico	Forte ondulado Ondulado	CXb+LVA	Campo Cerrado	Supergrupo Rio das velhas - Grupo Nova Lima Supergrupo Minas – Grupo Piracicaba	Alta	4
Latossolo	Suave Suave ondulado	---	FESD média/avançada	Embasamento Cristalino	Muito Alta	5

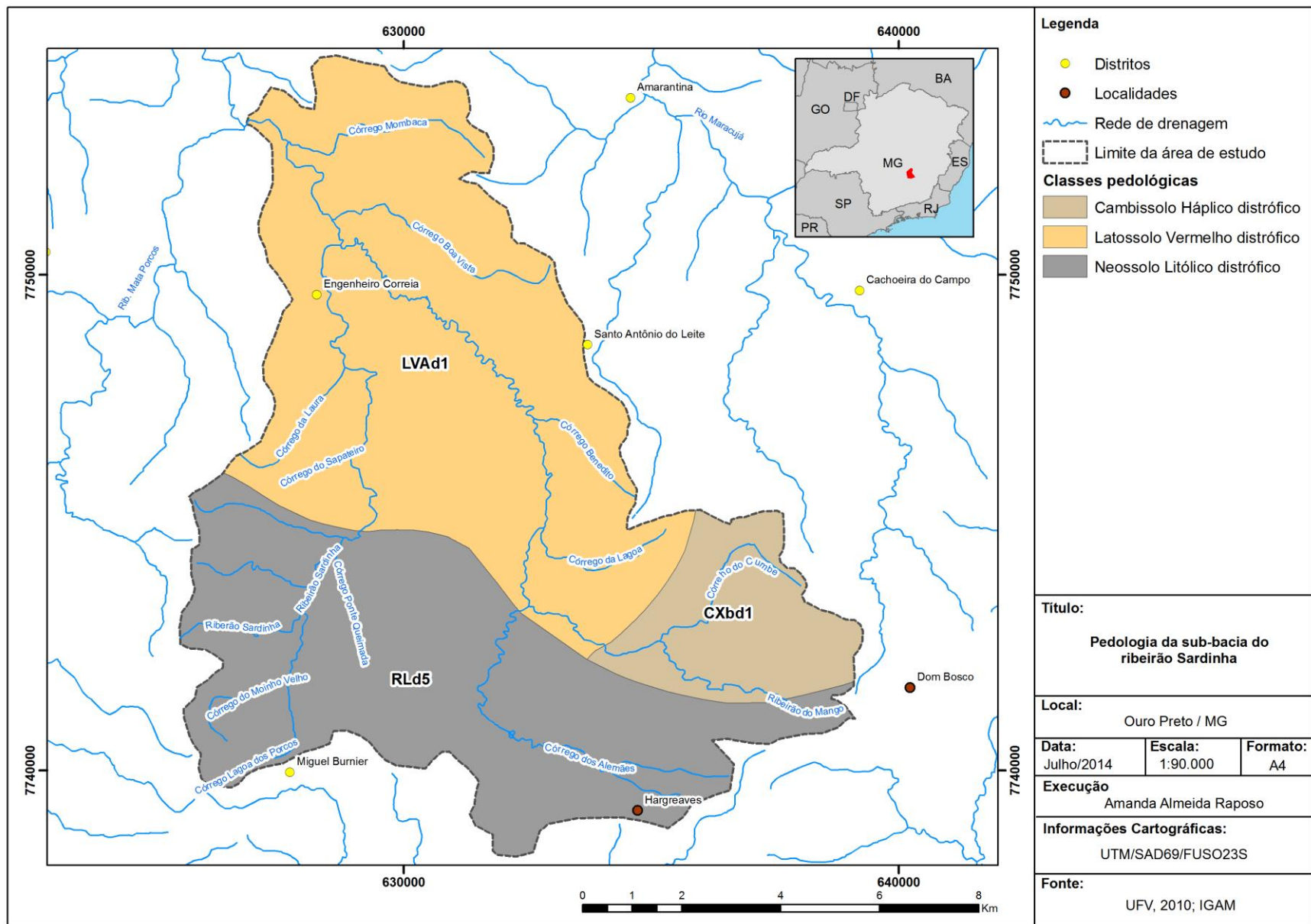


FIGURA 5– Mapa pedológico da sub-bacia do ribeirão Sardinha

6.2.2 - Características do relevo

Tendo por base os dados de declividade e elevação do terreno na área foi elaborado um mapa de unidades do relevo da área.

Desta forma, foram identificadas cinco classes de unidades, a saber:

Topos de morro aplainados – áreas elevadas com topografia suave. Apresentam elevação que podem variar de 1200 a 1420 metros com e declividade geralmente menor que 8%, apresentado suscetibilidade erosiva muito baixa.

Vales aplainados - porções mais baixas do relevo com elevação variando de 670 a 1000 em relevo plano a suave ondulado e declividade geralmente menor que 8%. Nestas áreas se encontram as planícies fluviais, áreas receptoras de sedimentos provenientes dos arredores, mais elevados, com baixas taxas de atuação de processos denudacionais de vertente, como o transporte de partículas. Desta forma, tal unidade foi classificada como de baixa suscetibilidade erosiva.

Vertentes com médio comprimento de rampa e baixo encaixamento da rede de drenagem- áreas com elevação variando de 940 a 1100 e declividade de 4 a 20%, em relevo suave ondulado. Apresentam menor comprimento de rampa se comparadas as outras duas unidades de vertentes. Observa-se baixo grau de encaixamento da rede de drenagem. Concentram na baixa porção da sub-bacia e foi classificada como média suscetibilidade a erosão.

Vertentes ravinadas com declividade e encaixamento da rede de drenagem acentuados - áreas com elevação considerável variando de 1000 a 1400 e declividade em torno de 21 a 45% em relevo ondulado a forte ondulado. Apresentam maior comprimento se comparado às outras duas unidades de vertentes e grau considerável de encaixamento da rede de drenagem. Concentra ao longo das cabeceiras de drenagem onde se verificam predomínio de canais de primeira e segunda ordem. Engloba a parte mais movimentada do relevo e, portanto, foi classificada como a unidade de paisagem mais suscetível erosão.

Vertentes ravinadas com comprimento de rampa e encaixamento da rede de drenagem moderados - áreas com elevação variando de 1000 a 1100 e declividade de 4 a 20%, em relevo ondulado a suave ondulado. Apresentam médio comprimento de rampa se comparado as outras duas unidades de vertentes e moderado grau de encaixamento da rede de drenagem. Concentram em porções da alta e média sub-bacia e foi classificada como alta suscetibilidade a erosão.

Tendo em vista as características de cada classe unidade de unidade foram estabelecidos os níveis de suscetibilidade erosão, bem como as notas definidas para o

cruzamento dos dados, conforme expresso no Quadro 15. As Figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, as cartas de declividade e hipsometria da área de estudo. A Figura 8, por sua vez, apresenta o mapeamento de unidades do relevo da área.

QUADRO 15–Principais características e escala de susceptibilidade das classes de unidades do relevo

Unidades do relevo	Classe de declividade predominante	Classe de elevação predominante	Relevo	Suscetibilidade a erosão	Nota atribuída
Topos de morro aplainados	1420 a 1200	< 8%	Plano	Muito Baixa	1
Vales aplainados	670 a 1000	< 8%	Plano a suave ondulado	Baixa	2
Vertentes com médio comprimento de rampa e baixo encaixamento da rede de drenagem	940 a 1100	4 a 20%	Suave ondulado a ondulado	Média	3
Vertentes ravinadas com declividade e encaixamento da rede de drenagem acentuados	1000 a 1400	21 a 45%	Ondulado a forte ondulado	Muito Alta	5
Vertentes ravinadas com comprimento de rampa e encaixamento da rede de drenagem moderados	1000 a 1100	4 a 20%	Suave ondulado a ondulado	Alta	4

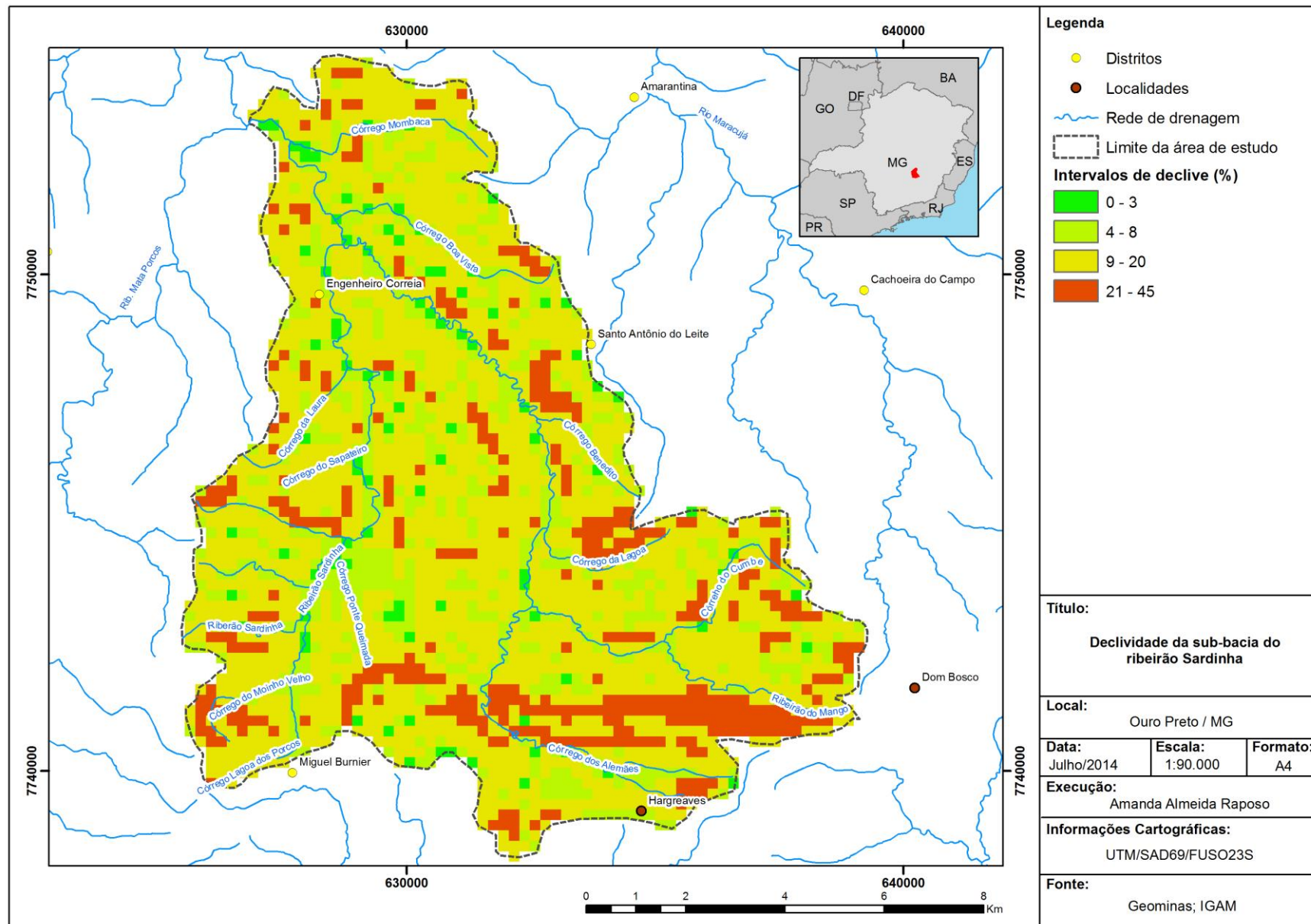


FIGURA 6 - Carta de declividade da sub-bacia do ribeirão Sardinha

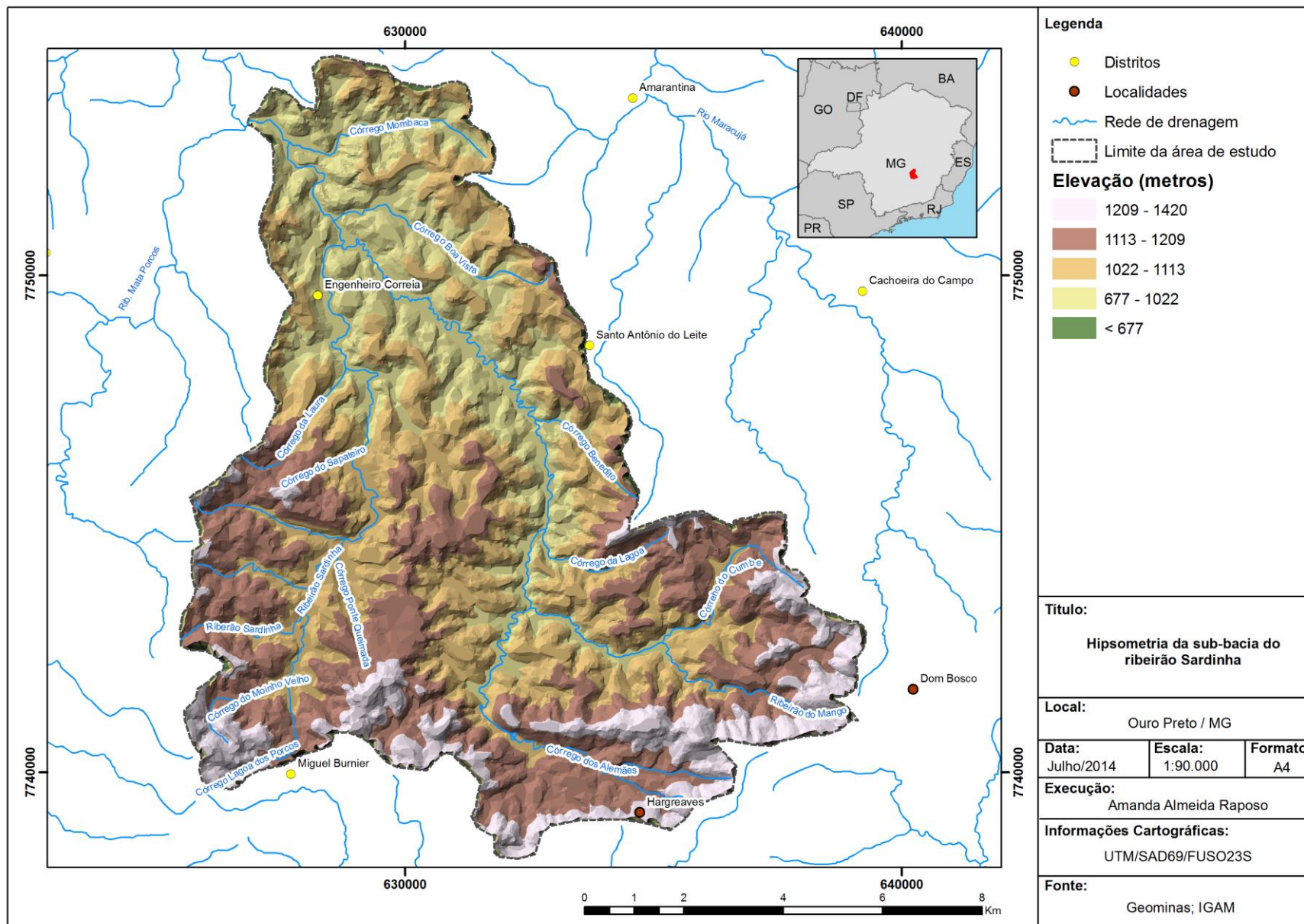


FIGURA 7– Carta hipsométrica da sub-bacia do ribeirão Sardinha.

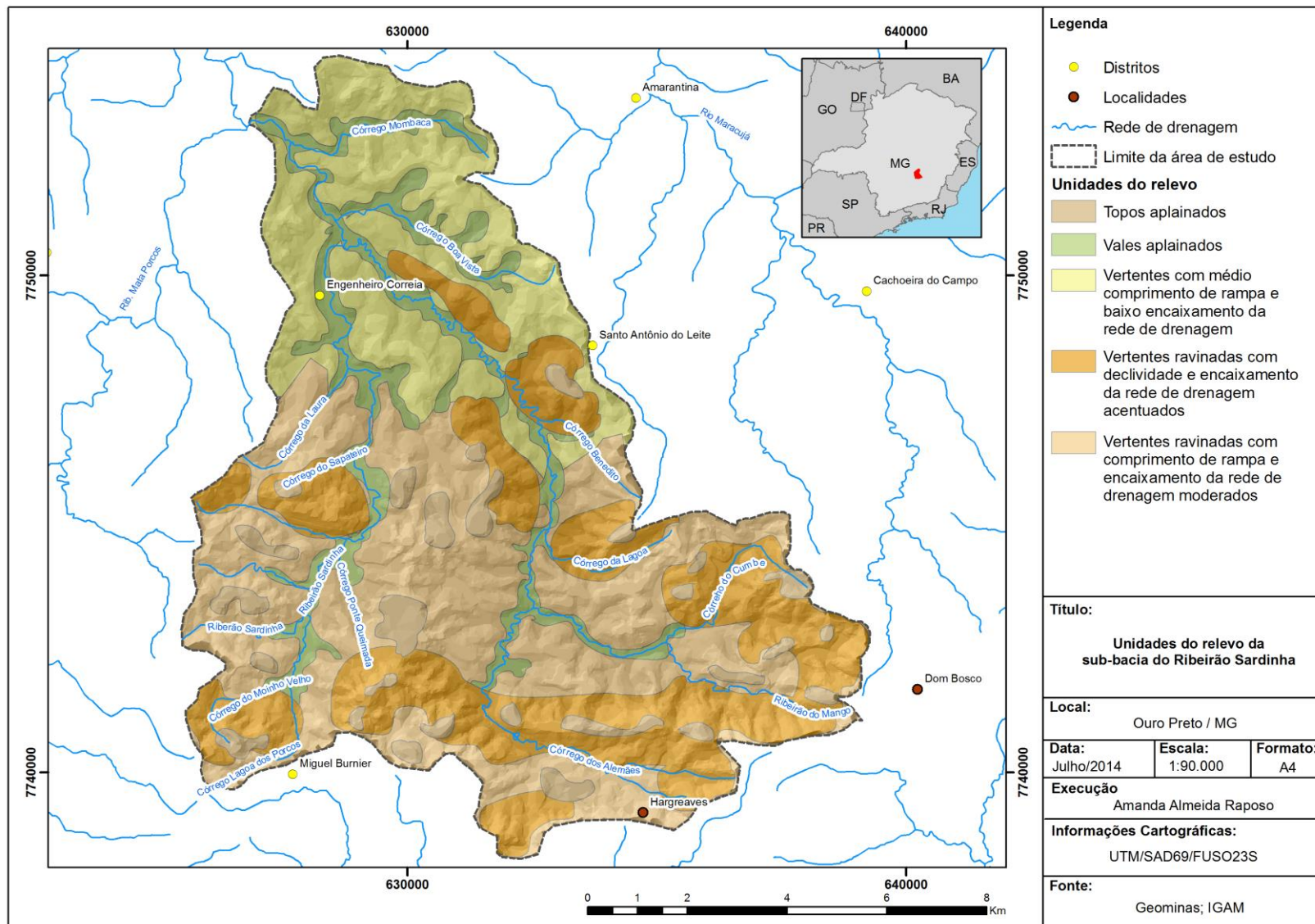


FIGURA 8– Unidades do relevo da sub-bacia do ribeirão Sardinha

6.2.3 - Aspectos litológicos

O Quadrilátero Ferrífero apresenta complexas formações geológicas, tanto litológica quanto estruturais, as quais, associadas aos fatores climáticos, controlam a formação do relevo, que é fortemente dependente da maior ou menor resistência das rochas que as compõem. Estes fatores controlam, também, o comportamento de tais rochas mediante solicitações diversas impostas pela atividade do homem ou pelo próprio ambiente natural.

Regionalmente as principais áreas de risco geológico ocorrem sobre as rochas metassedimentares do Supergrupo Minas. Sobre as rochas do Grupo Nova Lima, face aos fraturamentos e a pouca espessura do solo litólico e coluvial, podem vir a ocorrer deslizamentos em cunhas planares e quedas de blocos. Esses geralmente ocorrem nas encostas mais íngremes, onde os deslizamentos são mais comuns. Na porção onde a base é o Complexo Cristalino, leste e norte do município, em função da composição granítica-gnáissica-migmatítica, o solo é predominantemente residual, ocorrendo pontos de instabilidade nos locais onde o tálus de detritos foi parcialmente removido e o manto de intemperismo foi exposto à ação das chuvas. Nesses pontos podem surgir escorregamentos superficiais, ravinamentos e voçorocamentos (Bacellar, 2000).

As unidades geológicas definidas para este trabalho foram extraídas do mapeamento geológico do Quadrilátero Ferrífero realizado em 2005 pela UFMG. Para este estudo foram contemplados os Supergrupos, Grupos e Formações quando existentes.

Desta forma, foram definidas as seguintes classes de mapeamento:

- *Depósitos aluviais antigos e depósitos residuais e detríticos recentes*

Compõem esta unidade os depósitos de cobertura aluvionares, coluvionares, e detritos constituídos de materiais de diferentes composições granulométricas (argila, areia e cascalhos), em geral não laterizados e inconsolidados. Suas principais características são a ausência de coesão, baixa consistência e mobilidade (Silva et al, 1995).

Segundo Sobreira (2000), o comportamento geotécnico de depósitos coluvionares e detritos depende da sua espessura, do substrato (que apresenta características geotécnicas distintas) e da morfologia da vertente em que se encontram. A incidência de chuva em cortes ousados pode ocasionar escorregamentos circulares e corridos. Essa classe é quase pontual dentro da área de estudo e foi identificada nos extremos oeste e sul da mesma. Foi considerada de média suscetibilidade erosiva

Os depósitos aluvionares ocorrem nas planícies de inundação e terraços aluviais, constituídos de materiais muito variados. Este tipo de terreno possui baixa qualidade para a implantação de fundações de edificações. Os riscos associados a estes terrenos, quando ocupados, são de inundação e erosão fluvial (solapamento de margens). Assim como a unidade acima, dentro da área de estudo esta área é pontual e ocorre apenas no extremo sudeste. Foi considerada de alta suscetibilidade erosiva.

- *Complexo granito-gnáissico – Complexo Bação*

O Complexo Bação ocupa a porção central do Quadrilátero Ferrífero e norte da área de estudo.

As rochas desta unidade possuem composição predominantemente granito-gnáissica, configuram relevos suaves a suaves ondulados, podendo apresentar espesso manto de intemperismo e solos bem desenvolvidos. Subordinadamente ocorrem intrusivas básicas e ultrabásicas associadas. A principal feição estrutural é o bandamento gnáissico, representado pela alternância entre bandas quartzo-feldspáticas e micáceas

Embora não tendo grande capacidade armazenadora, os solos presentes em terrenos granito-gnáissicos têm naturalmente boa capacidade de captura de águas pluviais, nas áreas de declividade moderada, com vegetação natural e onde o solo residual seja espesso. Essa capacidade foi, no passado, comprometida com a remoção da vegetação, com a compactação nas trilhas de gado e lavouras e com a urbanização (FEAM/IBAMA, no prelo).

Segundo Silva (1990), os terrenos granito-gnáissicos são favoráveis ao crescimento urbano e seus solos são relativamente homogêneos em termos de comportamento geotécnico. Em geral, estes terrenos constituem-se de solos argilo-arenosos de cor vermelho-amarela, coesos, recobrimo um solo residual de textura silto-arenosa de cor rósea, pouco coeso. O primeiro é relativamente resistente à erosão, enquanto o segundo é muito erodível e instável em cortes. A vegetação atua como importante agente estabilizador, protegendo os solos do impacto direto da chuva e evitando a excessiva concentração da água superficial.

As modalidades de risco mais expressivas nesta unidade relacionam-se à grande erodibilidade dos solos residuais imaturos, pouco desenvolvidos pedologicamente, efetivando-se no desenvolvimento de voçorocas, no assoreamento dos baixos vales e nas inundações consequentes, podendo atingir áreas urbanizadas. O risco de escorregamento encontra-se em fase de previsível potencialização nas áreas urbanas (FEAM/IBAMA, no prelo). Desta forma, tal unidade foi classificada como de alta suscetibilidade erosiva.

- *Supergrupo Minas – Grupo Caraça – Formação Batatal, Moeda e Indiviso*

Composto predominantemente por quartzito, filito, quartzo-sericita xisto e conglomerado. Na área de estudo ocorrem pontualmente no extremo oeste.

A Formação Moeda é composta predominantemente de quartzitos e conglomerados, que se posicionam frequentemente em crista, despontam em rochedos isolados. Segundo Silva (1990), os quartzitos frescos possuem alta coesão, baixa erodibilidade, média a alta permeabilidade.

A Formação Batatal é constituída por filito cinza, ocorre em faixa estreita, sotoposto aos itabiritos da Formação Cauê, e geralmente aflora quando estes foram removidos pela erosão. O grau de alteração do filito varia intensamente. Quando muito baixo, observa-se apenas alteração na coloração da superfície da foliação, de cinza para marrom, sem alterar as características geotécnicas da rocha. Quando o grau de alteração é alto, o material resultante é muito físsil e muito plástico, se saturado, e de baixa coesão. Uma condicionante que afeta o grau de alteração destas rochas é a relação entre a atitude da foliação e a inclinação do terreno. Normalmente o filito apresenta-se muito pouco alterado, quando a rocha mergulha contra a inclinação do terreno. A erosão deste material provoca solapamento de blocos de itabirito e canga sobrejacentes, formando depósitos de tálus a meia encosta.

Considerando, portanto as duas formações, o Grupo Caraça como um todo foi classificado como de média suscetibilidade erosiva.

- *Supergrupo Minas – Grupo Itabira – Formação Gandarela e Cauê*

Esta unidade ocorre ao longo de uma faixa contínua no centro da área de estudo dividindo a alta porção da sub-bacia da baixa porção.

A Formação Cauê é representada por formações ferríferas bandadas compostas basicamente por hematita e quartzo, que se alternam em um bandamento paralelo à foliação. Podem ser silicosos, argilosos ou dolomíticos, às vezes com espessos corpos de hematita, fatores que tornam muito variável o seu comportamento geotécnico. A exposição dá-se com freqüência em formas escarpadas recobertas na crista por uma couraça limonítica (canga), que lhe confere proteção frente aos processos erosivos e maior estabilidade.

Os itabiritos são em geral rochas moles, friáveis e não coesas (Silva, 1990). Porém, quando pouco alterados e pouco fraturados, apresentam elevados parâmetros de resistência e acentuada anisotropia condicionada pela xistosidade. A presença de hematita também confere à rocha maior resistência. A permeabilidade é elevada, principalmente ao longo dos planos de acamamento.

Maior situação de instabilidade em maciços de itabirito ocorre quando se associam fatores como o alto grau de alteração (baixa coesão), o desconfinamento das estruturas planares através de escavações e detonações e o escoamento das águas pluviais ao longo da superfície de contato com a unidade subjacente (filito batatal), onde surgem de forças de percolação e redução da tensão efetiva (Carvalho, 1982).

A Formação Gandarela, por sua vez, está sempre ocupando faixa paralela à Formação Cauê. Esta unidade é composta predominantemente de dolomitos e itabiritos dolomíticos. Segundo Silva (1990), os dolomitos apresentam-se em geral como rochas frescas e duras, com alta coesão, baixa erodibilidade e baixa permeabilidade, formando relevo escarpado. Entretanto, itabiritos dolomíticos são em geral friáveis e erodíveis, com o mesmo comportamento dos itabiritos dolomíticos da Formação Cauê.

Considerando tais aspectos o grupo Itabira com um todo foi considerado como de baixa suscetibilidade erosiva.

- *Supergrupo Minas – Grupo Piracicaba – Formação Cercadinho e Indiviso*

O grupo Piracicaba ocorre ao longo de faixas contínuas sobre quase toda área da alta bacia do ribeirão Sardinha.

A Formação Cercadinho constitui a formação basal do Grupo Piracicaba, e é constituída de intercalações de quartzito ferruginoso e filito hematítico cinzento a prateado, de aspecto untuoso ao tato. Os quartzitos apresentam-se em geral bastante fraturados e, quando muito alterados, se desagregam facilmente. As discontinuidades das rochas (xistosidade e planos de fraturas) e o grau de alteração são importantes fatores condicionantes da estabilidade destes materiais. Quando o caimento da encosta é concordante à xistosidade, há a tendência de escorregamentos planares superficiais. No caso de atitudes mergulhando contra o pendur das encostas, tem-se em geral situação de maior estabilidade, porém podem ocorrer quedas de blocos, devido ao estado de alteração e ao sistema de fraturamento. Os filitos, quando cortados e revolvidos, produzem um material siltoso pouco coeso, facilmente erodível pelo vento e pela água. Os taludes de corte são pouco estáveis, desmoronando facilmente quando saturados (Sobreira, 1990). Nesta unidade, cabe destacar ainda os quartzitos ferruginosos, os quais produzem manto de intemperismo sensivelmente maior ao se comparar com as outras rochas do Supergrupo Minas. Este manto é composto por areias finas, friáveis e muito erodíveis, por serem desprovidas de agentes ligantes o que explica a concentração voçorocas pouco a parcialmente vegetadas ao longo de tais afloramentos quartzíticos (Bacellar, 2000). Na área de estudo, observa-se que a faixa de quartzitos ferruginosos na alta bacia do ribeirão Sardinha coincide com grande parte de seus focos de voçorocamento (Vide Figura 9).

Os corpos de filito e quartzito podem associar-se em intercalações decimétricas ou até mais delgadas ou em sequências de corpos de espessura significativamente maior. Normalmente, em superfície, os filitos apresentam-se profundamente intemperizados e muito físseis, e os quartzitos intensamente fraturados e pouco coesos. Por sua vez a porção do Grupo Piracicaba indiviso apresenta predomínio de filito com pouco quartzito e grauvaca,

Desta forma, o Grupo Piracicaba como um todo foi considerado da alta suscetibilidade erosiva.

- *Supergrupo Rio das Velhas – Grupo Nova Lima*

Esta unidade é representada predominantemente por mica-xistos e quartzomica-xistos, em geral muito alterados, ocorrendo subordinadamente rochas máficas e ultramáficas, quartzitos, metagrauvas, conglomerados e formações ferríferas.

Na área de estudo ocorre ao longo de uma faixa contínua na porção central da bacia como Unidade Catarina Mendes com predomínio de carbonato-quartzo-feldspato-biotita-clorita xisto, sericita-biotita-clorita-quartzoxisto, quartzo-clorita xisto, rocha calcissilicática, metaconglomerado e formação ferrífera.

Também ocorre na porção centro sul da bacia como grupo indiviso com predomínio de xisto verde metassedimentar/metavulcânico, filito, quartzito e grauvaca.

O relevo apresenta-se em geral fortemente ondulado a montanhoso, dissecado, com declividades mais concentradas nas classes acima de 30%, apresentando acentuados desníveis locais.

Em termos de comportamento geotécnico, é importante a influência de fatores como a foliação, a baixa permeabilidade, a baixa coesão e a alta erodibilidade. A influência da foliação é bem observada em taludes de corte viários, onde os ângulos de estabilidade frequentemente se ajustam a ela (FEAM/IBAMA, no prelo). A permeabilidade, em geral baixa, determina acentuado escoamento superficial, mesmo em áreas pouco impactadas. Em certos locais observa-se acentuada erodibilidade do terreno ao longo da foliação e bem mais discreta transversalmente a ela. Com relação aos taludes viários e escavações em geral, observa-se o risco relacionado a escorregamentos planares ou em cunha, controlados pelas feições estruturais (foliação e fraturas).

Frequentemente observa-se a presença de feições erosivas, onde houve remoção da vegetação ou corte para a abertura de estradas. Estes terrenos, entretanto, não são completamente desfavoráveis à urbanização. Tornam-se apropriados quando se considera a topografia e são tomadas determinadas medidas durante a execução dos projetos, como a realização do mínimo desmatamento possível e a implantação de sistemas

de drenagem. Localmente, o xisto Nova Lima, apesar de intemperizado, pode se apresentar com boas características de coesão e resistência à erosão.

Considerando tais aspectos tal unidade foi classificada como de média suscetibilidade erosiva.

A partir das características descritas, para cada unidade geológica foram estabelecidos os níveis de suscetibilidade á erosão, bem como as notas associadas a cada classe, conforme pode ser visualizado no quadro abaixo. A Figura 9 apresenta o mapa geológico da área de estudo.

QUADRO 16 - Classificação das unidades geológicas, litologias, principais processos geomecânicos associados e escala de susceptibilidade da litologia

Unidades Geológicas	Litologias predominantes	Principais processos geomecânicos	Suscetibilidade de a erosão	Nota atribuída
Depósitos aluviais antigos	Mudstone: argila lateritizada, transportada, não plástica e não estratificada	Solapamentos, escorregamentos, inundações, assoreamento	Alta	4
Depósitos residuais e detriticos recentes	Laterita, bauxita e detrito ferruginoso não cimentado	Solapamentos, escorregamentos.	Média	3
Complexo Bação	Rochas granítica e granodiorítica, migmatito, gnaiss, granito gnáissico.	Escorregamentos, erosão laminar e linear (sulcos, ravinhas e voçorocas). Os solos de cor rósea e textura silto-arenosa são muito pouco resistentes à erosão	Alta	4
Supergrupo Minas – Grupo Caraça – Formação Batatal, Moeda e Indiviso	Quartzito, filito, quartzo-sericita xisto e conglomerado	Escorregamento e queda de blocos controlado pelas condições locais de confinamento das estruturas geológicas e pelo grau de alteração	Média	3
Supergrupo Minas – Grupo Itabira – Formação Gandarela e Cauê	Xisto, filito, dolomito, calcário magnesiano, itabirito dolomítico, itabirito e quartzito.	Erosão, escorregamento e queda de blocos, controlados pela friabilidade da rocha e condições de confinamento das estruturas geológicas. A presença de hematita dura no itabirito confere maior resistência à rocha	Baixa	2
Supergrupo Minas – Grupo Piracicaba – Formação Cercadinho e indiviso	Filito prateado, quartzito ferruginoso, sericita xisto	Escorregamento e queda de blocos, tendo como principal causa o intenso faturamento. Erosão linear tendo como causa principal a descontinuidades das rochas (xistosidade e planos de fraturas) e o grau de alteração.	Alta	4
Supergrupo Rio das Velhas – Grupo Nova Lima	Granada-estaurolita xisto; filito e rocha metavulcânica, com pequenas intercalações de quartzito dolomito e formação ferrífera.	Escorregamentos e erosão (sulcos e ravinhas) principalmente em função da foliação	Média	3

Geologia da sub-bacia do ribeirão Sardinha

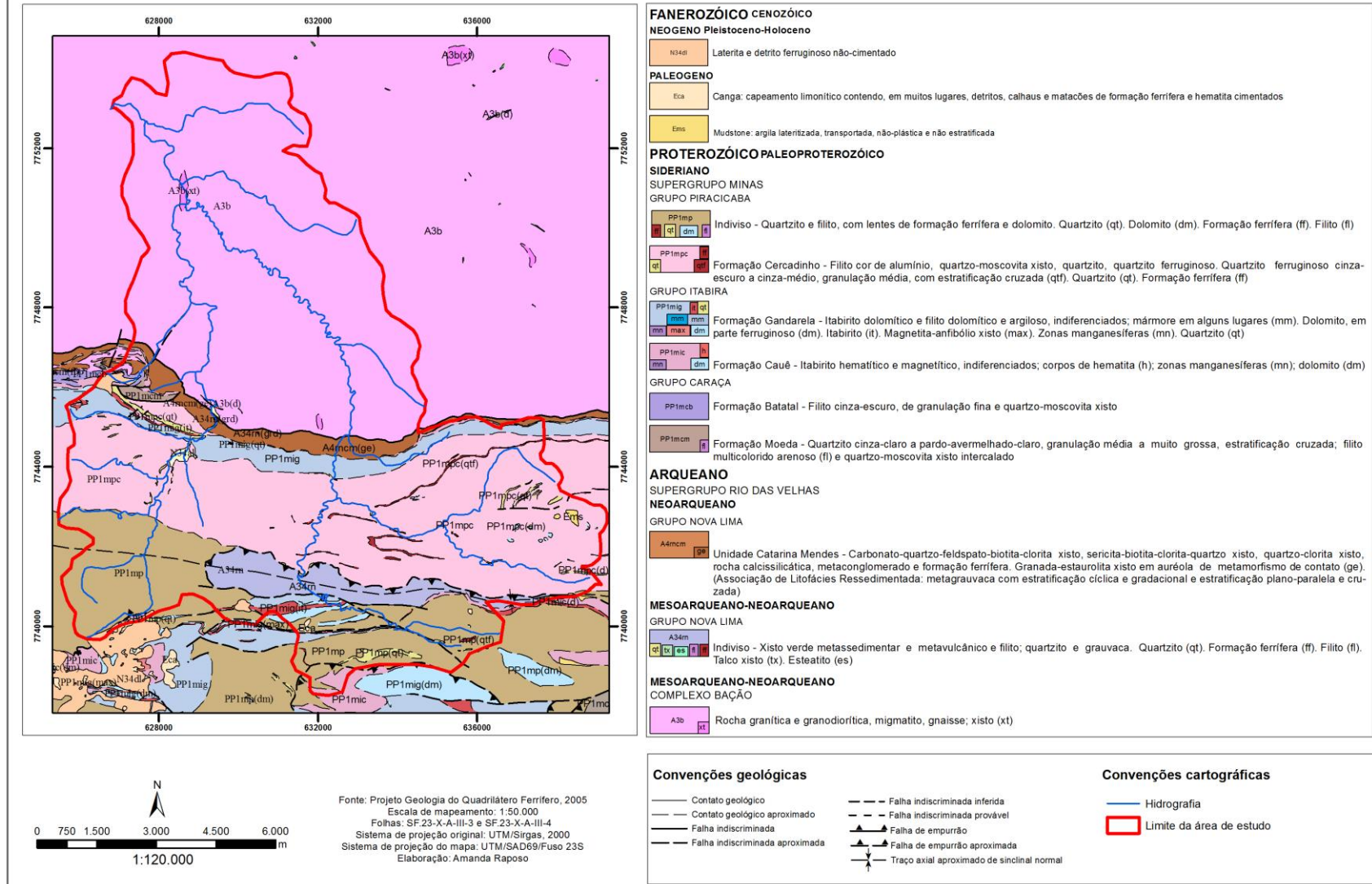


FIGURA 9 – Mapa geológico da sub-bacia do ribeirão Sardinha

6.2.4 - Uso e ocupação do solo

Para a área de estudo foram identificadas nove classes de mapeamento, conforme expressos no Quadro 17.

Com relação às coberturas naturais foram identificadas áreas com Floresta Estacional Semi-Decidual (FESD) e Campo Cerrado.

As áreas com FESD predominam ao longo dos cursos d'água como mata ciliar. Além disso, também se observa em algumas áreas de topos de morro e dentro de propriedades rurais, podendo representar áreas de reserva legal das mesmas. A FESD abrange 34% da área de estudo e está concentrada no domínio geológico do Complexo Bação onde predominam solos mais espessos.

A classe de Campo Cerrado ocupa 44% da área de estudo se concentra ao longo das cabeceiras do ribeirão do Mango. Tais formações vegetais típicas na região e situam sobre solos mais rasos e ácidos.

Conforme descrito em capítulos anteriores a presença de cobertura vegetal no terreno favorece diminuição do escoamento superficial bem como contribui para a incorporação de matéria orgânica ao solo, fatores que dificultam o desenvolvimentos de processos erosivos em uma bacia de drenagem (Bertoni e Lombardi Neto, 1999). Desta forma, as áreas de FESD foram classificadas como muito baixa em termos de suscetibilidade erosiva. O Campo Cerrado, por sua vez, foi classificado com médio potencial de ocorrência de processos erosivos, pois estão mais sujeitos a ocupação e interferência antrópica que as áreas de mata.

Com relação às ocupações antrópicas foram identificadas as seguintes classes: sistema viário, campo antrópico, mineração e área urbana.

A área de estudo conta com aproximadamente 1,78% de estradas e arruamentos . Grande parte desses acessos são de terra e podem representar áreas com potencial para carreamento de sedimentos para os cursos d'água. Silva et al. (2004) afirma que as estradas de terra constituem-se como a maior fonte de sedimentos carreados aos canais fluviais, em grande parte devido à erosão linear. Desta forma, tal classe foi considerada de alta suscetibilidade erosiva.

As rodovias e ferrovias ocupam menos que 1,5% da área. De modo geral, as pressões correspondentes a essas vias de acesso se referem à abertura de taludes principalmente em função das discontinuidades das rochas (xistosidade e planos de fraturas) e o grau de alteração das mesmas. Porém, não foi considerado tal aspecto nesta

classe e sim nas classes geológicas. Desta forma, tais classes foram classificadas como de baixa suscetibilidade erosiva.

O Campo Antrópico corresponde a áreas formadas por gramíneas exóticas semeadas ou não e que possuem como seu principal objetivo os usos agropastoris. Ocupam em torno de 15% da área de estudo e são bastante semelhantes aos Campos Cerrados por possuírem cobertura herbácea-arbustiva, porém se diferenciam com relação a compactação do solo por pisoteio do gado. Tal fato propicia diminuição da porosidade dos solos bem como das taxas de infiltração, o que acarreta no aumento no escoamento superficial da água e na atuação dos processos erosivos. Partindo de tais pressupostos, a classe Campo Antrópico foi considerada com alto potencial de suscetibilidade erosiva.

As áreas de mineração e mancha urbana são pouco expressivas dentro da área de estudo, com percentuais de ocupação de 1%, e 0,16%, respectivamente e foram classificados como médio potencial para ocorrência de erosões.

Por fim, foram identificados focos de erosão acelerada dentro da sub-bacia. As feições ocupam 1,64% da área de estudo e se concentram nas cabeceiras da sub-bacia, com destaque para a área de drenagem do ribeirão do Mango. Essas voçorocas se desenvolvem sob o substrato rochoso do Supergrupo Minas, mais especificamente do Grupo Piracicaba. As rochas desse Supergrupo normalmente apresentam mantos de intemperismo pouco espessos, principalmente nas unidades compostas por itabiritos e quartzitos, que, por serem altamente resistentes à alteração, desenvolvem solos rasos (litólicos) ou até mesmo não há formação destes. Outros tipos litológicos como filitos, xistos e dolomitos, predominantes no Grupo Piracicaba, apresentam capeamento delgado de solo, mas quase que invariavelmente de textura argilosa, sendo coeso e, portanto, resistente à erosão. A única exceção neste Supergrupo são os quartzitos ferruginosos, os quais produzem manto de intemperismo sensivelmente maior ao se comparar com as outras rochas do Supergrupo Minas. Observa-se, portanto que a faixa de quartzitos ferruginosos na alta bacia do ribeirão Sardinha coincide com grande parte de seus focos de voçorocamento.



FIGURA 10- Focos de erosão acelerada nas cabeceiras do ribeirão do Mango

A ocorrência de focos de erosão acelerada na sub-bacia de estudo não segue o padrão das outras áreas de drenagem do Alto Rio das Velhas. Isso porque grande parte dos voçorocamentos do Quadrilátero Ferrífero ocorre nas rochas friáveis do embasamento cristalino, de forma geral quando o saprólito é exposto aos processos tanto de erosão superficial como subsuperficial, especialmente no processo de piping. Bacellar, Netto & Lacerda (2001) descrevem que os horizontes superficiais, sobretudo o B, são mais resistentes à erosão que o horizonte C (saprólito) que por se constituir de elevada quantidade de silte, possui pouca estrutura e, portanto, é bastante erodível.

Cabe destacar que grande parte dos focos erosivos não se encontram próximos aos núcleos urbanos e se concentram nas zonas de Campo Cerrado. Entretanto, merece destaque a presença de focos de erosão acelerada, já no domínio do Complexo Bação, próximo a moradias de Santo Antônio do Leite, no extremo leste da área de estudo, ao longo da linha de interflúvio entre as bacias do ribeirão Sardinha e do rio Maracujá.

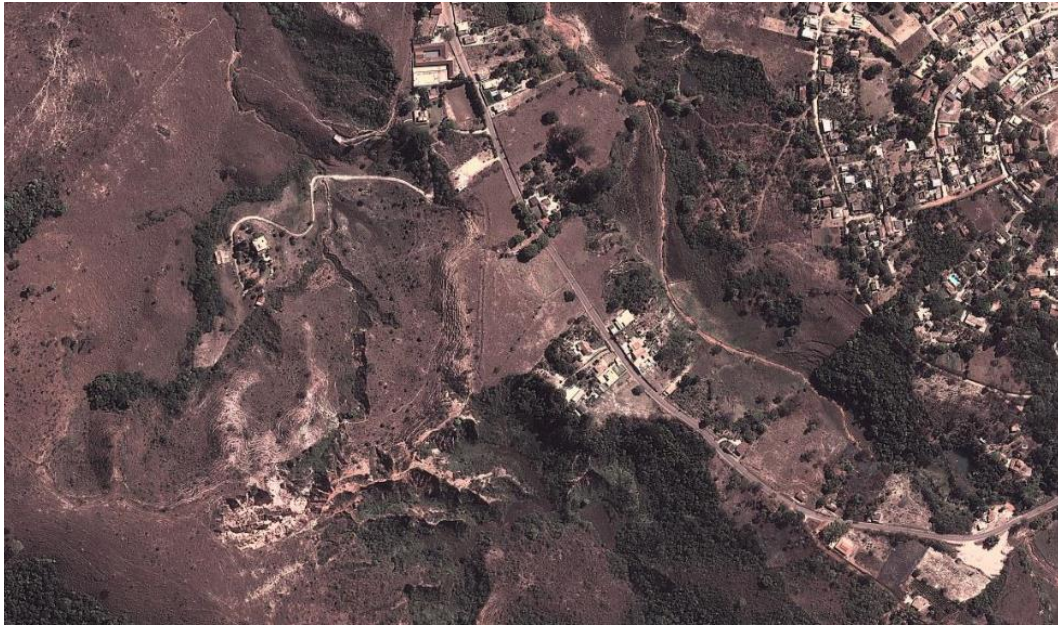











FIGURA 11 - Focos de erosão acelerada no divisor de drenagem das bacias do Sardinha e do rio Maracujá (Coordenadas UTM fuso 23 K: 633.520 mE / 7.747.735 mN).
Fonte: Imagem Google Earth, Junho de 2014

Tais áreas foram classificadas com muito alto potencial de erosões, visto que os solos se encontram desprotegidos e sujeitos ao arraste pela água.

Com relação a classe hidrografia, a mesma foi definida como muito baixa uma vez a susceptibilidade associada apresenta-se pontual, tornando-se pouco adequada para a escala de análise.

O Quadro 17 apresenta as classes de usos identificadas bem como as respectivas classes de susceptibilidade à erosão. A Figura 12 apresenta o percentual de ocupação de cada classe dentro da área de estudo e a Figura 13 apresenta a representação do uso e ocupação dos solos na área.

QUADRO 17 - Classes de uso e cobertura do solo mapeadas, descrição e suscetibilidade erosiva

	Classes	Descrição	Exemplos	Vulnerabilidade a erosão	Nota atribuída
Sistema viário	Rodovias	Vias de acesso pavimentadas.		Baixa	2
	Estradas/arruamentos	Vias de acesso sem pavimentação. Susceptível a erosão linear		Baixa	4
	Ferrovias	Estradas de ferro utilizadas principalmente para o escoamento dos materiais minerados na região.		Alta	2
	Campo antrópico	Formados por gramíneas exóticas semeadas ou não e que possuem como seu principal objetivo usos agropastoris.		Alta	4
	Campo cerrado	Áreas com fisionomias campestres naturais compostas principalmente por gramíneas de diferentes espécies e um esparso estrato arbustivo-arbóreo.		Média	3
	Floresta Estacional Semidecidual (FESD)	Denso componente arbóreo de copas amplas que formam um dossel contínuo		Muito Baixa	1
	Mineração	Áreas constituídas pela infraestrutura para mineração e pelas cavas de extração de minério, pilhas de rochas estéreis ativas.		Média	3
	Urbana	Áreas de ocupação predominantemente urbana (cidades, vilas e povoados)		Média	3
	Focos de Erosão Acelerada	Sulcos, ravinas e voçorocas (estáveis, em transição e ativas).		Muito Alta	5

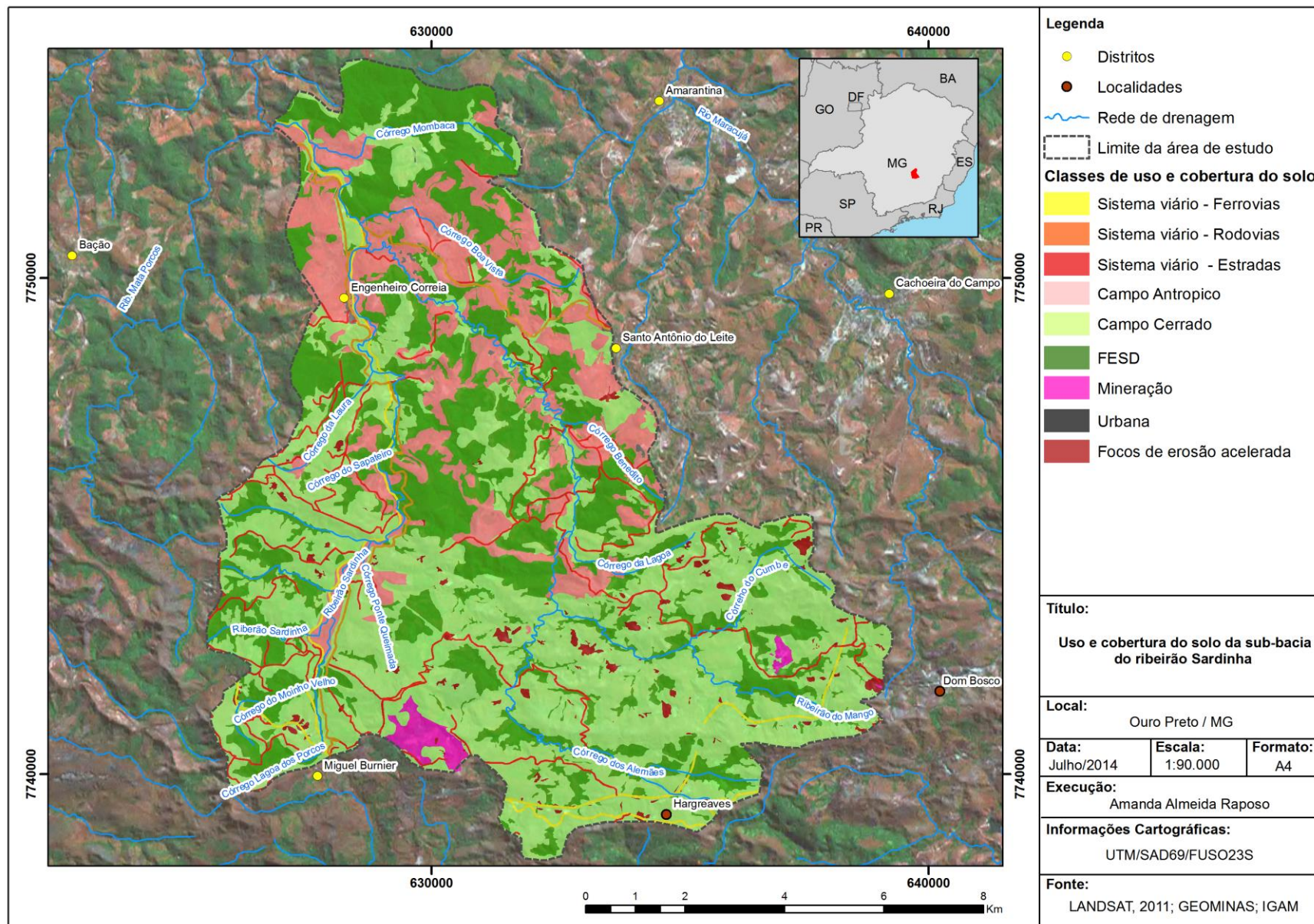


FIGURA 12 – Uso e ocupação do solo na sub-bacia do ribeirão Sardinha

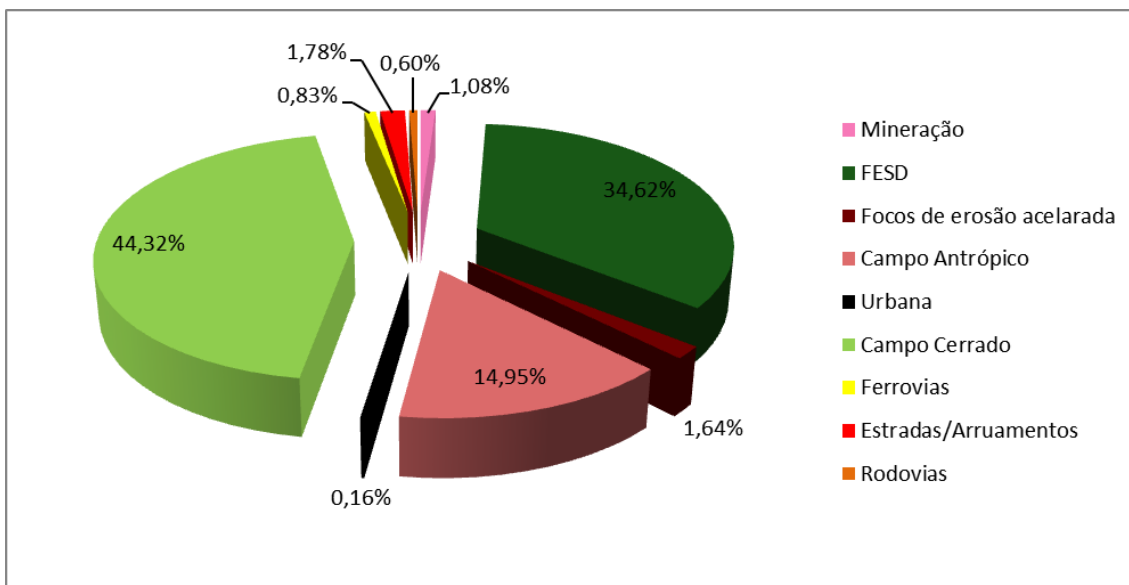


FIGURA 13 - Gráfico de distribuição percentual das classes de usos e ocupação dos solos na sub-bacia do ribeirão Sardinha

6.2.5 - Definição dos pesos por variável

Partindo das descrições de cada variável, conforme supracitado, foram definidos os pesos por meio da matriz de comparação pareada de acordo com o método AHP. Os Quadros 9 e 10 apresentam a matriz e os pesos definidos para o mapa de suscetibilidade natural a erosão e o mapa de vulnerabilidade à erosão, respectivamente.

Com relação a Matriz 1 observa-se que os maiores pesos foram atribuídos às variáveis pedologia e geologia. Isso porque na região do Quadrilátero Ferrífero a formação do relevo e as características morfológicas das bacias de drenagem estão bastante associadas aos aspectos litológicos e estruturais das formações geológicas. Ainda, os tipos de solos, por meio de suas características de erodibilidade, correspondem a principal variável na análise da suscetibilidade erosiva natural.

Para a Matriz 2, por sua vez, observa-se que o maior peso foi atribuído ao uso do solo, tendo em vista que esse é o principal fator de análise com relação a vulnerabilidade. Os outros parâmetros seguem a mesma lógica, conforme descrito acima, e desta forma, as variáveis pedologia e geologia seguem, após o uso do solo, com os maiores valores de peso.

QUADRO 18 - Matriz 1 - comparação pareada e pesos os pesos definidos para o mapa de suscetibilidade natural a erosão

Variáveis	Geologia	Relevo	Morfometria	Pedologia	Peso
Geologia	1	1	3	1	0,30
Relevo	1	1	3	0,3	0,22
Morfometria	0,3	0,3	1	0,3	0,10
Pedologia	1	3	3	1	0,38

QUADRO 19 - Matriz 2 - comparação pareada e pesos os pesos definidos para o mapa de vulnerabilidade a erosão

Variáveis	Geologia	Relevo	Morfometria	Pedologia	Uso do solo	Peso
Geologia	1	1	3	1	0,3	0,16
Relevo	1	1	3	0,3	0,3	0,14
Morfometria	0,3	0,3	1	0,3	0,3	0,08
Pedologia	1	3	3	1	0,3	0,21
Uso do solo	3	3	3	3	1	0,41

Com relação à Razão de Consistência (RC) verificasse que os pesos apresentados para as matrizes em questão foram aceitáveis visto que o valor de RC para a Matriz 1 foi de 0,028 e para a Matriz 2 foi de 0,036.

6.2. 6 - Mapa de suscetibilidade natural à erosão

A Figura 14 apresenta o zoneamento da suscetibilidade natural à erosão tendo por base os dados de pedologia, geologia, unidades do relevo e zoneamento morfométrico.

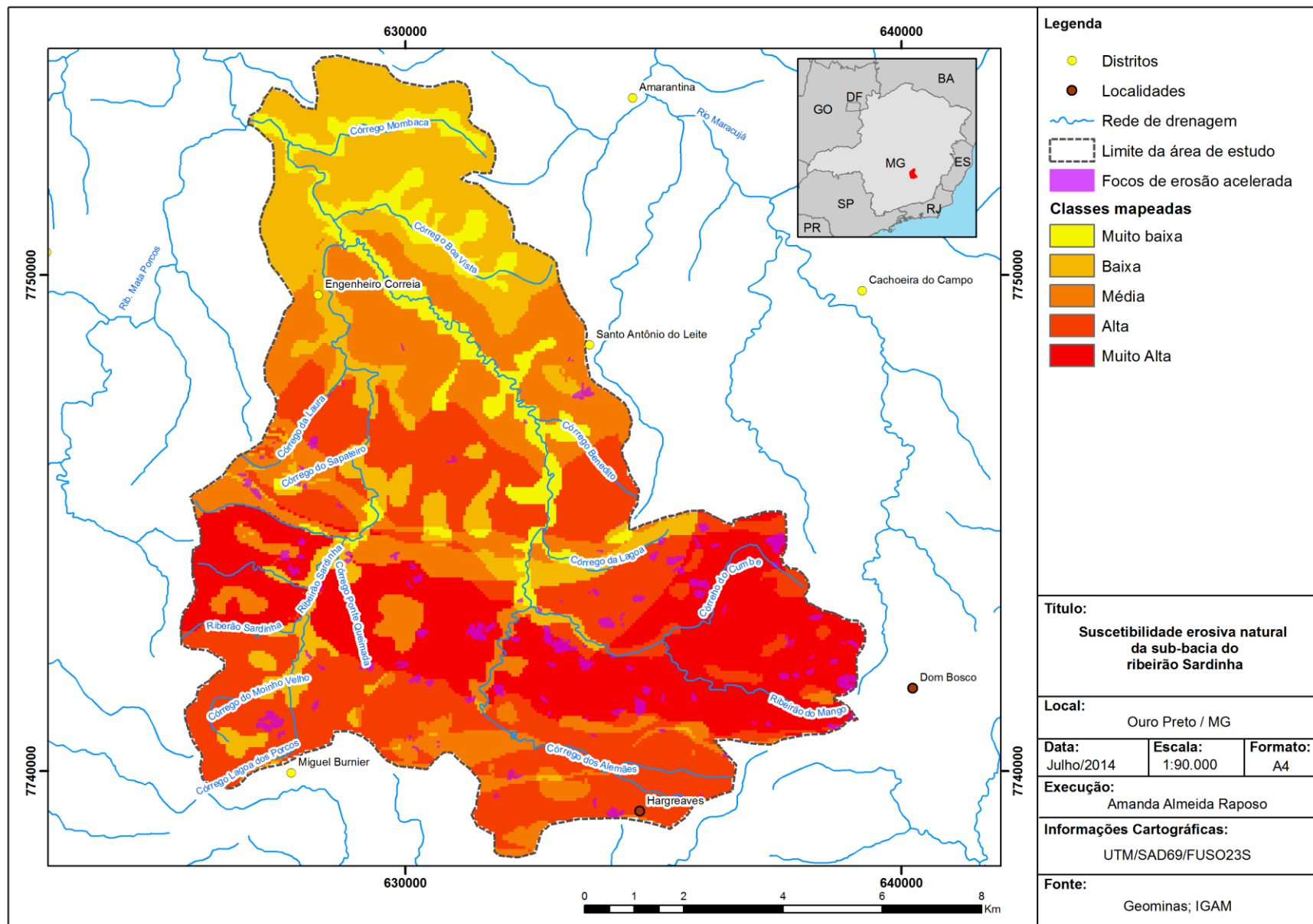


FIGURA 14 - Mapa de suscetibilidade natural à erosão da sub-bacia do ribeirão Sardinha

Por meio do mapeamento e conforme a Figura 15 observa-se o predomínio das classes alta e média em termos de suscetibilidade a erosão natural.

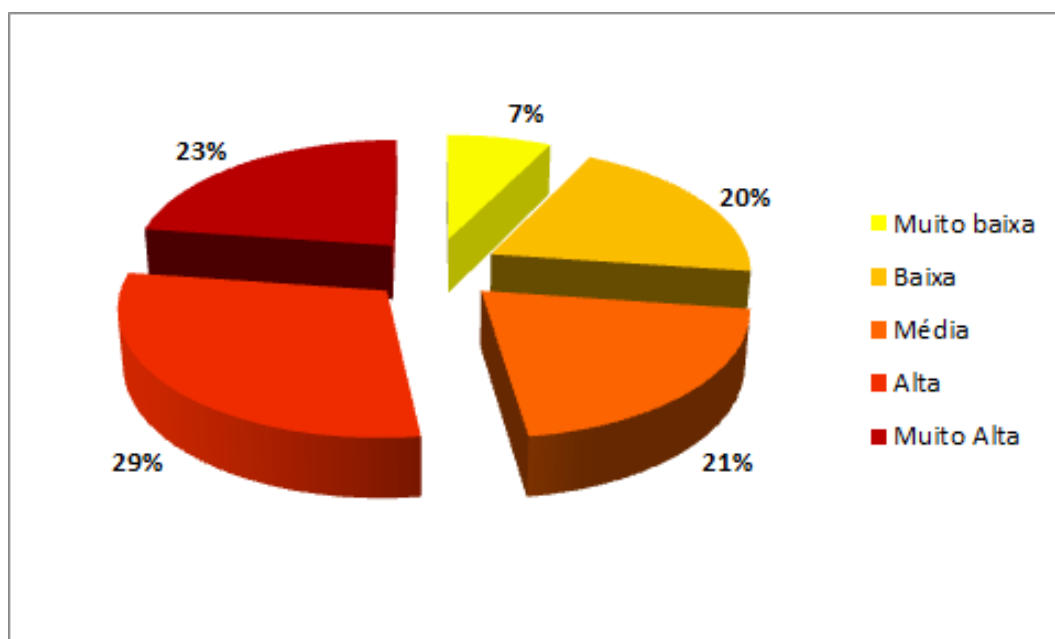


FIGURA 15 – Gráfico de distribuição percentual das classes de suscetibilidade natural à erosão na sub-bacia do ribeirão Sardinha

As áreas com muito alta suscetibilidade erosiva compreende uma faixa ao longo da alta/média porção da sub-bacia do ribeirão Sardinha. Tal área está assentada sobre as rochas da Formação Cercadinho com predomínio de filito prateado, quartzito ferruginoso e sericita xisto com alta suscetibilidade erosiva em função das discontinuidades das rochas (xistosidade e planos de fraturas) e o grau de alteração. Em função dessas características apresentam solos rasos, do tipo Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos. Estas áreas também se encontram normalmente sobre zonas de vertentes ravinadas em relevo forte ondulado apresentando valores significativos de densidade hidrográfica, densidade de drenagem e gradiente do canal principal se comparada com as outras áreas dentro da sub-bacia. Tal resultado condiz com a realidade local haja vista que nestas áreas se observam as maiores ocorrências de focos de erosão acelerada.

A classe de alta suscetibilidade reflete a influência do relevo em vertente ravinadas associada a solos rasos do tipo Neossolos Litólico nas cabeceiras do córrego dos Alemães e córrego Lagoa dos Porcos, onde predominam as rochas do Grupo Piracicaba – indiviso com filito com pouco quartzito e gravaca e rochas e do Grupo Nova Lima com xisto, filito e rocha metavulcânica. Ainda ocorre na média porção do canal principal do ribeirão Sardinha onde, embora se verifique o predomínio de solos mais espessos, observa-se relevo ondulado a suave ondulado com encaixamento da rede de drenagem e baixos

valores de Índice de Sinuosidade e moderados para densidade hidrográfica e densidade de drenagem. Na zona de alta suscetibilidade também se observam focos de erosão acelerada, confirmando o mapeamento realizado.

As áreas de média suscetibilidade foram observadas principalmente nos topos de morro aplainados e onde ocorrem os Latossolos Vermelho associados às rochas graníticas e granodiorítica, migmatito, gnaisse, granito gnáissico do Complexo Bação. Concentram-se principalmente na baixa bacia do ribeirão do Mango onde predominam valores significativos de Índice de Sinuosidade e baixos valores de Gradiente do Canal Principal e Índice de Circularidade.

Por sua vez as áreas onde a suscetibilidade à erosão é baixa ou muito baixa, englobam os vales aplainados ou planícies de inundação, e as áreas de vertentes com médio comprimento de rampa e baixo encaixamento da rede de drenagem, estas concentradas na baixa porção da sub-bacia do ribeirão Sardinha. Nestas áreas predominam Latossolos Vermelhos associadas às rochas do Complexo Bação e Neossolos Flúvicos, porém não mapeados em função da escala.

O Quadro 20 sintetiza as principais características de cada classe da suscetibilidade natural a erosão.

QUADRO 20 – Síntese das principais características das classe da suscetibilidade natural a erosão

Classe de suscetibilidade à erosão:	Tipo de solo predominante	Litologia predominante	Unidade do relevo	Morfometria predominante
Muito Baixa e Baixa	Latossolo Vermelho e Neossolos Flúvicos	Rochas granítica e granodiorítica, migmatito, gnaisse, granito gnáissico.	Vales e vertentes com médio comprimento de rampa e baixo encaixamento da rede de drenagem	Valores significativos de Is no vale do ribeirão do Mango e baixo valor de Gcp na baixa porção da bacia
Média	Latossolo Vermelho	Rochas granítica e granodiorítica, migmatito, gnaisse, granito gnáissico.	Topos de morro aplainados e vertentes com médio comprimento de rampa e baixo encaixamento da rede de drenagem	Valores significativos de Is, baixo valor de Gcp e Ic
Alta	Neossolos Litólicos e Latossolo Vermelho	fililito com pouco quartzito e grauvaca xisto, filito e rocha metavulcânica.	Vertentes ravinadas com declividade e encaixamento da rede de drenagem acentuados	Valores baixos de Is para o canal principal do ribeirão sardinha, e moderados a significativo para Dh e Dh
Muito Alta	Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos	filito prateado, quartzito ferruginoso e sericita xisto	Vertentes ravinadas com declividade e encaixamento da rede de drenagem acentuados	Valores significativos de Dh, Dd e Gcp para a sub-bacia do ribeirão do Mango e valores baixos de Is para o canal principal do ribeirão sardinha

6.2.7 - Mapa de vulnerabilidade a erosão

A fim de avaliar a influência do uso e cobertura dos solos na erodibilidade dos mesmos foi elaborado o mapa de vulnerabilidade à erosão conforme expresso na Figura 16.

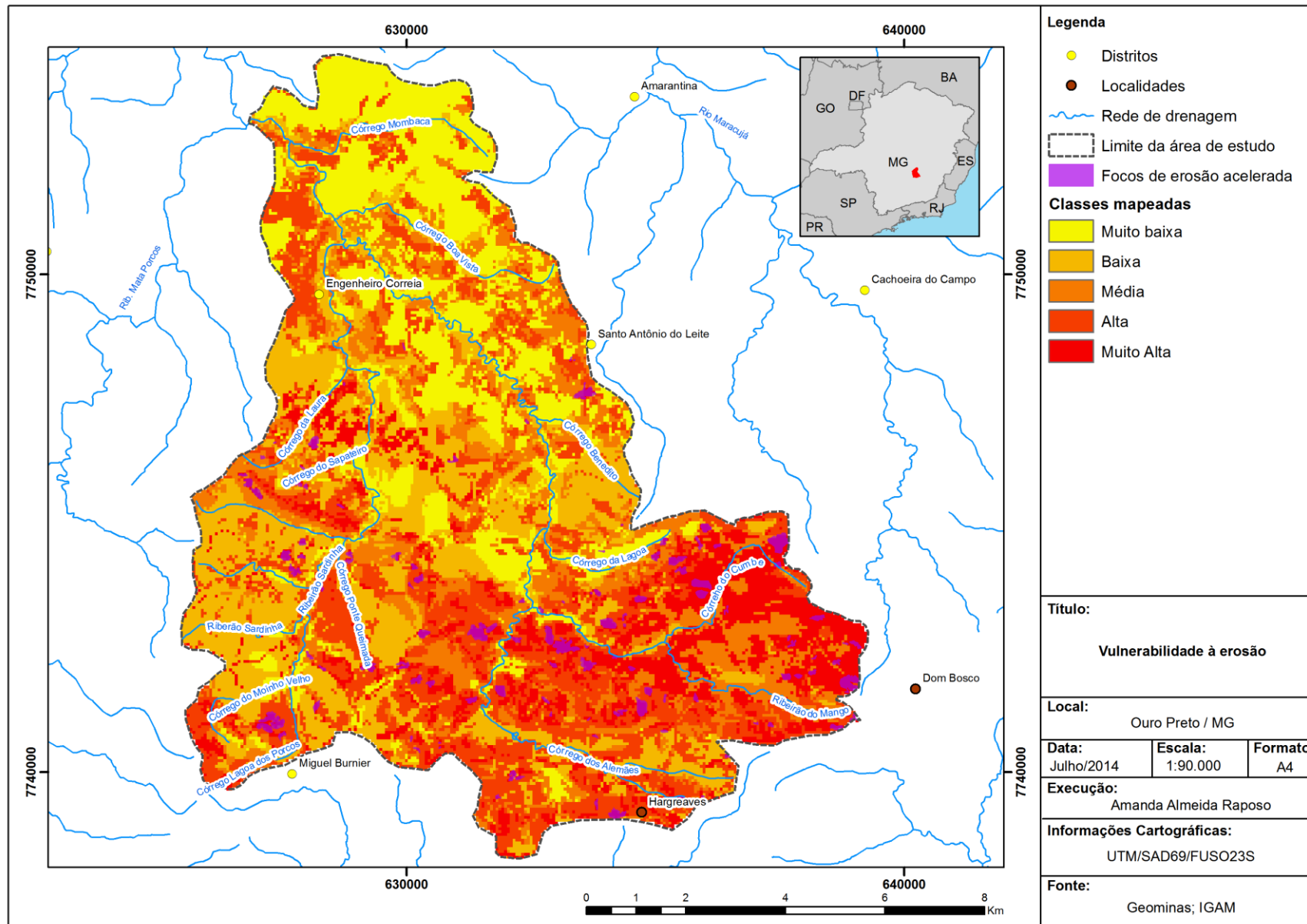


FIGURA 16- Mapa de vulnerabilidade à erosão da sub-bacia do ribeirão Sardinha

A Figura 17 apresenta o percentual de cada classe de suscetibilidade natural à erosão aliadas à ocupação dos solos. Observa-se o predomínio da classe baixa seguida da classe alta e média. Desta forma, verifica-se o aumento de áreas com classe baixa e muito baixa e a diminuição de áreas com classes média, alta e muito alta (Figura 18). Tal fato é devido, em grande parte, à quantidade significativa de cobertura do solo na área tanto por Floresta quanto por Campo Cerrado. Embora a cobertura de Campo Cerrado não seja densa como a de Floresta, são eficientes tanto para minimização do impacto direto das gotas de chuva no solo quanto pelo escoamento superficial pluvial e, desta forma, protegem mais os solos do que as outras formas de ocupação identificadas na área

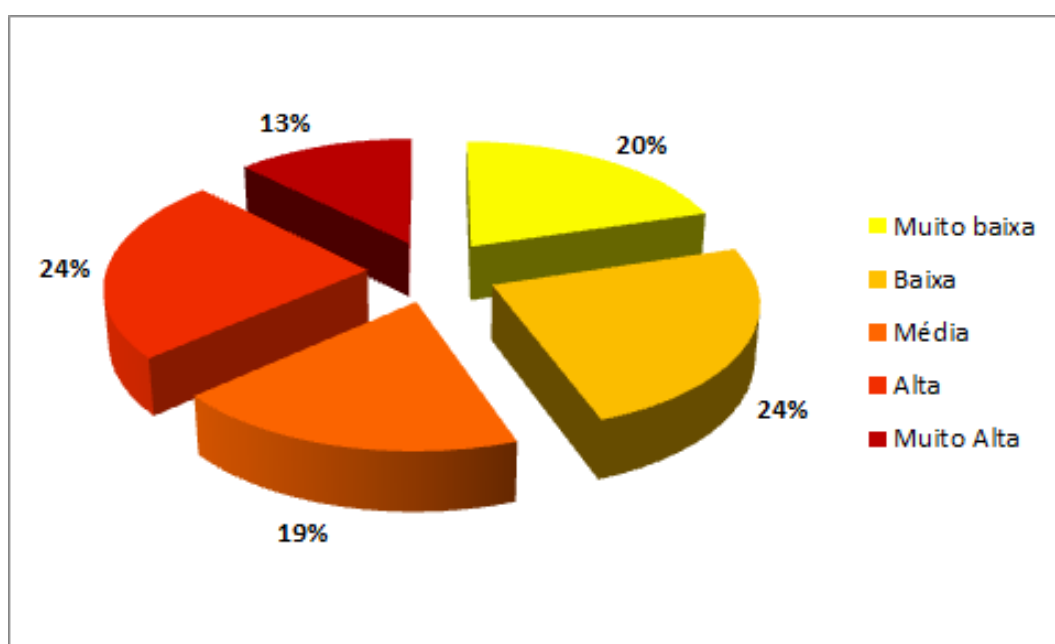


FIGURA 17 - Distribuição percentual das classes de suscetibilidade natural à erosão aliadas à ocupação dos solos.

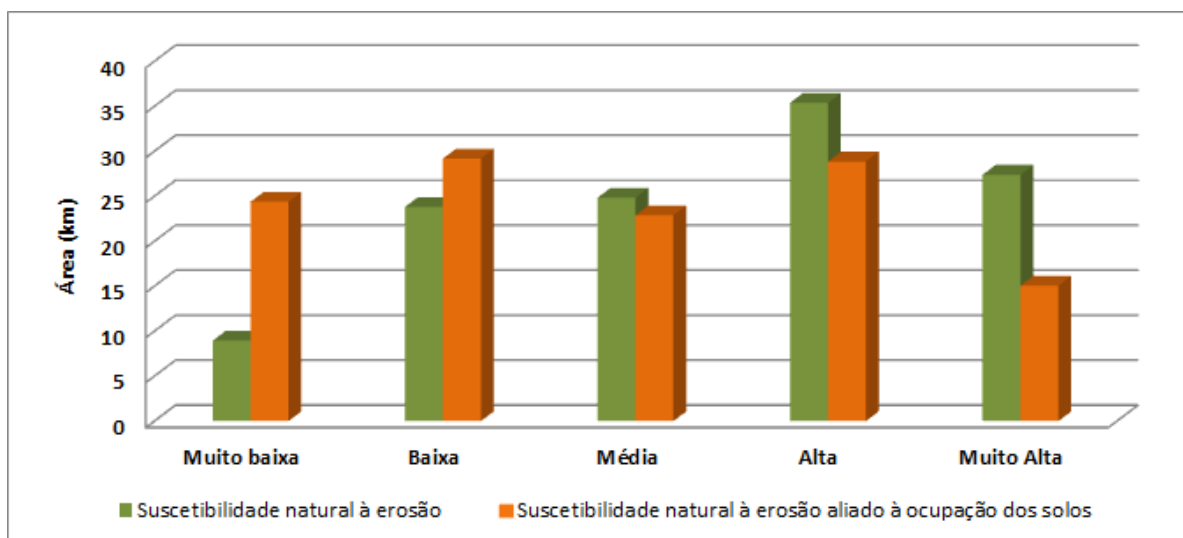


FIGURA 18- Comparação da distribuição percentual das classes de suscetibilidade à erosão com e sem a análise de ocupação dos solos.

Observa-se que as classes muita alta e alta, embora tenha diminuído continuou concentrada nas cabeceiras da sub-bacia do ribeirão Sardinha, demonstrando ser essa área a mais frágil em termos de suscetibilidade erosiva. Ainda, essas classes se expandiram para a média porção da bacia onde se verificam áreas de Campo Antrópico.

De modo geral, as áreas onde a suscetibilidade erosiva era baixa passou a ser muito baixa principalmente pelo fato dessas áreas se encontrarem, em sua maior parte, cercadas por coberturas naturais. Entretanto, embora estas áreas estejam mais sujeitas aos processos de sedimentação do que de erosão, o uso do solo sem medidas de manejo pode contribuir para o carreamento de sedimentos para os cursos d'água e influenciar diretamente na taxa de assoreamento e na qualidade das águas dos mesmos.

Desta forma, os dados apontam poucas alterações nas áreas com maiores níveis de suscetibilidade demonstrando que a área de estudo já possui suscetibilidade natural do terreno à erosão. Tal grau de suscetibilidade mais elevada ocorre sobre rochas mais friáveis associadas a solos rasos, relevo com vertentes ravinadas e rampas íngremes e alta densidade hidrográfica, densidade de drenagem e gradiente do canal principal mais elevado. Nas porções mais altas da sub-bacia essa suscetibilidade natural pode ser reduzida em função de cobertura vegetal. Os dados ainda apontam que na baixa bacia, a qual possui suscetibilidade natural baixa, pode ocorrer um aumento do potencial erosivo em função do uso do solo.

Considerando os aspectos supracitados observa-se que o uso e ocupação dos solos sem o emprego de técnicas de manejo e conservação na área, tende a acelerar a atuação dos processos erosivos. Desta forma, a seguir sugere-se um zoneamento

preliminar das áreas com suscetibilidade erosiva indicando suas potencialidades, limitações e propostas de ações para a gestão das áreas.

6.3. Ordenamento territorial: proposta de zoneamento ambiental da sub-bacia considerando aspectos físicos do terreno e aptidões de uso e conservação.

A sub-bacia do ribeirão Sardinha está inserida na bacia do rio Itabirito, dentro do município de Ouro Preto, Minas Gerais. Dentre os planos e instrumentos de gestão ambiental existentes que abrangem a área de estudo destacam-se:

- I. Plano Diretor do Município de Ouro Preto, estabelecido pela Lei Complementar nº 29 de 28 de dezembro de 2006 e complementado pela Lei Complementar nº 93 de 20 de janeiro de 2011;
- II. “Diagnóstico das Pressões Ambientais na Bacia do Rio Itabirito” elaborado pela Associação Executiva de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas Peixe Vivo – AGB PEIXE VIVO e a empresa Myr Projetos Estratégicos e Consultoria LTDA, por meio do Ato Convocatório nº 018/2011 demandado pela Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas - CBH Rio das Velhas.

O Plano Diretor do Município de Ouro Preto estabelece diretrizes tanto para as áreas rurais quanto urbanas, sendo que para esta última é apresentado o zoneamento urbano incluindo os distritos do município. Observa-se que grande parte da sub-bacia está inserida no contexto de áreas rurais, abrangendo apenas pequenos núcleos urbanos sendo o distrito de Engenheiro Correia e parte dos distritos de Miguel Burnier e Santo Antônio do Leite. Desta forma, as subzonas propostas no zoneamento ambiental a seguir serão pautadas nas diretrizes já estabelecidas pelo Plano Diretor tanto para as áreas rurais quanto urbanas.

Com relação aos planos de gestão voltados aos recursos hídricos destaca-se o “Diagnóstico das Pressões Ambientais na Bacia do Rio Itabirito” (Myr Projetos, 2013), conforme supracitado.

O estudo descreve as principais sub-bacias existentes dentro da bacia do rio Itabirito, dentre elas a sub-bacia do ribeirão Sardinha, apresentando, por fim, um plano de ações para essas áreas. Especificamente para a sub-bacia do ribeirão Sardinha o estudo demonstra maior preocupação com as áreas de cabeceira da mesma, visto a presença de diversos processos erosivos em estágio avançado o que indica que além da gestão

territorial, esta sub-bacia apresenta grande aptidão para implantação de programas socioambientais relacionados ao controle de erosão

Partindo dos planos de gestão existentes dentro da área de estudo bem como o mapeamento da suscetibilidade e vulnerabilidade erosiva elaborado neste trabalho, foi proposto o zoneamento ambiental da sub-bacia do ribeirão Sardinha. Para tanto, foram estabelecidas quatro macrozonas com relação a vulnerabilidade erosiva além da delimitação de subzonas potenciais de usos e conservação dos solos para o ordenamento territorial ambiental, conforme descritos nos capítulos a seguir.

Desta forma, o presente estudo pretende contribuir para a gestão dos recursos hídricos da sub-bacia, haja vista que o ordenamento dos usos e de conservação do solo foi pautado tanto em função da fragilidade do terreno frente aos processos erosivos, processo já identificado pelo comitê de bacias como fundamental para a gestão da mesma, quanto em função dos usos do solo já estabelecidos e com potencial de expansão.

6.3.1 - Macrozonas em termos de vulnerabilidade erosiva

ZONA 1 - ZN1

Zona com suscetibilidade erosiva natural alta e muito alta e evidências de focos erosivos instalados nas cabeceiras de drenagem do ribeirão do Mango. Possui alta densidade de drenagem e hidrográfica e elevado gradiente do canal principal demonstrando potencial de alta energia para formação de novos canais de primeira ordem por erosão remontante no sentido dos divisores de drenagem. Nestas áreas ocorre predomínio de solos rasos do tipo Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos e rochas friáveis com destaque para filito prateado, quartzito ferruginoso e sericita xisto.

Em função de tais características nesta zona devem ser priorizadas a conservação e/ou recuperação dos solos. Entretanto, observa-se alto potencial de uso para mineração nestas áreas em função dos atributos geológicos, com destaque para as cabeceiras do córrego dos Alemães.

ZONA 2 - ZN2

Zona com suscetibilidade erosiva natural muito alta, porém em função da cobertura florestal pode variar de média para baixa. Há evidências de focos erosivos principalmente no domínio de Campos Cerrados. Possui baixa ocupação antrópica. Nestas áreas ocorre o predomínio de solos rasos do tipo Neossolos Litólicos e solos espessos do tipo Latossolos Vermelho, porém com horizonte C exposto, além de rochas com moderada friabilidade com destaque para filito com pouco quartzito e grauvaca xisto e rocha metavulcânica. Desta forma, nesta zona também devem ser priorizadas a conservação e/ou

recuperação dos solos. Nestas áreas a pressão antrópica está bastante associada ao potencial de expansão minerária no trecho médio da margem esquerda do ribeirão Sardinha. O restante da margem esquerda e sul desta zona correspondem às áreas de reserva legal já averbadas e/ou com potencial para averbação. Ainda, embora seja mais restrito observam-se pressões por usos agropastoris, principalmente ao longo do vale do ribeirão Sardinha.

ZONA 3 - ZN3

Zona com suscetibilidade erosiva média a baixa em função da cobertura vegetal e de solos mais profundos e permeáveis. Evidências de poucos focos erosivos. Entretanto, pode apresentar alta vulnerabilidade à erosão caso ocorra exposição do horizonte C mais friável dos Latossolos Vermelhos. Possui considerável ocupação antrópica por atividades agropastoris e pequenos núcleos de ocupação urbana dos distritos de Santo Antônio do Leite e Engenheiro Correia.

Nestas áreas observa-se potencial de expansão dos usos agropastoris bem como apresenta favorecimento ao surgimento de loteamentos urbanos nos distritos supracitados. Seria, portanto a zona com maior potencial para os usos do solo, desde que, no caso dos usos agropastoris, sejam executadas técnicas de manejo adequadas e no caso das expansões urbanas que respeite os zoneamentos estabelecidos no Plano Diretor do município de Ouro Preto.

Em função da alta densidade florestal já existente nesta área sugere-se ainda a preservação da vegetação remanescente tanto de Floresta como do Campo Cerrado inclusive para regularização de reservas legais, além da conservação das áreas de preservação permanente (APPs) não intervindas e recuperação das APP com intervenção.

ZONA 4 – ZN4

Zona com suscetibilidade erosiva muito baixa em função das características do relevo suave, solos mais permeáveis e presença de cobertura vegetal. Sem evidências de focos erosivos. Apresenta fragmento florestal considerável na margem direita e usos agropastoris na margem esquerda.

Nestas áreas há potencial de expansão dos usos agropastoris, porém deve ser priorizada a preservação da vegetação remanescente, bem como a conservação das áreas de preservação permanente (APPs) não intervindas e recuperação das APP com intervenção.

6.3.2 - Subzonas do ordenamento territorial ambiental

6.3.2.1 - Subzonas de conservação, preservação e recuperação

Subzona de Preservação do Patrimônio Natural

As zonas de preservação do patrimônio natural são aquelas que contêm áreas de vegetação natural com pouca alteração antrópica, ou seja, apresentam características que conferem a esses locais o maior grau de integridade. Desta forma, englobam tanto as áreas florestais quanto de campo cerrados. Tais áreas destinam-se essencialmente à preservação/conservação da biodiversidade, podendo contar com características excepcionais, como espécies raras, espécies ameaçadas de extinção, locais com maior fragilidade ambiental (áreas úmidas, encostas, grandes declividades, solos arenosos, margens de cursos d'água, entre outros), manchas de vegetação única, topo de elevações e outras, que mereçam proteção.

As zonas de preservação do patrimônio natural deverão funcionar como reserva de recursos genéticos silvestres, onde poderão ocorrer pesquisas, estudos, monitoramento, proteção e fiscalização, ou seja, seu uso deverá ocorrer de forma controlada. Tais áreas podem ainda ser utilizadas para regularização de reservas legais.

A sub-zona de Preservação do Patrimônio Natural reforça a "Ação 01" do Plano de Ação elaborado para a bacia do rio Itabirito, ao estabelecer a manutenção das áreas de relevância ambiental preservadas, garantindo a manutenção da sustentabilidade hídrica da bacia e mantendo os cursos d'água em classe especial, 1 e no máximo classe 2 (Myr Projetos, 2013).

Subzona das Áreas de Preservação Permanente

O intuito da zona de áreas de preservação permanente - APPs é o de delimitar as áreas que são protegidas perante a lei e que possuem a função de preservar o meio ambiente, na forma de recursos hídricos, solo, fauna, flora e populações locais.

Para a área de estudo foram consideradas as seguintes delimitações de áreas de preservação permanente, conforme descrito na lei nº 12.651 de 2012, no capítulo II, art. 4º:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Redação dada pela Medida Provisória nº 571, de 2012).

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação (BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012, 2012)

Desta forma, para a área de estudo as APPs que não sofreram nenhum tipo de intervenção são prioritárias para conservação. No caso das APPs intervindas por atividades antrópicas deverão ser realizadas medidas de recuperação pelos responsáveis pela degradação.

Ainda, conforme proposto no Plano de Ação da bacia do rio Itabirito (Myr Projetos, 2013), sugere-se a implementação do pagamento por serviços ambientais (Ação 04) sendo essa uma alternativa interessante para a manutenção de áreas verdes e de relevância ambiental para os recursos hídricos, tais como as APPs. Com essa medida, espera-se que se desenvolva uma nova consciência sobre o valor dos elementos que compõe o meio ambiente e conseqüente incentivo para a preservação ambiental na bacia.

6.3.2.2 - Subzonas com usos já instalados e com potencial de expansão

Subzona de uso potencial para mineração

Compreendem as áreas com atividades minerárias já instaladas e ativas bem como os limites do DNPM em fase de concessão de lavra, com exceção das áreas com cobertura florestal as quais podem ser utilizadas pelas próprias mineradoras para regularização de reserva legal. Cabe destacar que, em função dos aspectos geológicos tais áreas estão concentradas nas cabeceiras da sub-bacia do ribeirão Sardinha, mais especificamente nas macrozonas ZN1 e ZN2, zonas com maior fragilidade à ocorrência de processos erosivos. Desta forma, no caso de intervenção antrópica nestas áreas, devem ser consideradas as características geomórfológicas, litopedológicas e climáticas locais. Nestes casos, sugere-se o controle e fiscalização das atividades antrópicas instaladas bem como a execução de controle dos processos erosivos na bacia como condicionante de implantação de grandes empreendimentos, medida já indicada como "Ação 09" (Ações de prevenção remediação para recuperação de focos erosivos acelerados) dentro do Plano de Ação da bacia do rio Itabirito (Myr Projetos, 2013).

Merece destaque o limite de propriedade da Gerdau Açominas S.A o qual abrange grande parte das porções sul e sudoeste da sub-bacia do ribeirão Sardinha. Dentro da área de estudo o Complexo Minerário de Miguel Burnier é composto basicamente pela

barragem de rejeito dos Alemães e Cava dos Alemães, todos localizados na micro bacia do córrego dos Alemães. No restante da propriedade, dentro da área de estudo, observa-se áreas destinadas a reserva legal e áreas em pesquisa geológica da empresa, sendo potenciais para expansão do complexo minerário. Tendo em vista que tal área possui alta suscetibilidade erosiva, com evidências de feições erosivas no relevo, dentro da área de propriedade da empresa Gerdau são realizadas medidas de recuperação das erosões. Tais medidas foram previstas no Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD da Gerdau em atendimento a uma condicionante vinculada ao processo de Licença de Operação. Desta forma, dentro da propriedade da Gerdau estão previstas recuperação de todos os focos erosivos existentes. Nas outras áreas minerárias já existentes e com potencial de expansão dentro da sub-bacia, embora sejam de menor porte, também devem ser implementadas tais medidas.

Subzona de usos urbanos

Nestas áreas estão incluídos os limites dos distritos de Engenheiro Correia e parte dos distritos de Miguel Burnier e Santo Antônio do Leite.

O limite e o zoneamento urbano de cada distrito, bem como o tipo de uso e ocupação do solo, foram especificados no Plano Diretor do Município de Ouro Preto. Tais zonas foram definidas a partir de condicionantes geo-ambientais, da capacidade de adensamento, da infra-estrutura existente e potencial, das demandas de preservação e proteção do patrimônio cultural, natural e ambiental, e da localização de usos (OURO PRETO, Lei Complementar nº 29, de 28 de dezembro de 2006, 2006). Desta forma, dentro da subzona de usos urbanos, qualquer expansão urbana dos distritos supracitados devem respeitar os zoneamentos estabelecidos no Plano Diretor municipal.

O Quadro 21 abaixo apresenta os distritos e suas respectivas zonas, no qual a sub-bacia abrange:

QUADRO 21 - Zonas estabelecidas pelo Plano Diretor localizadas dentro da área de estudo

Distrito	Zonas
Engenheiro Correia	ZPE - Zona de proteção especial ZAR1 - Zona de adensamento restrito 1 ZAR2 - Zona de adensamento restrito 2 ZPAM - Zona de proteção ambiental
Santo Antônio do Leite	ZAR2 - Zona de adensamento restrito 2 ZAR3 - Zona de adensamento restrito 3 ZIE - Zona de intervenção especial ZPAM - Zona de proteção ambiental 1
Miguel Burnier	ZPE - Zona de proteção especial ZAR2 - Zona de adensamento restrito 2 ZIM - Zona de Interesse Mineral

O Quadro 22, por sua vez, apresenta a descrição de cada uma das zonas existentes dentro da sub-bacia, conforme especificadas na Lei Complementar nº 93 de 20 de janeiro de 2011.

QUADRO 22 – Descrição das zonas das áreas urbanas existentes dentro da área de estudo

Zona	Descrição
ZPE - Zona de proteção especial	Áreas que contêm os valores essenciais a serem preservados nos conjuntos urbanos, resultantes da presença de traçados urbanísticos originais e de tipologias urbanísticas, arquitetônicas e paisagísticas que configuram a imagem do lugar.
ZPAM - Zona de proteção ambiental	Áreas que devem ser preservadas ou recuperadas em função de suas características topográficas, geológicas e ambientais de flora, fauna e recursos hídricos, e/ou pela necessidade de preservação do patrimônio arqueológico ou paisagístico. A ocupação do solo na ZPAM só será admitida mediante parecer favorável do Grupo Técnico – GT, criado pela Lei do Plano Diretor, e pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente.
ZAR1 - Zona de adensamento restrito 1	Áreas em que a ocupação e o uso do solo são controlados. Devem ser preservadas por suas características geo-ambientais e por seu entorno, mas que poderão ser parceladas e/ou ocupadas mediante condições especiais.
ZAR2 - Zona de adensamento restrito 2	Regiões nas quais as condições de relevo, as características de risco geológico, a geometria, a desarticulação do sistema viário ou a tendência à ocupação residencial unifamiliar exigem a adoção de parâmetros que devam ajustar e restringir o adensamento demográfico.
ZAR3 - Zona de adensamento restrito 3	Compreende as áreas contíguas às ZPE's - Zonas de Proteção Especial ou às áreas em que se encontram edificações de interesse cultural; apresentam-se predominantemente construídas, devendo ser objeto de controle o potencial de interferência na paisagem urbana tombada ou protegida.
ZIE - Zona de intervenção especial	Áreas degradadas por processos naturais ou antrópicos que demandam recuperação ambiental definida por plano específico aprovado pelo Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental – CODEMA, ou ainda às áreas destinadas à urbanização de assentamentos informais ou à remoção de moradores de áreas de risco, ou de interesse ambiental, paisagístico ou cultural. Após a recuperação ambiental, que é de responsabilidade do proprietário do imóvel, será passível de ocupação total ou parcial, recebendo, para tal, parâmetros urbanísticos adequados.
ZIM - Zona de Interesse Mineral	Área em que predomina a atividade mineral como geradora de emprego e renda, que se caracteriza pela rigidez locacional, além de estar condicionada aos ditames da natureza. Pode ser sobreposta a demais zoneamentos

O distrito de Engenheiro Correia localiza-se totalmente dentro da sub-bacia do ribeirão Sardinha. Possui uma área aproximada de 46 Km², com uma população estimada em 392 habitantes (IBGE/2000). Conforme o mapeamento dos patrimônios inventariados no distrito, dentre os patrimônios materiais, verifica-se dois sítios naturais na área, sendo um a Cachoeira do Ribeirão Sardinha (UTM - 628676E/7748476N) e o outro a Corredeira no Córrego da Lavra (UTM – 629312E/7747404N). Ainda, dentre as estruturas arquitetônicas e urbanísticas relevantes destaca-se a Capela de Nossa Senhora da Conceição, Capela de São João, Estação Ferroviária e Fazenda Tamanca. Embora esteja localizado na rota da Estrada Real e possuir bens materiais e imateriais, o distrito não desenvolveu seu potencial de lazer de finais-de-semana, sítios e chácaras, bem como a exploração racional das potencialidades naturais com turismo ecológico e de aventuras.

Com relação ao distrito de Santo Antônio do Leite apenas a parte oeste do mesmo localiza-se dentro da área de estudo, abrangendo as zonas urbanas, conforme listadas no Quadro 21. A região de Santo Antônio do Leite tem sua economia sustentada pela agropecuária desde a sua formação, aspecto que conformou o distrito atual que é dividido em várias pequenas localidades, antes sedes de fazendas. Tal região é marcada pela existência de processos erosivos acelerados, que condicionam a formação de ravinas e voçorocas, o traz prejuízos para agricultores da região, devido a inutilização de áreas agricultáveis (Santos, Sobreira e Coelho Neto, 2002). Dentre os sítios naturais inventariados dentro da sub-bacia do ribeirão Sardinha, destaca-se a Cachoeira da Estiva (UTM - 632495/7748317), a Cachoeira Mirante do Café (UTM – 633440/7746869) e o Mirante do Café (UTM – 634232/7746429).

O distrito de Miguel Burnier, por sua vez, possui uma área aproximada de 197 Km², com uma população estimada em 954 habitantes (IBGE/2000). A principal fonte de renda dos moradores de Miguel Burnier é vinculada à mineração, atualmente realizada pela empresa Gerdau Açominas S.A.

Subzona de usos produtivos rurais

Tais áreas se concentram na média e baixa porção da sub-bacia do ribeirão Sardinha, mais especificamente nas macrozonas ZN3 e ZN4. Compreende as porções do terreno destinadas a usos socioeconômicos, sendo composta basicamente por áreas com uso para pastagem.

Para as áreas rurais, no que tange as proposições estabelecidas pelo Plano Diretor do Município de Ouro Preto de interesse para o presente estudo, destacam-se as seguintes diretrizes:

- Capítulo II, Art. 15, inciso VI - estimular a elaboração de Plano Diretor Agropecuário, como forma de catalizar e ordenar as formas de produção do meio rural;
- Capítulo VI Art. 37, inciso VII - promoção da melhoria das condições de habitabilidade da moradia rural tendo em vista aumentar as possibilidades de fixação do homem no campo (OURO PRETO, Lei Complementar nº 29, de 28 de dezembro de 2006, 2006).

Por sua vez, a Lei Complementar nº 93 de 20 de janeiro de 2011, em seu Capítulo X, apresenta as regras de parcelamento de tais áreas, conforme descritas abaixo:

- Art. 143 As regras de parcelamento para a Zona Rural estão sujeitas à legislação federal pertinente, não eximindo o proprietário da aprovação junto ao Município das benfeitorias e/ou construções.
 - §1º Na Zona Rural, não serão permitidos parcelamentos para fins urbanos.
- §2º Nos casos de parcelamento, a área da gleba resultante será, no mínimo, equivalente à fração mínima de parcelamento estabelecida pelo órgão federal competente para a região. (OURO PRETO, Lei Complementar nº 93 de 20 de janeiro de 2011, 2011).

Ainda, conforme Plano de Ação elaborado para a bacia do rio Itabirito (Myr Projetos, 2013), para a subzona de usos rurais delimitada, destacam-se as seguintes diretrizes propostas:

- Ação 04 - implantação do pagamento por serviços ambientais, cujos recursos viriam do pagamento pelo uso da água a fim de incentivar a preservação de áreas de preservação permanente e manutenção de nascentes e vegetação nativa;
- Ação 06 - cursos e reuniões com produtores rurais sobre técnicas adequadas de usos do solo e proteção em áreas rurais tendo em vista que as atividades agrosilvopastoris, apesar de ter grande importância econômica, vem se tornando um fator de pressão importante dentro da bacia pelo uso inadequado do solo em locais propensos a deflagração de processos erosivos.
- Ação 08 - difusão de técnicas de controle de erosão e de proteção do solo nas áreas identificadas como de maior pressão por usos agropecuários;

O mapa abaixo apresenta o zoneamento ambiental da sub-bacia do Ribeirão Sardinha com foco na vulnerabilidade erosiva com a delimitação das macrozonas definidas bem como as subzonas estabelecidas distinguindo dentro dessas as vocações de uso e conservação dos solos.

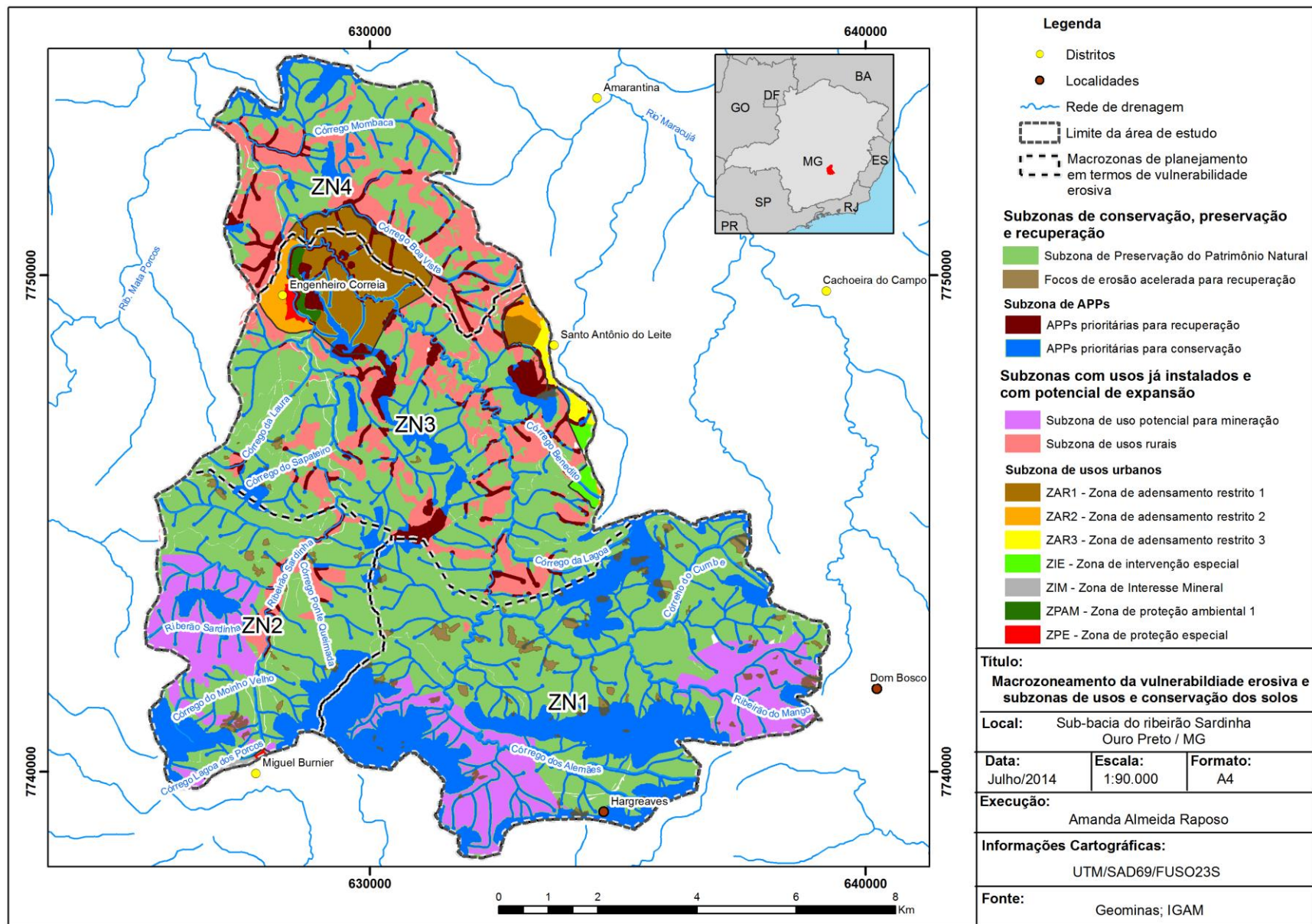


FIGURA 19 - Proposta do zoneamento ambiental com foco na vulnerabilidade erosiva

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do levantamento dos dados constatou-se que os parâmetros morfométricos analisados possibilitaram uma melhor compreensão da vulnerabilidade natural à erosão dos terrenos. Tais dados, juntamente com as análises dos solos, relevo, geologia e usos e ocupação do terreno, contribuíram para o mapeamento da suscetibilidade erosiva da sub-bacia de estudo bem como auxiliou na definição do zoneamento de usos, vocações e potencialidades da sub-bacia.

Com relação análise morfométrica verificou-se valores significativos de Densidade Hidrográfica, Densidade de Drenagem e Gradiente do Canal Principal para a alta porção da micro bacia do ribeirão do Mango demonstrando que tal área possui maior potencial de escoamento superficial e baixa permeabilidade dos solos. Os dados apontam que esta zona possui maior energia para formação de canais de primeira ordem e em consequência erosão remontante dos mesmos, propiciando a formação de focos erosivos.

Para a alta porção do canal principal do ribeirão sardinha verificou-se valores baixos de Índice de Sinuosidade, e moderados para Densidade Hidrográfica e Densidade de Drenagem o que indica também ser essa zona de baixa permeabilidade e com potencial médio de escoamento superficial. Embora se verifiquem formações de canais de primeira ordem estes são menores se comparados à porção supracitada.

O alto/médio curso do ribeirão Sardinha, por sua vez, apresentou valores significativos de Índice de Sinuosidade, baixo valor de Gradiente do Canal Principal e Índice de Circularidade demonstrando que tal setor apresenta solos mais permeáveis com baixo potencial de erodibilidade.

Tais dados foram corroborados a partir da análise dos aspectos físicos do terreno e do uso e ocupação do solo dos mesmos.

Desta forma, quanto à erodibilidade dos solos verificou-se que os Neossolos Litólicos e Cambissolos, solos rasos localizados nas cabeceiras de drenagem da sub-bacia do ribeirão Sardinha, são os que possuem maior suscetibilidade erosiva, enquanto que os Latossolos Vermelho, localizados na média baixa porção da sub-bacia, possuem média suscetibilidade. Em consonância, as classes litológicas com maior suscetibilidade erosiva também se concentram nas cabeceiras da área de estudo principalmente ao longo da faixa da Formação Cercadinho, com predomínio de filito prateado, quartzito ferruginoso e sericita xisto. Na área do Complexo Bação, embora esteja presente a classe de Latossolos, esta foi

considerada como de alta suscetibilidade em função da possibilidade de ocorrência de solos residuais imaturos, pouco desenvolvidos pedologicamente.

A influência do relevo foi analisada por meio da compartimentação da área em unidades do relevo, tendo por base os dados de elevação e declividade do terreno. Constatou-se, portanto que as áreas mais sensíveis em termos de suscetibilidade erosiva estão nas zonas com de Vertentes Ravinadas concentradas na alta e média porção da sub-bacia.

Verificou-se que as áreas com maior suscetibilidade erosiva natural compreende uma faixa ao longo da alta/média porção da sub-bacia do ribeirão Sardinha o que corrobora com a realidade local haja vista que nestas áreas se observam as maiores ocorrências de focos de erosão acelerada.

Por meio da inserção dos dados de uso e ocupação do solo constataram-se poucas alterações nas áreas com maiores níveis de suscetibilidade, indicando inexpressiva contribuição deste parâmetro para alteração do quadro apresentado afeto à suscetibilidade natural do terreno à erosão. Mesmo assim verifica-se que em algumas áreas essa suscetibilidade natural pode ser reduzida em função de cobertura vegetal. Em contrapartida, as áreas onde a suscetibilidade erosiva média a baixa passou a ser muito baixa, deve-se pelo fato das mesmas se encontrarem, em sua maior parte, abrangidas por coberturas florestais.

Na baixa bacia, a qual possui suscetibilidade natural baixa à ocorrência de processos erosivos, pode ocorrer um aumento do potencial erosivo em função do uso inadequado dos solos pelas atividades agropastoris.

Desta forma, a erosão na área de estudo pode ser influenciada por questões naturais, como pelas características do relevo acidentado, do tipo de solo e rocha, ou pode ser pontualmente acelerada, direta ou indiretamente, pela ação humana, especialmente por meio da remoção da cobertura vegetal.

A fim de contribuir para o planejamento ambiental da sub-bacia do ribeirão Sardinha foi proposto um macrozoneamento da vulnerabilidade suscetibilidade erosiva associada às potencialidades de uso e conservação das áreas. Tais potencialidades bem como as atividades propostas em cada uma delas devem se compatíveis com a fragilidade erosiva do terreno e outros atributos locais, os quais devem ser estudados caso a caso.

Desta forma, a fim de um ordenamento territorial sustentável sugere-se que as áreas florestais e de campo cerrado remanescentes sejam mantidas para conservação com possibilidade de criação de corredores ecológicos, podendo ainda ser utilizadas como áreas de reserva legal das propriedades, caso as mesmas ainda não tenham sido regularizadas.

As áreas de preservação permanente que não sofreram alterações deverão ser mantidas conservadas enquanto que as áreas de preservação permanente que sofreram intervenções por usos antrópicos deverão ser recuperadas. Por sua vez, as áreas com potencial para expansão agropastoris, concentradas na macrozona ZN3, deverão utilizar de técnicas de manejo adequadas. O mesmo deve ser aplicado às áreas com expansão minerária, concentradas nas macrozonas com maior potencial erosivo (ZN1 e ZN2) as quais deverão garantir a estabilidade geotécnica e controle de sedimentos durante as atividades, além da reabilitação das áreas degradadas imediatamente após o término das atividades minerárias, bem como recuperação das áreas com focos erosivos acelerados.

Por fim, a expansão urbana dos núcleos de Santo Antônio do Leite, Miguel Burnier e Engenheiro Correia deverão respeitar os zoneamentos estabelecidos no Plano diretor do município de Ouro Preto.

Para todos os casos cabem medidas de educação ambiental que podem estar associadas á formação do circuito ambiental da bacia do Rio Itabirito, ação proposta pelo subcomitê da bacia do rio Itabirito com intuito de conscientização da população dos usos, consequências e prioridades ambientais para a bacia como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). São Paulo, 1998. 586p.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-124, 2003.
- BACELLAR, L. A. P. Condicionantes geológicas, geomorfológicas e geotécnicas dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000
- BACELLAR, L. A. P.; COELHO NETO, A. L.; LACERDA, W. A. Controlling factors of gullying in the Maracujá Catchment, Southeastern Brazil. Earth Surface Processes and Landforms, Inglaterra: 2005. v. 30, p. 1369-1385.
- BALTAZAR, O.F.; BAARS F.J.; LOBATO, L.M.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BERNI, G.V.; SILVEIRA, V.D. 2005. Mapa Geológico na Escala 1: 50.000 com Nota Explicativa. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Lobato et al. (2005) CODEMIG. Belo Horizonte
- BARBOSA, C.C; CAMARA, G.;MEDEIROS, J.S.;CREPANI, E.;NOVO, E.; CORDEIRO, J.P.C. Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico-Econômico. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Santos. Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos. INPE, 1998. p. 487-500
- BARROS, L. F. P. ; RAPOSO, A. A. ; RAPOSO, A. A. ; OLIVEIRA, L. A. F. ; MAGALHÃES JR., A. P. ; CHEREM, L. F. S.. Análise Comparativa entre os Eventos Depositionais Fluviais Cenozóicos nos Vales do Rio Maracujá e Ribeirão do Mango - Quadrilátero Ferrífero/ MG.. In: II Encontro Latino Americano de Geomorfologia e VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. Anais do II Encontro Latino Americano de Geomorfologia e VII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Belo Horizonte: Tec Art, 2008. v. 1. p. 270-280.
- BITAR, O.Y. Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995.
- CARVALHO, E.T. 1982. Carta Geotécnica de Ouro Preto. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 1982, 95p. (Dissertação de Mestrado).
- CHEREM, L. F. S. Análise morfométrica da bacia do alto Rio das Velhas: comparação de metodologias e dados. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas. 1970. 215p. Tese (Livre Docência). Faculdade de Filosofia, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1970.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. Not. Geomorfol., v. 9, n. 18, p.36-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 186p, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Blücher, 1999, 186p.

CREPANI, E.; et.al. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico. São José dos Campos: INPE, 2001. 25p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

ETCHEBEHERE, M. L. de C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G.; CASADO, F. da C.; FULFARO, V. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do Peixe, Região Ocidental Paulista, mediante aplicação de índices RDE (relação declividade-extensão) em segmentos de drenagem. Geociências, v.25, p.271-287, 2006.

FAUSTINO, J. Planificación y gestión de manejo de cuencas. Turrialba: CATIE, 1996. 90p. Rocha (1997, apud MARTINS et al., 2005)

FEAM/IBAMA. Cadastramento Dinâmico das Áreas de Restrição Ambiental da Bacia do Rio das Velhas. Convênio FEAM/IBAMA, 2002.360p. (no prelo).

FELTRAN FILHO, A.; LIMA, E. F. Considerações morfométricas da bacia do rio Uberabinha – Minas Gerais. Sociedade E Natureza. Uberlândia:UFU. v. 19. n. 1, p.65-80, jun. 2007.

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias - Belo Horizonte: EMATERMG.1994. 24p.

FREITAS R.O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. São Paulo, Boletim Paulista de Geografia. 11:53-57, 1952

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org). Erosão e conservação de solos: conceitos temas e aplicações. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, v.56, n.2, p.275-370, 1945.

INFANTI JR, N.; FORNASARI FILHO, N. (2002). Processos de dinâmica Superficial. In: A. M. OLIVEIRA; S. N. BRITO (Eds.), Geologia de Engenharia (p. 131-152). ABGE.

INFANTIL JÚNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N.F. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A., eds. Geologia de engenharia. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.131-152.

IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo - Bacia do Peixe-Parapanema: Potencial Natural e Antrópico à erosão

Laminar. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, SP, 1988. 110 p., 7 mapas.

JORDÃO, B. M. da Cruz; PEREIRA, S. R.. A análise multicritério na tomada de decisão - O Método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty - Desenvolvimento do método com recurso à análise de um caso prático explicado ponto a ponto. Instituto Politécnico de Coimbra. Departamento de Engenharia Civil. Trabalho da disciplina gestão de empreendimentos, 2006

KAWAKUBO, F.S et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. Anais...São José dos Campos: INPE, 2005.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121- 126, 2001.

LOPES, J.S.F.; SANTOS, L. do; GASPARETO, L. Análise de metodologias de mapeamento. In: X Simpósio de Geografia Física Aplicada, 2003, p 606-615.

MAGALHÃES, I.A. L. THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; Dos SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. Instituto de Geociências da UFBA. Cadernos de Geociências, v. 8, n. 2, novembro 2011.

MAPA DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS: legenda expandida / Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p

McCANN, S. B; FORD, D. C. (eds). Geomorphology Sans Frontières. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. 245 p

MILANI, J. R.; CANALI, N. E. O sistema hidrográfico do rio Matinhos: uma análise Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. Revista Árvore. Viçosa:UFV, v. 30. n.5. set-out, 13p, 2006.

MOREIRA, E. A. A Ocupação da Bacia do Rio das Velhas Relacionada aos Tipos de Solo e Processos Erosivos, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, Minas Gerais, 137 f., 2006

MYR PROJETOS ESTRATÉGICOS E CONSULTORIA LTDA. Diagnóstico das pressões ambientais na bacia do rio Itabirito. Associação Executiva de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas Peixe Vivo – AGB Peixe Vivo. Ato Convocatório nº 018/2012. 2013.

NETO, J.F.C. Elaboração de mapas de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao zoneamento ambiental em bacias hidrográficas com o uso de geoprocessamento. REVISTA BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA - RBE. 2010.

OLIVEIRA, A. M. M. de; PINTO, S. dos A. F. & NETO, F. L. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo. Revista Eletrônica de Geografia, vol. 5, 2007.

OLIVEIRA, T. A. S.; CASTRO, P. T. A.; BRAGA, S. C. M. Caracterização do sistema fluvial do rio do Carmo, bacia do rio Doce, com base em análises morfométricas sobre mapas topográficos. In: Semana de Iniciação Científica, 15, 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto:UFOP, 2007.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal, S.P.. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2004.

PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estud. av.**, São Paulo, v. 22,n. 63, 2008.

RAPOSO, A. A.; OLIVEIRA, L. F.; MAGALHÃES Jr, A. P.; CHEREM, L. F. S. Níveis e Seqüências Depositionais do Vale do Ribeirão do Mango Quadrilátero Ferrífero/MG. In: II Encontro Latino Americano de Geomorfologia e VII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Belo Horizonte. Anais do II Encontro Latino Americano de Geomorfologia e VII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Belo Horizonte : Tec Art, 2008. v. 1. p. 110-120, 2008.

RAPOSO, A.A. Condicionantes do quadro físico e influências humanas na dinâmica fluvial moderna da bacia do Ribeirão Sardinha, Quadrilátero Ferrífero MG. 2009. 67 f.. Monografia de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. P. ; MAGALHÃES JR., A. P. Pressões humanas e impactos na dinâmica erosivo-deposicional do Alto rio das Velhas: análise comparativa entre as bacias do rio Maracujá e ribeirão do Mango. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

RAPOSO, A. A.; CARVALHO, A. ; OLIVEIRA, L. A. F. ; RIGHI, R.B ; MAGALHÃES JR., A. P. . Reflexos das pressões antrópicas e da erosão acelerada na dinâmica fluvial da bacia do Ribeirão Sardinha - Quadrilátero Ferrífero, MG. In: XIII Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. Anais do XIII Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada. Viçosa, 2009. v. 1. p. 230-245.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizado. In: Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.8, p.3-74, 1994.

SAATY. T. H. A Scaling Method For Priorities in Hierarchical Structures. Journal of Mathematical Psychology, v. 15, n 3, p. 234- 281, 1977.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p: 18 – 43.

SANTANA, D.P. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGENIO, . C. (Coord.). ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão Carioca na

região do Alto Rio das Velhas-MG. Rem: Rev. Esc. Minas, vol.61, nº1, Jan./Mar. 2008,p.77-85.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G.; COELHO NETO, A. L. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto - MG. Rem: **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto , v. 55, n. 4, Oct. 2002 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672002000400010&lng=en&nrm=iso>. access on 01 Nov. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672002000400010>.

SANTOS, G.; B. Geomorfologia fluvial no Alto Vale do Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG: paleoníveis deposicionais e dinâmica erosiva e deposicional atual. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia). IGC-UFMG, Belo Horizonte

SANTOS, N. A. P. Uma abordagem Metodológica para determinar a influência do uso e cobertura do solo como fonte de poluição difusa na alteração da qualidade da água na bacia do Rio das velhas, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, Minas Gerais, 120 pg. , 2005

SANTOS, R.D. dos; LEMOS, R.C. de; SANTOS, H.G. dos; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Embrapa. SBCS. Editora Folha de Viçosa Ltda. 5ª edição. Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005. 92p.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. Geological Society of America Bulletin, N. Jersey, v.67, p.597-646, 1956.

SCHUMM, S.A. Evolution and response of the fluvial system, sedimentological implications. In: Ethridge F.G., Flores, R.M. (eds) Recent and ancient nonmarine depositional environment: models for exploration. Soc. Econ. Paleontol Mineral Spec. Publ, 1981, 31:19-29.

SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; CARVALHO, L.M.T. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais – Componentes Geofísicos e Bióticos. Lavras: Editora UFLA, 2008.

SILVA, A. B.; CARVALHO, E. T.; FANTINEL, L. M.; ROMANO, A. W.; VIANA, C. S. 1995. Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Convênio PBH/FUNDEP (IGC), 1995, 152p

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. 1 ed. São Carlos: Rima, 2004.

SILVA, J. T. G. Preliminary Engineering Geologic Maps of Belo Horizonte, São Sebastião das Águas Claras, Nova Lima e Santa Luzia Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Master of Engineering - Colorado School of Mines, Colorado, USA, 1990, 147p.

SILVA, T. A. Proposta metodológica para delimitação e estimativa da estrutura da mata ribeirinha a partir de imagens de alta resolução. [S.l.]: Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 236 p., 2011.

SOBREIRA, F. G. 2000. Estudo Geoambiental da Área Urbana de Mariana: Ocupação do Meio Físico e Análise de Riscos Geológicos. Projeto UFOP/FAPEMIG. Ouro Preto, 2000, 90p.

SOBREIRA, F.G. Processos erosivos acelerados (voçorocas): o exemplo de Cachoeira do Campo, Ouro Preto, MG. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 23 (1) :217-233., 2000

STRAHLER, A. N. Dimensional analysis applied to fluvial eroded landforms. Geological Society of America Bulletin, v.69, p.279-300, 1958.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. Geological Society of America Bulletin, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

TEODORO, V.I.T.; TEIXIRA, D.; COSTA, D.J.C.; FULLER, B.B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. REVISTA UNIARA, n.20, 2007.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira Das Pombas, Guanhões – MG. R. Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006

TRICART. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE (SUPREN). 1977.

TUCCI, C.E.M., 1997 Estimativa do Volume para Controle da Drenagem no Lote. Anais III Seminário Nacional de Drenagem Urbana. ABRH. Curitiba

VALADÃO, R. C. ; SILVEIRA, J. S. Estratigrafia Quaternária e Evolução do Relevo no Complexo de Baçõ - dados preliminares. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto/MG, 45 (1/2) :85-87., 1992