



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA**

Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas
Ambientais

Fernanda Mara Coelho Pizani

**MODELAGEM DE CENÁRIO INTEGRADO PARA EXPLORAÇÃO MINERAL E
GEOCONSERVAÇÃO DA ESTRADA REAL –
PORÇÃO CENTRO-NORTE DO CAMINHO DOS DIAMANTES**

Belo Horizonte

2018

Fernanda Mara Coelho Pizani

**MODELAGEM DE CENÁRIO INTEGRADO PARA EXPLORAÇÃO MINERAL E
GEOCONSERVAÇÃO DA ESTRADA REAL –
PORÇÃO CENTRO-NORTE DO CAMINHO DOS DIAMANTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Úrsula Ruchkys de Azevedo

Belo Horizonte
Instituto de Geociências da UFMG

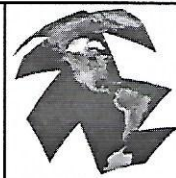
2018

P695m Pizani, Fernanda Mara Coelho.
2018 Modelagem de cenário integrado para exploração mineral e geoconservação da Estrada Real - porção centro-norte do caminho dos diamantes [manuscrito] / Fernanda Mara Coelho Pizani. – 2018.
83 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Úrsula Ruchkys de Azevedo.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2018.
Bibliografia: f. 75-80.
Inclui anexos.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Minas e recursos minerais – Minas Gerais – Teses. 3. Geoconservação – Teses. 4. Geodiversidade – Minas Gerais – Teses. 5. Sistemas de informação geográfica – Teses. I. Ruchkys, Úrsula de Azevedo. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



FOLHA DE APROVAÇÃO

Modelagem de cenário integrado para exploração mineral e geoconservação da Estrada Real – porção centro-norte do Caminho dos Diamantes

FERNANDA MARA COELHO PIZANI

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 07 de maio de 2018, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Úrsula Ruchkys de Azevedo - Orientadora
UFMG


Prof. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega
UFMG


Prof. Leonardo Cristóvão Rocha
UFSJ

Belo Horizonte, 07 de maio de 2018.

*Aos meus pais, exemplo de força e caráter,
Ao Fernando Pizani, suporte emocional da minha vida,
dedico.*

*“Mesmo que a rota da minha vida me leve a uma estrela,
nem por isso fui dispensado de percorrer os caminhos do mundo”*

José de Saramago (A Jangada de Pedra)

AGRADECIMENTOS

De todos aqueles a quem devo agradecimentos, certamente o maior é a Ele que é digno de toda honra e toda glória: a nós o trabalho, a Deus o sucesso.

Aos meus pais, Geraldo e Terezinha, que investiram em meus sonhos e me proporcionaram a melhor educação moral e ética possível para que eu os alcançasse. Vocês me indicaram o mais perfeito caminho a seguir.

Aos meus irmãos Flávia, Fabio e Filipe por serem meus companheiros de vida e parte de mim. Minha vida só faz sentido com vocês por perto.

Ao meu marido Fernando Pizani por ser meu parceiro e por me apoiar nos momentos mais difíceis, que não foram raros. Obrigada por acreditar em mim, por me dar forças e por me acompanhar nesta jornada, cruzando comigo a reta de chegada. Eu amo você.

Aos professores do IGC, por todo ensinamento. À Banca Examinadora, por aceitar o convite e pelas importantes contribuições. Aos colegas de classe pelas experiências compartilhadas ao longo destes dois anos. Em especial, ao grupo Esquerda Modelagem.

À minha orientadora e amiga, Prof^a. Dr^a. Úrsula Ruchkys de Azevedo pelos ensinamentos e instruções desde 2013. Você é um exemplo de profissional que eu acredito e a pessoa em quem eu me espelho.

À UFMG, em especial ao Instituto de Geociências, que abriu suas portas com tanto carinho para que eu pudesse realizar um dos meus mais antigos sonhos.

Aos amigos mais próximos que me acompanharam durante todo este período.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudos em nível de mestrado.

Enfim, a todos que acreditaram em mim, muito obrigada. Vocês me motivaram. E aos que duvidaram de mim, muito obrigada. Vocês me motivaram também.

RESUMO

A beleza paisagística de ambientes naturais tem atraído cada vez mais turistas interessados nos recursos proporcionados pela natureza. Este fato tem contribuído na promoção de atividades turísticas, alavancando de forma indireta a economia. De forma direta, o uso dos recursos naturais tem sua parcela no desenvolvimento econômico por meio da exploração mineral. Em ambientes de rica geodiversidade é importante compatibilizar as atividades de exploração direta com a conservação. A Estrada Real é um conjunto de quatro vias abertas que surgiu entre os séculos XVII e XVIII para ligar o litoral às terras do interior de Minas Gerais em decorrência, primeiramente, da descoberta de veios auríferos na região e, por conseguinte, dos veios diamantíferos. Seu trecho no Estado de Minas Gerais tem grande relevância tanto em relação a seus valores patrimoniais quanto para a mineração. Este contexto revela a necessidade de planejar e organizar o território de forma integrada. Uma das formas de trabalhar este ordenamento se dá por meio da modelagem que tem se mostrado uma ferramenta eficaz no que tange a indicação de potencialidades e limitações do espaço. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo modelar um cenário integrado de forma a indicar áreas prioritárias para geoconservação e para mineração na porção centro-norte do Caminho dos Diamantes, parte integrante da Estrada Real. Para tanto, por meio de álgebra de mapas foi proposto um cenário favorável ao desenvolvimento da mineração e outro cenário favorável para a geoconservação. Para a construção dos cenários foram utilizadas diferentes variáveis considerando, inclusive, aspectos legais. De posse dos dois cenários foi realizada uma análise combinatória que gerou um cenário integrado considerando tanto a mineração como a geoconservação. O resultado final é um mapa que representa um cenário integrado classificado de maneira qualitativa. O território configura, em sua maior parcela, regiões com potencial de transformação, além de outras áreas que indicam aptidão para geoconservação, mineração e combinação de ambas. Acredita-se que esse trabalho possa servir de referência para os municípios trabalhados no sentido de auxiliar na gestão do território buscando compatibilizar as atividades de mineração com a geoconservação.

Palavras-chave: Modelagem; Geoconservação; Exploração mineral; Geodiversidade.

ABSTRACT

The scenic beauty of natural environments has attracted many urban tourists interested in the resources provided by nature. This fact has contributed in the promotion of tourist activities, indirectly leveraging the economy. Directly, the use of natural resources has its share in economic development through mineral exploration. In environments with rich geodiversity it is important to reconcile mineral exploration activities with conservation. The Estrada Real is a four-way set that emerged between the XVII and XVIII centuries to connect the coast to the lands of the interior of Minas Gerais, as a result of the discovery of gold in the region and, consequently, of the diamond. Its part in the State of Minas Gerais has great relevance both for relation to its heritages and mining values. This context reveals the need to plan and organize the territory in an integrated way. The Estrada Real in the State of Minas Gerais has great relevance both in relation to its assets or the mining values. This context reveals the need to plan and organize the territory in an integrated way. A way of working this order is through modeling that has been shown to be an effective tool in terms of the potentialities and limitations of space. In this context, this study aims to model an integrated scenario in order to indicate priority areas for geoconservation and for mining in the north-central portion of the Caminho dos Diamantes, an integral part of the Estrada Real. Therefore, through a map algebra, a favorable scenario was proposed for the development of mining and another favorable scenario for geoconservation. For the construction of the scenarios, different variables were used, including legal aspects. With the two scenarios, a combinatorial analysis was performed that generated an integrated scenario considering both mining and geoconservation. The final result is a map that represents an integrated scenario classified qualitatively. The territory constitutes, mostly, regions with potential of transformation, besides other areas that indicate aptitude for geoconservation, mining and combination of both. It is believed that this work can serve as a reference for the counties in the sense of assist in the management of the territory, seeking to reconcile mining activities with geoconservation.

Key-words: Modeling; Geoconservation; Mining exploration; Geodiversity.

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APE	Área de Proteção Especial
APP	Área de Preservação Permanente
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia Nacional de Pesquisa Mineral
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IER	Instituto Estrada Real
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
MONA	Monumento Nacional
PAR	Parque (Municipal / Estadual / Nacional)
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RVS	Refúgio de Vida Silvestre
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGEP	Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico das Américas 2000
SRTM	<i>Suttle Radar Topographic Mission</i>
UC	Unidade de Conservação
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais aplicações da geodiversidade	17
Figura 2: Localização da área de estudo.....	25
Figura 3: Características estratigráficas do Setor Meridional da Serra do Espinhaço.....	28
Figura 4: Padrões de relevo da área de estudo.....	30
Figura 5: Hipsometria da área de estudo	31
Figura 6: Mapa de declividade	32
Figura 7: Mapa pedológico da área de estudo	33
Figura 8: Mapa hidrográfico da área de estudo	34
Figura 9: Mapa de classes climáticas da área de estudo.....	35
Figura 10: Fluxograma das etapas metodológicas.....	37
Figura 11: a) Densidade espacial de estruturas geológicas; b) Densidade espacial de hidrografia; c) Densidade espacial de cavidades naturais	40
Figura 12: Mapa de áreas urbanas	42
Figura 13: Mapa das áreas de preservação permanente – Nascente.....	43
Figura 14: Mapa das áreas de preservação permanente - Curso d'água.....	44
Figura 15: Mapa das áreas de preservação permanente - Topo de morro	44
Figura 16: Mapa das áreas de unidades de conservação	45
Figura 17: Mapa das áreas dos processos minerários.....	48
Figura 18: Mapa de ocorrência de recursos minerais	48
Figura 19: Mapa das principais rodovias de acesso	49
Figura 20: Mapa de ocorrência de afloramentos geológicos.....	51
Figura 21: Pontos de observação da geodiversidade - Visibilidade	52
Figura 22: Mapa de atrativos turísticos	53
Figura 23: a) Litologia; b) Proximidade de vias de acesso; c) Proximidade de processos minerários; d) Proximidade de recursos minerais	57
Figura 24: a) Proximidade de atrativos turísticos; b) Proximidade de unidades de conservação; c) Proximidade de afloramentos geológicos; d) Pontos de observação de visibilidade	60
Figura 25: Geodiversidade da porção centro-norte do Caminho dos Diamantes.....	61
Figura 26: Localização dos geossítios da SIGEP na área de estudo	63
Figura 27: a) Principais sítios onde ocorre o Conglomerado Sopa no Distrito Diamantífero de Diamantina; b) Lavra abandonada de diamantes no Conglomerado Sopa; c,d) Detalhamento do Conglomerado Sopa	64

Figura 28: a) Vista de oeste para leste do maciço quartzítico com o Pico do Itambé; b) Em destaque, o Pico do Itambé retratado na visão de naturalistas europeus em 1828; c) Trilha de acesso ao Pico do Itambé; d) Pequeno sítio encontrado na área do Parque	65
Figura 29: Potencialidade para áreas de exploração mineral	66
Figura 30: Potencialidade para áreas de geoconservação.....	68
Figura 31: Cenário integrado.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das variáveis escolhidas para o cálculo do índice de geodiversidade.....	39
Tabela 2: Regras de decisão – cenário minerário	49
Tabela 3: Regras de decisão – cenário geoconservação	53
Tabela 4: Pesos e notas para o cenário minerário.....	54
Tabela 5: Pesos e notas para o cenário de geoconservação	58
Tabela 6: Matriz da síntese de aptidão para geoconservação e mineração	69
Tabela 7: Correspondência entre valores e classes do cenário integrado.....	69
Tabela 8: Área correspondente às classes que compõem o cenário integrado	70

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE SIGLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS	12
1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Geodiversidade.....	16
2.2. Patrimônio geológico e geoconservação	18
2.3. Geoturismo	20
2.4. Modelagem de dados espaciais aplicados à geodiversidade	22
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
3.1. Aspectos geológicos.....	26
3.2. Aspectos geomorfológicos e padrões de relevo	29
3.3. Solos.....	32
3.4. Hidrografia	33
3.5. Clima	34
4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	36
4.1. Materiais utilizados	36
4.2. Metodologia	37
4.2.1. Levantamento bibliográfico e cartográfico	38
4.2.2. Tratamento de dados	38
4.2.3. Modelagem do Índice de Geodiversidade.....	38
4.2.4. Análise multicritérios.....	41
4.2.5. Construção de cenários	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1. Índice de geodiversidade.....	61
5.2. Cenário de mineração.....	66
5.3. Cenário de geoconservação.....	67
5.4. Cenário integrado	69
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	81

1. INTRODUÇÃO

A beleza paisagística de ambientes naturais tem, gradativamente, atraído turistas interessados nos recursos proporcionados pela natureza por diferentes motivos. Esta busca pelas riquezas e diversidades naturais de diferentes patrimônios, material ou imaterial, pode contribuir no uso econômico de um determinado local por meio da promoção do ecoturismo e do geoturismo. Os ambientes naturais também podem contribuir na economia de uma região por meio do uso direto dos recursos oferecidos por ele, como é o caso da exploração mineral. O elevado potencial minerário presente em várias regiões do país exige ações e iniciativas que garantam o equilíbrio entre uso dos recursos e a conservação ambiental.

Desta forma, é possível afirmar que o uso de recursos naturais tem se expandido e, com ele, a necessidade de planejar e organizar o território de forma integrada. Para tanto, a modelagem tem se mostrado uma ferramenta eficaz tendo em vista a indicação de potencialidades e limitações do espaço.

Localizada nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, a Estrada Real compreende uma distância de mais de 1.630 km de extensão, perpassa 87 cidades e distritos e é considerada a maior rota turística do país. A Estrada Real é constituída por um conjunto de quatro vias abertas e teve seu surgimento entre os séculos XVII e XVIII para ligar o litoral às terras do interior de Minas Gerais em decorrência, primeiramente, da descoberta de veios auríferos na região e, por conseguinte, dos veios diamantíferos.

O Caminho dos Diamantes está inserido no contexto da Estrada Real e é uma das quatro vias que a constituem. Este caminho foi oficialmente instituído pela Coroa Portuguesa em função da descoberta do diamante na região e faz a ligação entre os municípios de Ouro Preto e Diamantina, passando pela Reserva da Biosfera do Espinhaço. A utilização deste caminho se deu após meados do século XVIII quando os diamantes extraídos na região de Diamantina mudou o prisma econômico de Brasil e Portugal que tinha sua economia pautada na mineração aurífera. Nesta época, foram descobertos diamantes na região de Arraial do Tejuco, atual Diamantina, em Serro Frio e nas regiões dos rios Jequitinhonha, Araçuaí, Pardo, Paraúna entre outros tributários de menor expressão (PAULA e CASTRO, 2018) como nas proximidades dos rios que drenam a Serra do Espinhaço e nos metaconglomerados da Formação Sopa-Brumadinho (ABREU e RENGER, 2001).

A porção centro-norte deste Caminho é composta por 32 municípios e se destaca pela sua bela paisagem, contendo uma rica diversidade geológica. Esta porção, com aproximadamente 20.977,84 km² de extensão superficial, conta com importantes patrimônios

naturais, histórico-culturais, arquitetônicos, entre outros atributos que auxiliam a dinâmica turística e a implantação de diversas atividades econômicas dentro deste segmento. As atividades minerárias, com os séculos de exploração, também ocasionaram um legado patrimonial significativo. Trata-se de uma atividade marcante no país, sobretudo em Minas Gerais.

Tendo em vista sua vasta diversidade natural e as atividades econômicas inseridas ao longo da Estrada Real fica evidente a necessidade de implementação de práticas para o ordenamento deste território uma vez que os recursos da geodiversidade podem, por seus valores, proporcionar usos que são antagônicos ou que causam conflito de interesse. Este é o caso do uso dos recursos para o turismo (com ênfase no patrimônio associado à geodiversidade) e para a extração minerária.

O objetivo desta pesquisa é indicar e classificar as áreas prioritárias para a conservação dos recursos da geodiversidade e para a mineração da porção centro-norte do Caminho dos Diamantes, parte da Estrada Real. Para tanto, este trabalho realiza uma modelagem de dados mediante procedimentos de álgebra de mapas e análise combinatória, considerando os panoramas favoráveis para a mineração e a geoconservação. Entende-se como potencial implicação desta pesquisa, o subsídio a gestão dos municípios inseridos nesta porção, de forma a auxiliar em seu planejamento e ordenação territorial tendo em vista o conflito no uso de recursos naturais.

Este é o primeiro trabalho a aplicar este método em uma porção da Estrada Real. O procedimento de avaliação é predominantemente baseado na análise de dados espaciais digitais em sistemas de informação geográfica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Geodiversidade

O termo "Geodiversidades" foi criado na década de 1940 pelo geógrafo argentino Frederico Alberto Daus no contexto da geografia cultural para se referir ao mosaico de paisagens e diversidades culturais do espaço geográfico e as complexidades territoriais em diferentes escalas (locais, distritos e regiões) relacionadas aos habitats humanos (SERRANO & RUIZ-FLAÑO, 2007).

A visão moderna de geodiversidade é relativamente jovem, tendo surgido a partir da década de 1990 e, embora recente, já está bastante desenvolvida e discutida (GRAY, 2004; RUBAN, 2010). Desde então tem ganhado aceitação em nível mundial. Pode ser definida como a variabilidade dos materiais da superfície da Terra, formas, e processos físicos (GRAY, 2013).

Da mesma forma que a biodiversidade corresponde à diversidade da natureza viva, a geodiversidade corresponde à variedade de estruturas (sedimentares, tectônicas, geomorfológicas e petrológicas) e materiais geológicos (minerais, rochas, fósseis e solos), que constituem o substrato físico natural de uma região que suporta a biodiversidade. A geodiversidade é o suporte físico dos ecossistemas e da sua biodiversidade e também pode ser entendida como sendo um dos seus principais promotores (RUCHKYS, MACHADO e CACHÃO, 2012).

No contexto brasileiro, Silva et al. (2008) ressalta que os estudos envolvendo a geodiversidade ainda não têm o mesmo destaque que os estudos que envolvem a biodiversidade. Estudos de biodiversidade apresentam um número de publicações científicas consideravelmente superior se comparado aos estudos de geodiversidade (MANOSSO, 2012). Sob este aspecto, relacionar os conceitos de biodiversidade e geodiversidade torna-se uma estratégia que contribui para a compreensão da sociedade acerca do tema e alerta-a sobre a importância da conservação destes elementos (MEIRA e MORAIS, 2016). Entretanto, a biodiversidade é dependente direta da geodiversidade uma vez que os elementos abióticos, como as rochas, o relevo e o clima, fornecem as condições necessárias para a formação do solo de forma a contribuir com o desenvolvimento do meio biótico da Terra (SILVA et al., 2008). Tanto a biodiversidade quanto a geodiversidade de um território podem ser consideradas fatores estratégicos à gestão governamental.

Para o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a geodiversidade é um estudo do meio físico, tendo em vista a natureza abiótica. De acordo com o órgão, a geodiversidade

é constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos, águas e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico (Silva et al., 2008).

O órgão ainda destaca a importância dos estudos que compreendem a geodiversidade, uma vez seu conhecimento nos conduz a identificação de potencialidades e limitações do meio físico. A geodiversidade, então, pode ser empregada como um instrumento eficaz no planejamento, gestão e ordenação territorial, bem como nos estudos que envolvem a geoconservação e o geoturismo (Figura 1). O conceito de geodiversidade vem se desenvolvendo e, com ele, a evolução de sua aplicabilidade.

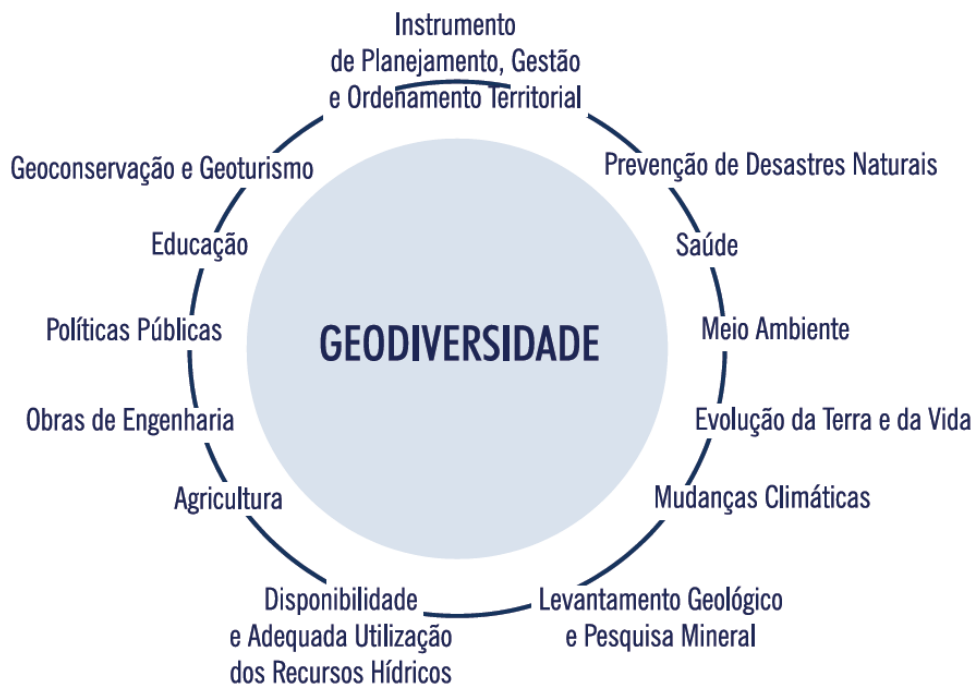


Figura 1: Principais aplicações da geodiversidade

Fonte: Silva et al. (2008)

Silva et al. (2008) elucidam as principais aplicações da geodiversidade nos estudos das geociências: como instrumento de planejamento, gestão e ordenamento territorial, os elementos da geodiversidade são analisados como um todo entretanto, a geologia se apresenta como arcabouço dos demais elementos, que se relacionam e dependem diretamente dela. Seus

resultados objetivam subsidiar os territórios especialmente em relação a atividades econômicas, como exploração mineral, o aproveitamento do potencial geoturístico, entre outras.

Os elementos da geodiversidade que integram o patrimônio geológico e que desfrutam de algum reconhecimento valoral, seja ele econômico ou não, necessitam de ações de proteção e conservação (BRILHA, 2005). Para que seja possível planejar e ordenar um território, gerir e implementar programas de educação ambiental otimizando de forma sólida projetos de desenvolvimento local dentro das mais diversas áreas de estudo é necessário compreender com clareza todos os conceitos atrelados à geodiversidade. (NASCIMENTO, MANSUR e MOREIRA, 2015). Além disso, os termos patrimônio geológico, geoconservação e geodiversidade são praticamente inseparáveis (SERRANO & RUIZ-FLAÑO, 2007).

2.2. Patrimônio geológico e geoconservação

Um elemento para ser reconhecido como patrimônio necessita de legitimidade para ser entendido como tal, bem como necessita de alguma significância no âmbito popular (MANOSSO, 2012). As qualificações relacionadas ao patrimônio têm divisões pautadas em construções históricas e são estabelecidas por categorias de pensamento, como economia, cultura, natureza, etc. (GONÇALVES, 2009).

Apesar de relacionado, o conceito de patrimônio geológico se diferencia do conceito de geodiversidade estabelecido por diferentes autores. O patrimônio geológico ou geopatrimônio é o valor patrimonial da geodiversidade (NASCIMENTO, MANSUR e MOREIRA, 2015) e inclui os sítios geológicos – elementos da geodiversidade, também conhecidos como geossítios – que foram submetidos à caracterização e inventariação em algum determinado espaço geográfico (BRILHA, 2005).

Nieto (2002) resume o conceito de patrimônio geológico a elementos constituídos por recursos naturais, não renováveis, sejam rochas, estruturas, sedimentos, formas, minerais, entre outros conjuntos de formações geológicas que agreguem valor científico, cultural ou recreativo. Pereira, Rios e Garcia (2016) entendem como patrimônio geológico parte dos elementos que constituem a geodiversidade dotados de algum valor e significância na história e evolução da Terra. Para o autor, o estudo deste patrimônio tem conferido grande importância para as geociências, além de subsidiar a conservação de fatores que agregam reconhecimento, seja científico, cultural, turístico, etc.

Pode-se entender que o patrimônio geológico consiste em elementos que compõem a geodiversidade e a biodiversidade que necessitam de ações de proteção e conservação de forma a garantir o usufruto de suas características oferecidas por eles no futuro (MEIRA e MORAIS, 2016).

Em uma iniciativa que teve seu começo em 1997, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) criou o Programa de Geoparques da UNESCO com o intuito de proteger e promover o patrimônio geológico por meio do desenvolvimento econômico sustentável de cada território (ZOUROS, 2004). Desta forma, a UNESCO estabelece para este programa as instruções necessárias para a conservação do patrimônio geológico, tendo em vista atividades que possam ser desenvolvidas conjuntamente à sua proteção, dentre eles, o geoturismo (RUCHKYS, 2007).

Neste contexto, a geoconservação tem como objetivo proteger a parcela significativa da geodiversidade reconhecendo que os componentes abióticos da natureza tem também um valor patrimonial. Medidas e ações de geoconservação buscam promover a gestão da geodiversidade minimizando ou prevenindo a degradação de seus elementos importantes que tenham valor além dos econômicos (SHARPLES, 2002).

Para Nascimento, Mansur e Moreira (2015), o conceito de geoconservação se define, de uma forma genérica, pela capacidade de contemplar as mais diferentes ações referentes à gestão do patrimônio geológico. Trata-se da forma de conservar os elementos relevantes a geodiversidade (PEREIRA, 2013).

O patrimônio geológico, em qualquer escala, deve ser conservado. Como ressaltado anteriormente, as publicações científicas que abarcam a biodiversidade são consideravelmente superiores àquelas que envolvem a geodiversidade. Este fato reforça a ideia de que a conservação da biodiversidade seja mais importante do que a conservação da geodiversidade, quando ambas são necessárias.

As ameaças à geodiversidade tem, em sua maioria, origem nas atividades antrópicas, direta ou indiretamente, seja pela exploração dos recursos naturais, seja pelas atividades turísticas (BRILHA, 2005). A exploração mineral é uma atividade de extrema importância para a economia brasileira. De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2017), o principal substrato exportado pelo Brasil em 2016 foi o minério de ferro, correspondendo a 62% das exportações. Entretanto, trata-se de uma atividade de grande impacto na natureza e de grande risco/destruição à geodiversidade (no nível de paisagem e no nível do afloramento) em função da extração de seus recursos (BRILHA, 2005).

Farias (2002) classifica os principais impactos ambientais originários da mineração em quatro distintos grupos: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora e subsidência do terreno. O autor destaca que os impactos causados pelas atividades de extração mineral causam conflitos sócioambientais devido à falta de estratégias de intervenção em reconhecimento dos interesses dos envolvidos. Neste contexto, tornam-se necessários estudos que compreendam a geodiversidade. Eles podem subsidiar de forma eficaz no planejamento e ordenamento de territórios por meio de aportes técnicos para a mineração de forma a contribuir em mapeamentos de variáveis ambientais, resultando no aumento de reservas e de produtividade do setor, além de favorecer a adoção de modelos sustentáveis (SILVA et al., 2008).

Todas as atividades de cunho econômico, bem como ambiental e sócio-cultural, devem contribuir positivamente para o bem estar da sociedade tendo em vista seu desenvolvimento sustentável (BRILHA, 2005). Em relação ao uso econômico da geodiversidade com foco nas atividades turísticas, Lopes, Araújo e Castro (2011) destacam a importância deste na expansão da oferta de empregos e renda, além do auxílio ao turista no provimento de serviços e produtos.

Moreira (2014) ressalta o constante desenvolvimento do turismo de natureza em prol do interesse comum da sociedade em temas de cunho ambiental, mas também aponta a obrigatoriedade do turismo (seja qual for sua segmentação) em praticar ações de sustentabilidade. Se o turismo utiliza recursos da geodiversidade e depende da conservação ambiental para que mais pessoas sejam atraídas, ele necessariamente deve ser sustentável. E, para que o turismo seja sustentável, é necessário planejamento e implantação de práticas que desenvolvam a geoconservação. Neste contexto, destaca-se o geoturismo que tem na geodiversidade os principais atrativos e produtos voltados para a compreensão da paisagem (MANOSSO, 2012).

2.3. Geoturismo

O termo geoturismo, apesar de recente, tem sido estudado por alguns pesquisadores desde o século passado (HOSE, 1995; BRILHA, 2005; LICCARDO, MANTESSO-NETO e PIEKARZ, 2010; MANOSSO, 2012). Trata-se de um segmento do turismo e seu conceito tem se desenvolvido com o passar dos anos. Cada vez mais estudos tem dado atenção a este tema. Desta forma, primeiramente, se faz necessário compreender os aspectos que envolvem este conceito.

Adamy (2010) define o geoturismo como o turismo de caráter ecológico composto por atrativos de natureza geológica e suas informações. O geoturismo se aproxima fortemente do ecoturismo e apresenta algumas características deste segmento. Entretanto, eles se diferenciam uma vez que o geoturismo se baseia nos elementos da geodiversidade e o ecoturismo nos elementos de origem biótica (NASCIMENTO, RUCHKYS e MANTESSO-NETO, 2007).

Para Downling (2008), o geoturismo tem sua atratividade baseada nas feições geológicas da Terra e pode ser caracterizado como um segmento do turismo necessariamente sustentável, onde haja benefício à comunidade local e que vise a valorização, compreensão da paisagem e conservação tanto ambiental quanto cultural.

Liccardo, Mantesso-Neto e Piekarz (2010) apresentam dois conceitos para geoturismo: o primeiro tem base na geologia e foi definido por Hose (1995), que afirma o geoturismo como uma proposta a “facilitar o entendimento e fornecer facilidades de serviços para que turistas adquiram conhecimentos de geologia e geomorfologia de um lugar, indo além de meros espectadores”. O segundo tem como base a geografia humana e foi estabelecido em 2001 pela National Geographic Traveler. De acordo com o autor, o conceito retratado de geoturismo pode ser definido como “o turismo que sustenta ou contribui para melhorar as características geográficas de um lugar, sejam elas o meio-ambiente, patrimônio histórico, aspectos estéticos, cultura e o bem-estar de seus habitantes”. Este segundo conceito obteve críticas por ignorar conceitos estabelecidos anteriormente e se particulariza por não conceituar o geoturismo como um segmento que se associa, sobretudo, aos elementos geológicos e geomorfológicos (LOPES, ARAÚJO e CASTRO, 2011).

Para Ruchkys (2007), o geoturismo se define por ser

um segmento da atividade turística que tem o patrimônio geológico como seu principal atrativo e busca sua proteção por meio da conservação de seus recursos e da sensibilização do turista e, a partir da utilização da interpretação desse patrimônio, torna-o acessível ao público leigo, além de promover sua divulgação e o desenvolvimento das ciências da Terra (RUCHKYS, 2007).

Tendo em vista este conceito, é possível afirmar que os recursos da geodiversidade são de fundamental importância para o desenvolvimento do geoturismo uma vez que suas atividades utilizam destes elementos para atrair os turistas. E para que estes recursos sejam atrativos, eles precisam ser conservados. É necessário que um local geoturístico ou um local com potencial para o desenvolvimento de tal segmento disponha de estratégias

geoconservacionistas a fim de garantir a sustentabilidade do patrimônio geológico (BRILHA, 2005).

O geoturismo é um instrumento que, aliado à conservação do patrimônio geológico, se mostra de alta relevância, devendo ser respeitado, aperfeiçoado e apresentado de forma a educar a sociedade, posto que os valores atrelados ao geopatrimônio nem sempre são percebidos como algo fundamental para a conservação. Este segmento do turismo pode ser compreendido como uma estratégia de desenvolvimento econômico e sustentabilidade (JORGE e GUERRA, 2016).

2.4. Modelagem de dados espaciais aplicados à geodiversidade

Modelagem de dados espaciais se trata da arte construir modelos de forma com que o mundo real seja simplificado em uma série de sistemas a fim de possibilitar a interpretação de características necessárias a determinados setores (SOARES-FILHO, 2000). De acordo com Borges e Davis (2004) um modelo de dados tem por objetivo “sistematizar o entendimento que é desenvolvido a respeito de objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado”.

Para Goldbarg e Luna (2000), o conceito de modelo se caracteriza por ir além de representações da realidade simplificada, mas também por preservar uma correspondência de acordo com a realidade. Entretanto, trabalhar dados espaciais vai além de, simplesmente, descrever ou simplificar a realidade: requer compreensão da configuração espacial, pois o espaço geográfico sofre constantes modificações (LIMA, BARROSO e MUZZARELLI, 2003).

A modelagem apoiada em SIG's tem possibilitado de forma progressiva o auxílio ao planejamento e ordenamento de diferentes territórios. A literatura acerca do potencial de aplicação da modelagem de sistemas ambientais para os diferentes setores é crescente e seus procedimentos operacionais se acentuam tendo em vista as novas tecnologias evidenciadas com os SIG's (CHRISTOFOLETTI, 1999).

O mapeamento da geodiversidade é relevante para os cientistas, já que fornece uma base para seus estudos, e para o público em geral tanto para ampliar seu conhecimento ambiental como para proporcionar oportunidades de recreação ao ar livre (RUBAN, 2010). Tanto a abordagem qualitativa como quantitativa são importantes, embora os métodos de análise sejam diferenciados bem como suas aplicações mais diretas: gestão territorial, geoconservação, uso geoturístico ou educativo. O estudo da geodiversidade não se limita a

essas aplicações, sendo que alguns pesquisadores sustentam sua inclusão na gestão de ecossistemas e na prestação de serviços ecossistêmicos (GORDON, et al. 2011).

A avaliação quantitativa e qualitativa da geodiversidade tornou-se uma prioridade primordial em muitos países e serve diferentes finalidades (NECHES, 2016). A possibilidade de medir e quantificar a geodiversidade foi discutida desde as primeiras referências e desde então vários métodos foram propostos, dentre os mais populares está aquele proposto por Serrano e Ruiz-Flaño (2007).

Essa avaliação, de caráter quantitativo, é realizada com o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O mapeamento da distribuição espacial da geodiversidade auxilia na indicação de áreas prioritárias para conservação devendo ser usada em todos os níveis de governança (RUBAN, 2010; PELLITERO et al, 2011). No Brasil, esses índices foram aplicados por autores como Manosso e Ondicol (2012); Goulart et al (2014) e; Pereira e Ruchkys (2016).

Em 2006, a CPRM trabalhou na geração de um mapa de geodiversidade do território brasileiro. Em sequência, no ano de 2010, o estado de Minas Gerais ganhou também seu mapa de geodiversidade, pelo mesmo órgão. Para a confecção destes mapas, a CPRM utilizou plataformas de Sistemas de Informação Geográficas (SIG) combinando dados de geologia, hidrografia, altimetria e demais pontos de interesse para a geodiversidade (SENA, 2015).

Manosso (2012) foi um dos pioneiros no país em estudos da quantificação da geodiversidade. Em sua pesquisa, o autor trabalhou as relações entre a estrutura geoecológica, geodiversidade e geoturismo na região da Serra do Cadeado, localizada no Estado do Paraná. O trabalho utiliza o índice de riqueza de geodiversidade proposto pelos espanhóis Serrano e Ruiz Flaño (2007). Esta metodologia considera elementos das geodiversidade como geologia, geomorfologia, topografia, solo e hidrologia. A geodiversidade foi quantificada por meio de uma equação que calcula a razão entre a diversidade de elementos abióticos e a rugosidade do território estudado. A partir desta quantificação, Manosso (2012) estabeleceu uma relação entre a geodiversidade associada às potencialidades geoturísticas como um meio de valorização e conservação do patrimônio, tanto natural como científico.

Em relação aos estudos da modelagem dos elementos da geodiversidade com foco no geoturismo, Sena (2015) desenvolveu um estudo acerca do potencial geoturístico da região central da Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa-MG. O resultado final, que indica o potencial geoturístico da área, utilizou a modelagem dos dados do meio físico integrando o índice de geodiversidade, visibilidade, capilaridade e fragilidade do meio abiótico.

De acordo com Christofolletti (1999), os modelos de proposição de medidas e tomadas de decisões para subsídio ao planejamento ocorrem baseados em SIG's. A quantificação da modelagem no prisma da geodiversidade pode contribuir adequadamente para orientação de órgãos públicos e privados, tendo em vista o planejamento, buscando um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e conservação dos recursos naturais.

Como exemplo, Lopes (2015) desenvolveu um trabalho inovador para auxiliar as autoridades locais do município de São Thomé das Letras, em Minas Gerais, que resultou na construção de cenários territoriais a fim de integralizar atividades de exploração mineral e geoconservação. A construção dos dois cenários permitiu indicar áreas potenciais para mineração e geoconservação por meio de uma análise combinatória dos resultados, metodologia que será aplicada a este estudo de forma adaptada.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, com 20.977,84 km², corresponde à porção centro-norte do Caminho dos Diamantes e está inserida no contexto da Estrada Real – um conjunto de quatro vias abertas entre os séculos XVII e XVIII para ligar o litoral às terras do interior de Minas Gerais (Figura 2). Sua área de abrangência é constituída por 32 municípios que carregam a identidade e a influência da Estrada Real em sua história.

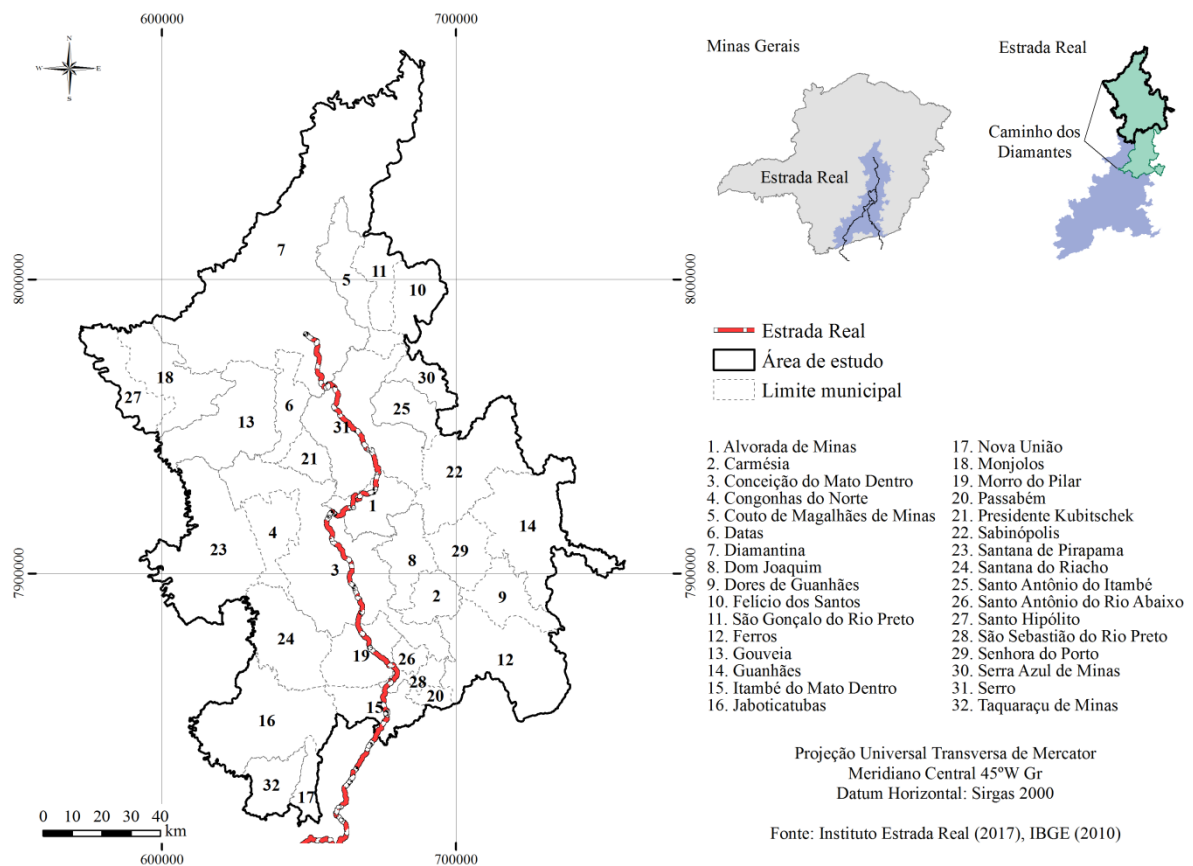


Figura 2: Localização da área de estudo

O Caminho dos Diamantes foi oficialmente instituído pela Coroa Portuguesa em função da descoberta do diamante e passou a ser utilizado após meados do século XVIII quando os diamantes extraídos na região de Diamantina mudou o prisma econômico de Brasil e Portugal que tinha sua economia pautada na mineração aurífera. Da Vila do Príncipe (Serro) partiam expedições que pesquisavam os cursos d'água em busca de novos depósitos levando ao surgimento de novos povoados (SANTOS, 2001).

A extração de diamantes na região teve início com lavras descobertas em fontes secundárias, sendo os primeiros registros de data incerta. As descobertas tornaram o Caminho

muito concorrido e de destaque no cenário regional, a Estrada Real passa a ter então seu prolongamento até Diamantina a partir de Vila Rica. O itinerário passava por Vila do Ribeirão do Carmo, Camargo, Inficionado, Catas Altas, Santa Bárbara, Cocais, Itambé do Mato Dentro, Conceição, Córregos, Itaponhoacanga, Vila do Príncipe, São Gonçalo, Milho Verde e Tijuco (SANTOS, 2001). O caminho correspondia, em tempos passados, às entradas na face meridional do Espinhaço mineiro e Alto Jequitinhonha.

A realidade econômica local remonta ao processo de colonização do país e à Estrada Real, onde o processo de ocupação deixou um legado de exploração dos recursos naturais marcante no território. A geodiversidade presente na Serra do Espinhaço caracterizou este sistema de ocupação que ocorreu, principalmente, em decorrência da exploração das riquezas minerais (DESENVOLVIMENTO..., 2017). A região da serra ainda apresenta grande importância em relação à produção mineral de Minas Gerais. Atualmente, o Estado é o mais importante minerador do País e o que mais possui reservas minerais (REZENDE, 2016).

O potencial cultural, científico, histórico, artístico, arquitetônico, paisagístico, arqueológico, gastronômico e turístico da região de abrangência da porção centro-norte do Caminho dos Diamantes é mundialmente conhecido por possuir incomparáveis valores que, por sua importante relevância, necessitam ser conservados. O caminho ainda conta com um potencial geomineiro significativo que pode, além de subsidiar a economia local por meio da mineração, fomentar o turismo tendo em vista seus recursos naturais e patrimônio geológico (PAULA e CASTRO, 2017).

Atualmente, o Instituto Estrada Real, criado no ano de 1999 pelo Sistema da Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG), gerencia todos os produtos de cunho turístico relativos à Estrada Real e oferece oportunidades para o desenvolvimento do turismo baseado no patrimônio mineiro e geológico (PAULA e CASTRO, 2016).

3.1. Aspectos geológicos

O contexto geológico da área de estudo engloba o embasamento, representado pelos Complexos Guanhães, Gouveia e Mantiqueira com gnaisses, migmatitos e ortognaisses bandados (NOCE et al., 2007) e por rochas do Supergrupo Espinhaço composto pelos Grupos Diamantina e Conselheiro Mata, constituídos por rochas sedimentares e metamórficas.

De acordo com Noce et al. (2007), o Complexo Guanhães pertence ao embasamento do Cráton São Francisco meridional, ao passo que o Complexo Gouveia ocorre no núcleo de

estrutura antiformal do Supergrupo Espinhaço e, juntamente com o Complexo Guanhães, assemelha-se ao arcabouço arqueano do Quadrilátero Ferrífero.

O Complexo Mantiqueira ocorre na borda cratônica em associação de corpos máficos e granitoides. Estes Complexos representam parte do embasamento do Cráton São Francisco retrabalhado no domínio orogênico (NOCE et al., 2007).

Segundo Chaves e Meneghetti Filho (2002), o Supergrupo Espinhaço pode ser descrito como “a unidade geológica de maior expressão que sustenta os domínios serranos”. De acordo com os mesmos autores, a província mineral diamantífera da Serra do Espinhaço abriga, na área de estudo desta pesquisa, o mais importante distrito diamantífero tendo em vista os aspectos históricos ou econômicos.

O Grupo Conselheiro Mata, destaca Knauer (2007), apresentam-se sequências metassedimentares que tem como base de sua constituição quartzitos, filitos, restritos conglomerados da Formação Santa Rita e quartzitos da Formação Córrego dos Borges.

Knauer (2007) apresenta em seu estudo as características estratigráficas do Setor Meridional da Serra do Espinhaço (região que contempla a porção centro-norte do Caminho dos Diamantes) conforme ilustra a Figura 3:

Quanto à extração de diamantes, conforme relatam Paula e Castro (2017), esta prática se deu em larga escala na Serra do Espinhaço em decorrência da mineração de ouro no início do século XVIII. Na área de estudo, especificamente, estes recursos minerais são ainda evidenciados, principalmente, na porção centro-norte e norte.

3.2. Aspectos geomorfológicos e padrões de relevo

O Caminho dos Diamantes margeia a Serra do Espinhaço com relevo montanhoso onde afloramentos quartzíticos sustentam os domínios serranos cobertos por campos rupestres. O relevo da área de estudo (Figura 4) é descrito por uma significativa parcela constituída por domínios montanhosos, principalmente nas regiões central e norte, intercalados com os domínios de morros e serras baixas, que se estende pela Serra do Espinhaço. No Estado de Minas Gerais, a Serra do Espinhaço Meridional se caracteriza por um conjunto significativo de terras altas com orientação convexa a oeste com superfícies aplainadas (SAADI, 1995).

As áreas inseridas no extremo norte do Caminho dos Diamantes (norte do município de Diamantina) são constituídas por chapadas, planaltos e platôs. Estas formas de relevo são caracterizadas pelos processos de pedogênese predominantemente associados à área. De acordo com Saadi (1995), o Planalto de Diamantina tem importante função nas drenagens dos rios São Francisco, Doce, Jequitinhonha e Araçuaí como ponto irradiador dos mesmos. Próximo ao município (nas altitudes entre 1250m e 1300m), Chaves, Andrade e Benitez (2013) destacam que a serra forma um divisor de águas com o topo nivelado por outra superfície de aplainamento. Segundo o mesmo autor, a superfície de aplainamento “Sul-Americana” ocorre a leste da serra, formando chapadas devido aos processos de erosão.

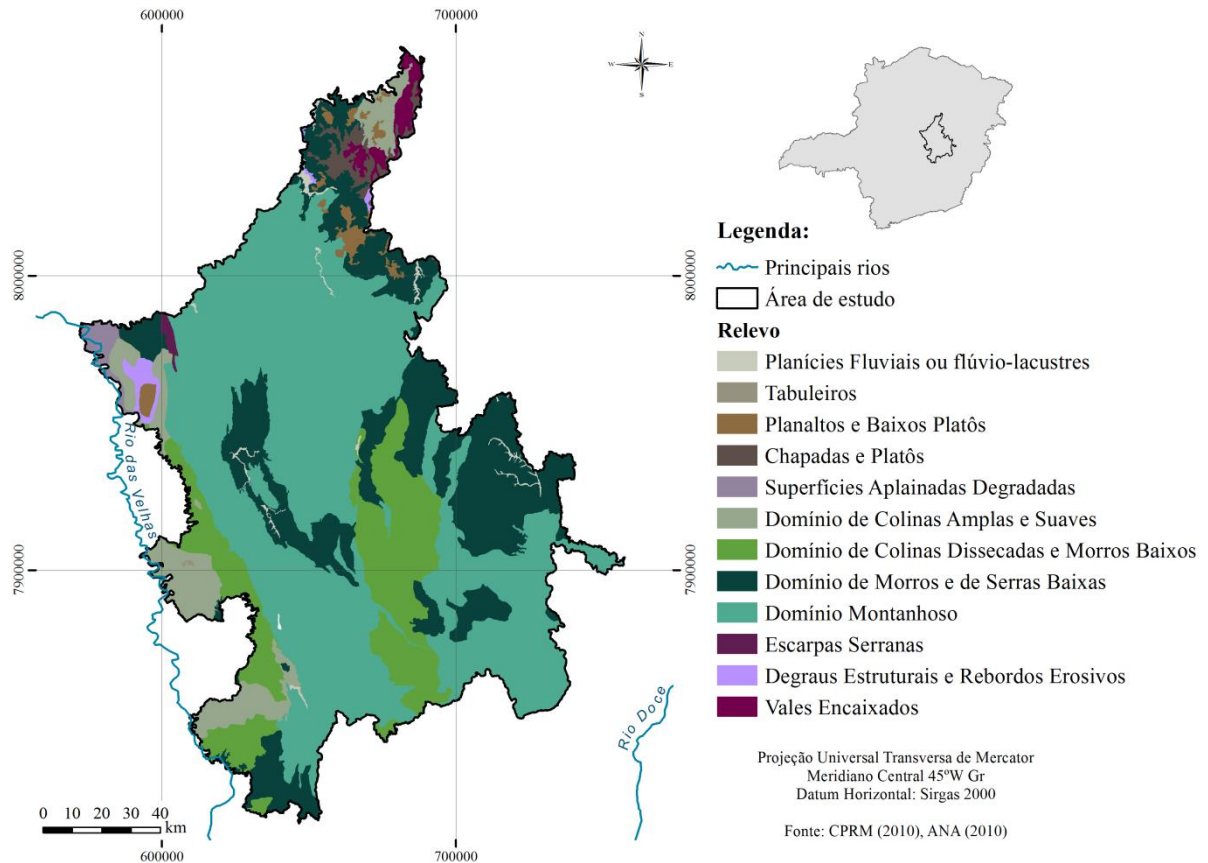


Figura 4: Padrões de relevo da área de estudo

A maior altitude encontrada na área de estudo registra cota de, aproximadamente, 2060m e está situada na Serra do Espinhaço, ao norte do município de Serro, no Pico do Itambé, conforme ilustra a Figura 5. As altitudes predominantes no Espinhaço Meridional estão compreendidas entre 1100m e 1200m (AUGUSTIN et al., 2011).

As cotas menos elevadas estão localizadas a sudeste da área de estudo, na calha do Rio Guanhões (situado no município de Dores de Guanhões) e está inserido no domínio de morros e serras baixas. A região possui formas de relevo característica de processos de dissecação fluvial sobre embasamento granito-gnáissico indiviso (PMDG, 2016).

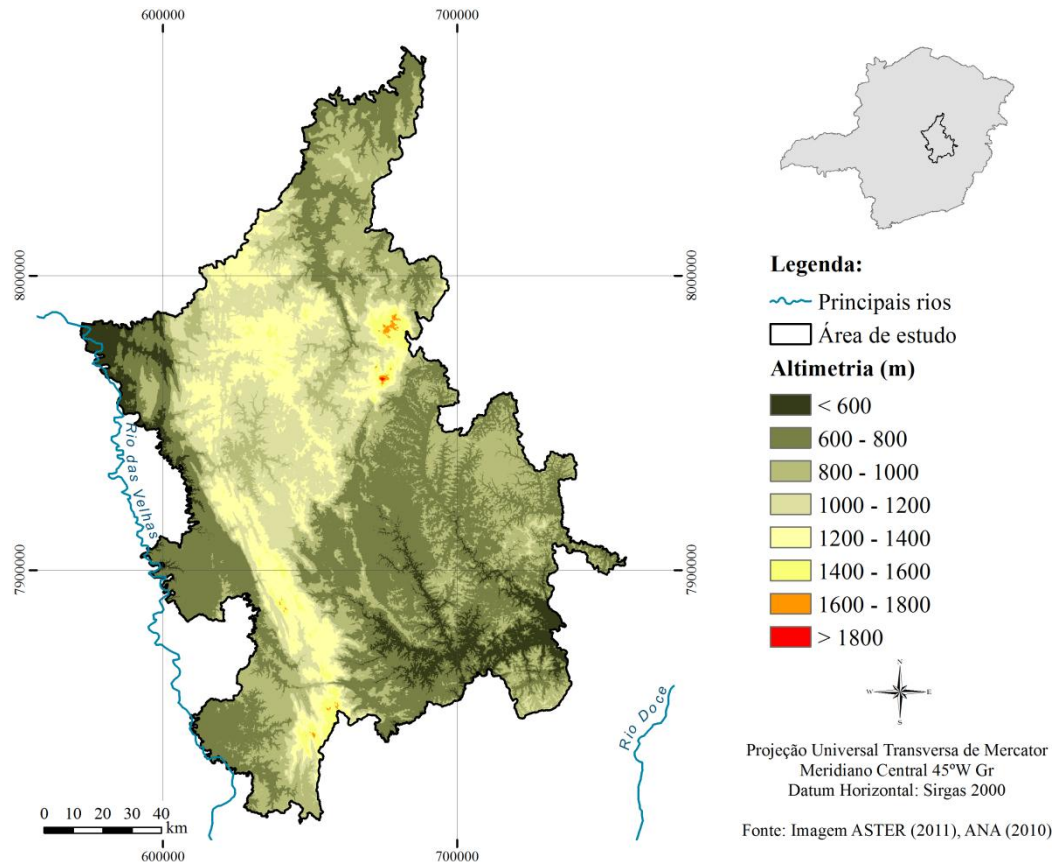


Figura 5: Hipsometria da área de estudo

A declividade da área (Figura 6), apresentada em graus, aponta o domínio de regiões com menores declividades situadas na porção ocidental da Serra do Espinhaço. Entretanto, ao sul da serra na área de estudo, observa-se bordas erosivas no contato entre os domínios do Cráton do São Francisco com o Orógeno Espinhaço com declividades acima de 12° (AUGUSTIN et al., 2011).

Regiões com acentuadas declividades também se caracterizam em áreas escarpadas associadas à borda leste do território. Na porção sudeste da serra encontra-se a Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio com grande concentração de altas declividades e alto potencial erosivo ao longo de suas encostas (RESENDE, EVANGELISTA e BUENO, 2016).

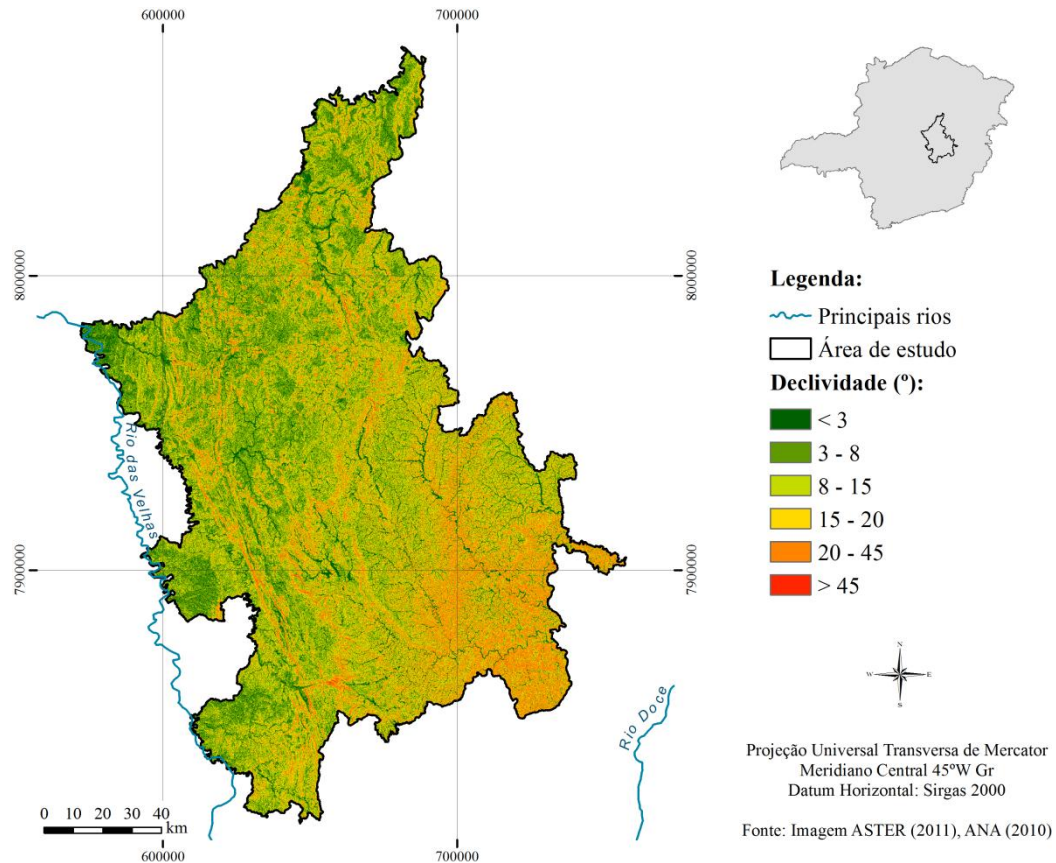


Figura 6: Mapa de declividade

3.3. Solos

O solo presente é diferenciado e pode ser caracterizado pela presença de argissolo, cambissolo e neossolo (Figura 7). A porção setentrional da área apresenta grandes afloramentos rochosos situados, principalmente, ao sul de Diamantina e Felício dos Santos; a norte do município de Serro e; na borda leste da Serra do Espinhaço, porção meridional da área de estudo.

Há a presença de cambissolo háplico em toda porção ocidental da área, extremo norte e parte da Serra do Espinhaço. A base da encosta da região serrana também pode ser descrita pela presença de neossolo litólico associados a quartzarênico. A maior parte da área de estudo apresenta latossolo vermelho (41% do território total), sendo esta também a área menos elevada, e está situada na porção leste. A área apresenta argissolo vermelho, que está presente em encostas íngremes e na porção dissecada da serra, à noroeste da área de estudo.

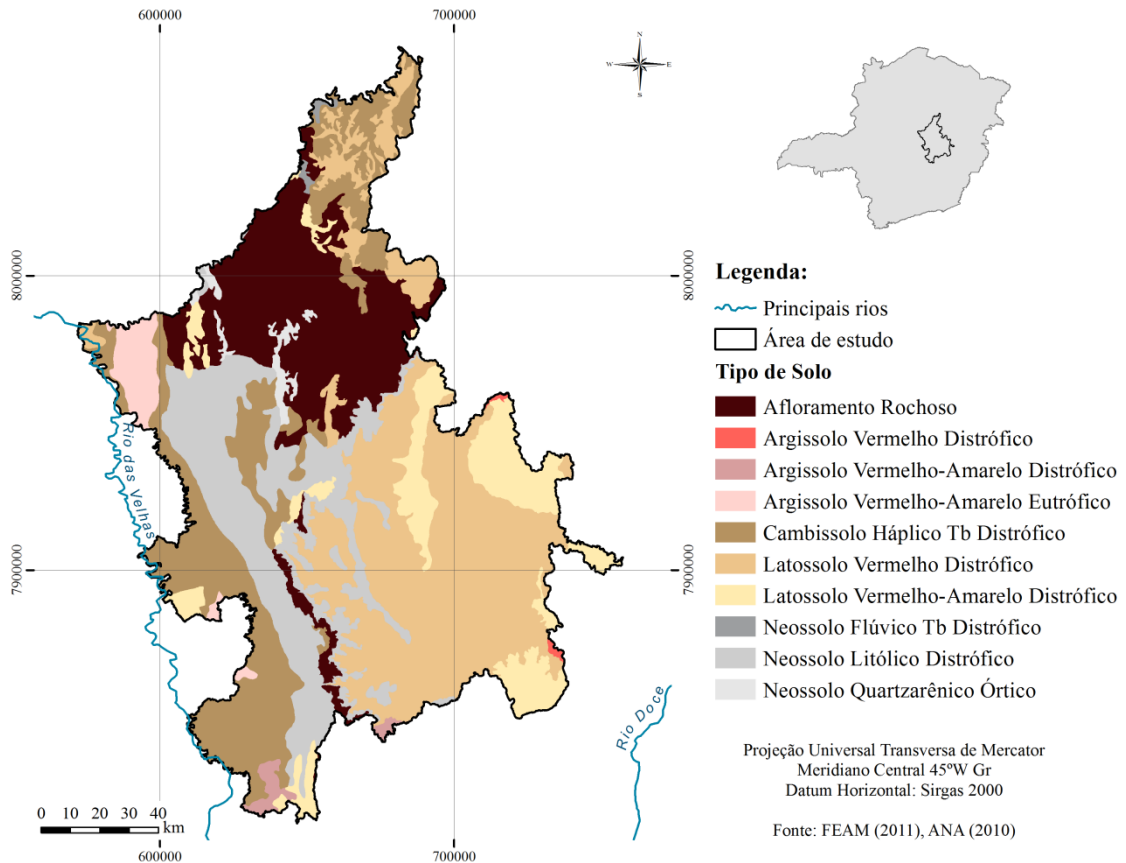


Figura 7: Mapa pedológico da área de estudo

3.4. Hidrografia

A área de estudo pertence a duas bacias hidrográficas, em nível nacional, conforme disponibiliza a Agência Nacional de Águas (2010): bacia do Atlântico Trecho Leste, compondo toda porção oriental, e bacia do São Francisco, compondo a porção ocidental (Figura 8).

A Serra do Espinhaço tem grande importância do ponto de vista hídrico abarcando as nascentes do rio Jequitinhonha, dos rios Guanhães e Peixe, onde encontra o rio Santo Antônio, afluente do Rio Doce. O formato e localização da serra influenciam diretamente na linha que delimita o escoamento do conjunto formado pelo Rio São Francisco e seus afluentes: ela exerce a função de divisor de águas entre estas duas importantes bacias (SAADI, 1995).

A Estrada Real intercepta os rios Jequitinhonha na porção sul de Diamantina, do Peixe ao norte do município de Serro e no centro de Alvorada de Minas e o rio Santo Antônio na região centro-sul do município de Conceição do Mato Dentro.

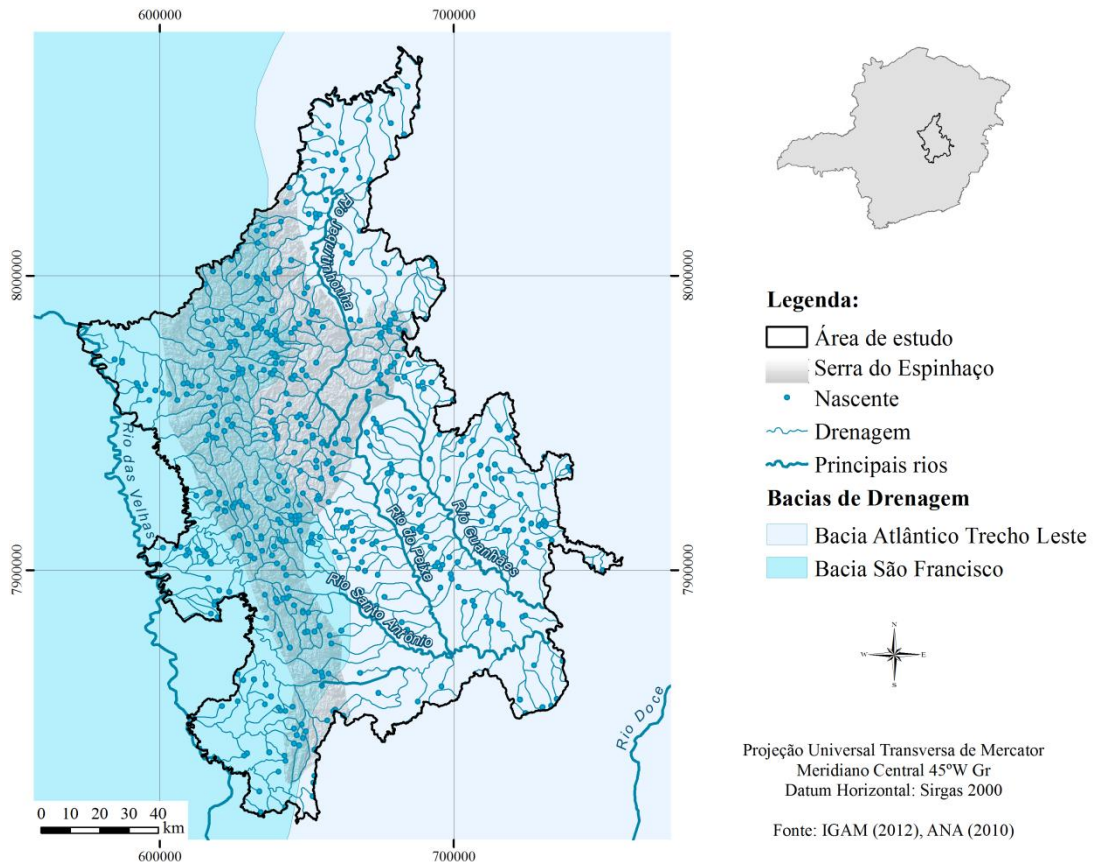


Figura 8: Mapa hidrográfico da área de estudo

3.5. Clima

Sá Junior (2009) executou o zoneamento climático para o Estado de Minas Gerais em o subdividiu em cinco principais classes climáticas, onde três destas classes estão presentes na área de estudo (Figura 9). Segundo esta classificação, a maior porção do território estudado é qualificada no tipo climático designado de clima temperado úmido com inverno seco e verão quente. Estas regiões correspondem a 64% do território total. O extremo oeste, extremo norte e parte da região sul-sudeste da área são caracterizados pelo clima tropical de savana com estação seca de inverno.

Segundo Verdi et al. (2005), o clima na Serra do Espinhaço Meridional se caracteriza pelas estações secas (de junho a agosto), onde o período de inverno é seco e fresco, e úmidas (de novembro a março), com verões brandos e chuvosos. De acordo com o mesmo autor, a precipitação média anual na porção meridional da serra varia entre 1.250mm e 1.550mm enquanto a temperatura média anual varia entre 18°C e 19°C.

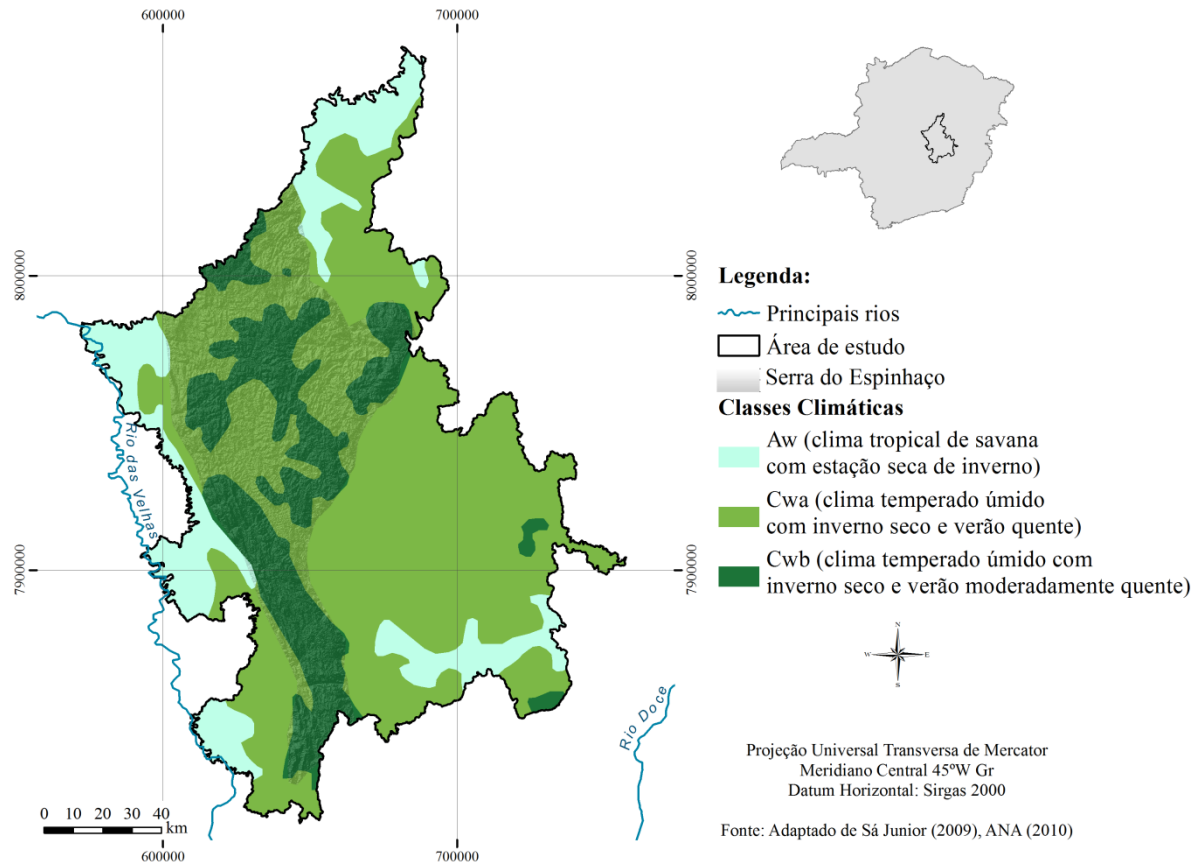


Figura 9: Mapa de classes climáticas da área de estudo

4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1. Materiais utilizados

Para a efetivação deste trabalho foram utilizadas bases cartográficas disponibilizadas por órgãos públicos do Estado de Minas Gerais e do território brasileiro.

Para que fosse possível gerar o resultado final, foi necessário utilizar os dados que integraram o índice de geodiversidade, os que resultaram no melhor cenário para a geoconservação e os que puderam definir o melhor cenário para atividades referentes à extração mineral. Neste contexto, os seguintes dados foram utilizados:

a. Geologia:

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Ano 2013, escala 1:100.000 e Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG). Ano 2012, escala 1:100.000;

b. Hidrogeologia:

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Ano 2013 escala 1:1.000.000;

c. Relevo:

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Ano 2003, escala 1:1.000.000;

d. Solo:

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). Ano 2011, escala 1:600.000.

e. Hidrografia:

Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Ano 2012, escala 1:50.000;

f. Áreas urbanas:

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ano 2010, escala não informada e Zoneamento Econômico-Ecológico de Minas Gerais (ZEE/MG). Ano 2008, escala não informada;

g. Curvas de nível:

United State Geological Survey (USGS). Ano 2011, resolução espacial 30m;

h. Afloramentos rochosos:

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Ano 2013, escala 1:100.000 e Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG). Ano 2012, escala 1:100.000;

i. Unidade de Conservação:

Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF/MG). Ano 2014;

- j. Pontos turísticos:
Instituto Estrada Real (IER). Ano 2016;
- k. Rodovias:
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Ano 2010, escala não informada;
- l. Recursos minerais:
Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Ano 2013, escala 1:100.000 e Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG). Ano 2012, escala 1:100.00;
- m. Processos minerários:
Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Ano 2016.
- n. Geosítios:
Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleogeológicos / Serviço Geológico do Brasil (SIGEP/CPRM). Ano 2018.

4.2. Metodologia

A Figura 10 detalha a estrutura geral do método utilizado para atingir os objetivos desta pesquisa:

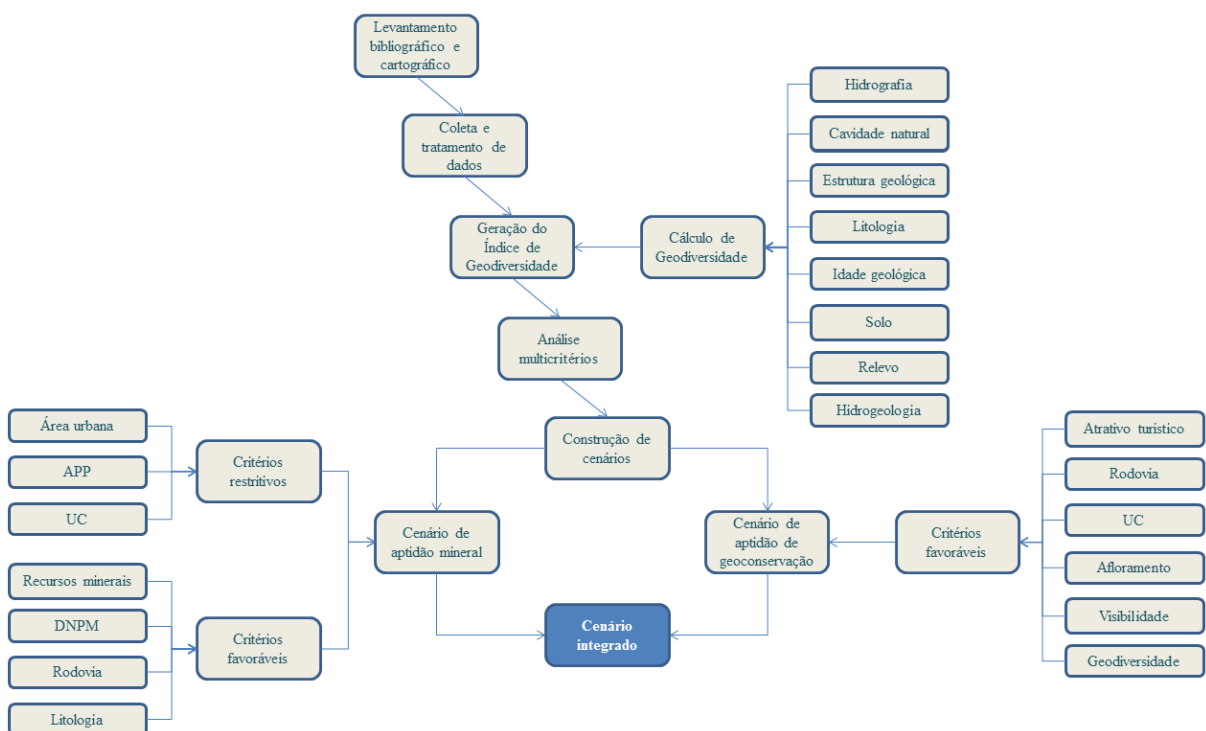


Figura 10: Fluxograma das etapas metodológicas

4.2.1. Levantamento bibliográfico e cartográfico

A fim de garantir uma base sólida, fez-se necessário inicialmente criar um banco de dados de forma a armazenar informações pertinentes que sustentassem este estudo. Para tanto, publicações referentes à geodiversidade (SHARPLES, 1993; 2002; NIETO, 2001; GRAY, 2004; BRILHA, 2005; RUCHKYS, 2007; MANOSSO e ONDICOL, 2012), geoturismo (HOSE, 1995; BRILHA, 2005; LICCARDO, MANTESSO-NETO e PIEKARZ, 2010; MANOSSO, 2010), patrimônio geológico (NASCIMENTO, MANSUR e MOREIRA, 2015; BRILHA, 2015), modelagem de dados espaciais em geodiversidade (PEREIRA, 2013; BRAGA, 2014; SENA, 2015; LOPES, 2015), quantificação da modelagem (PEREIRA, 2013; SENA, 2015; LOPES, 2015), entre outros temas foram pesquisadas e organizadas.

Em igual importância, os dados cartográficos também foram selecionados e organizados de forma a constituir um grande banco de dados consolidado com arquivos vetoriais e matriciais, respeitando a escala máxima de 1:100.000.

Este estudo se baseou em uma adaptação da metodologia proposta por Lopes (2015) que sugeriu um modelo espacial para integração de um cenário favorável para exploração mineral e para a geoconservação utilizando como estudo de caso o município de São Thomé das Letras em Minas Gerais. Cabe lembrar que este é o primeiro trabalho a aplicar este método em uma porção da Estrada Real.

4.2.2. Tratamento de dados

Inicialmente foi realizada a adequação/conversão de todos os dados para um único sistema de projeção (Universal Transversa de Mercator - UTM) e *Datum* (Sirgas 2000), a fim de garantir a integridade espacial das informações, por meio de técnicas de geoprocessamento em ambientes SIG.

Para o tratamento e modelagem de dados utilizou-se o software ArcGIS versão 10.3, nos quais os dados foram processados, permitindo sua posterior análise.

4.2.3. Modelagem do Índice de Geodiversidade

A modelagem do índice de geodiversidade baseou-se no método empregado por Pereira (2013). O método utilizado pelo autor quantifica a geodiversidade de acordo com a variedade de elementos presentes em uma mesma área. O cálculo é efetuado por meio da

sobreposição das variáveis selecionadas. Este estudo utilizou as variáveis litologia, idade geológica, estrutura geológica, hidrogeologia, hidrografia, relevo, solo e cavidades subterrâneas naturais. Este método exige que cada classe de feição seja trabalhada em separado em formato vetorial e, posteriormente convertida para o formato *raster* de forma a se estabelecer um valor aleatório individual. Segundo a norma técnica, o tamanho do pixel pode ser calculado por meio da multiplicação da escala de trabalho por 0,2 milímetros (valor da unidade mínima de mapeamento). O valor obtido indica o menor pixel possível para a representação mais próxima da realidade da área de estudo. A escala de mapeamento aqui utilizada foi de 1:100.000. Desta forma, o menor valor de pixel possível para esta escala é de 20 metros. Tendo em vista a dimensão da área estudada, de forma a prezar por uma melhor acurácia para garantia de uma representação mais próxima da realidade e após a realização de diversos testes, optou-se pela conversão dos dados utilizando células da matriz no valor de 250 x 250 metros. Ao todo, trabalhou-se com 160 classes de feição, conforme apresenta a Tabela 1:

Tabela 1: Descrição das variáveis escolhidas para o cálculo do índice de geodiversidade

Variável	Definição da Variável	Forma	Número de Classes
Litologia	Tipo de litologia	Poligonal	61
Idade geológica	Idade geológica	Poligonal	7
Estrutura geológica	Proximidade de estruturas geológicas	Linear	1
Hidrogeologia	Unidade hidrogeológica	Poligonal	67
Relevo	Tipo de relevo	Poligonal	12
Solo	Unidade de solo	Poligonal	10
Cavidade	Proximidade de cavidades	Pontual	1
Hidrografia	Proximidade dos principais cursos d'água	Linear	1

Para os dados de formato poligonal (litologia, idade geológica, hidrogeologia, relevo e solo), para a álgebra de mapas, bastou a conversão dos dados de vetor para matriz, conforme sugere o estudo de Pereira (2013). Entretanto, para este estudo, optou-se por utilizar outras variáveis presentes no meio físico para o enriquecimento da informação e refinamento dos resultados. Desta forma, para os dados de formato linear (estrutura geológica e hidrografia) e

pontual (cavidades naturais), optou-se por utilizar o método aplicado por Sena (2015). Este método consiste na aplicação de uma ferramenta estatística para estimar a função de densidade espacial do elemento em questão. Para tanto, a ferramenta utilizada neste estudo foi a *Kernel Density* presente no pacote *Spatial Analyst Tools*, parte do software ArcGIS versão 10.3. A Figura 11 ilustra as variáveis utilizadas no cálculo de geodiversidade com a aplicação da função de densidade.

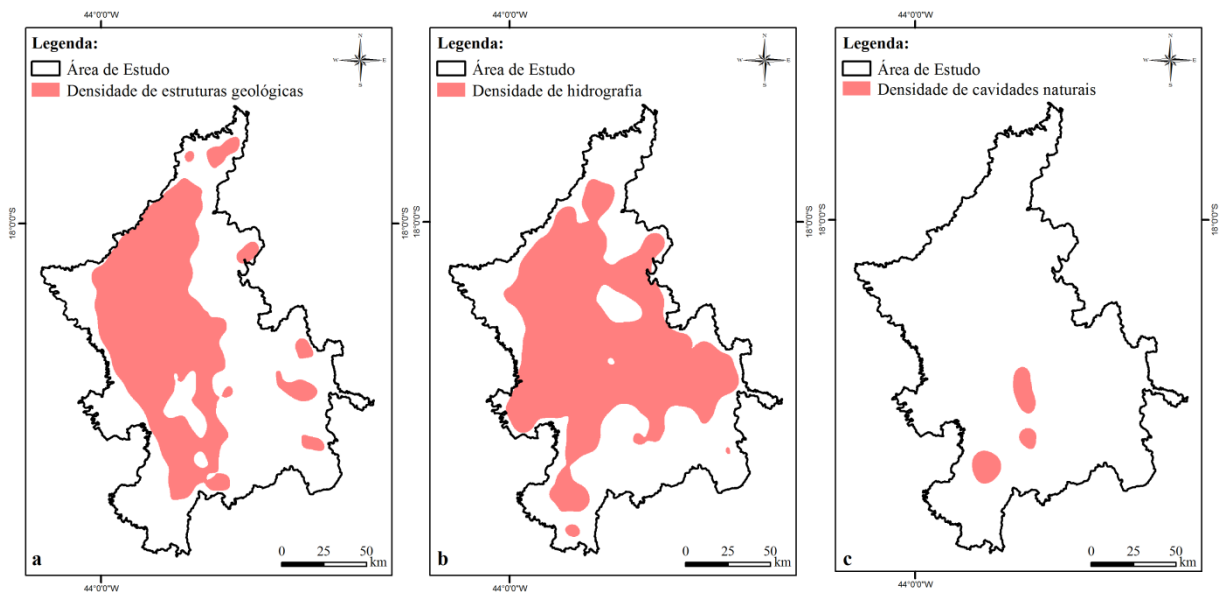


Figura 11: a) Densidade espacial de estruturas geológicas; b) Densidade espacial de hidrografia; c) Densidade espacial de cavidades naturais

De posse das variáveis tratadas, foi possível aplicar o cálculo para o índice de geodiversidade utilizado por Pereira (2013) que fez uma adaptação daquele aplicado por Ruiz Flaño (2007):

$$Gd = Eg / \ln S$$

Onde:

Gd = índice de geodiversidade,

N = número dos diferentes elementos físicos presentes na área,

S = superfície real da área estudada.

De posse das variáveis escolhidas, quantificou-se a geodiversidade da porção centro-norte do Caminho dos Diamantes indicando áreas com diferentes índices de geodiversidade.

4.2.4. *Análise multicritérios*

Para a análise multicriterial, os dados utilizados foram empregados sob a configuração de mapas temáticos em formato matricial, o que permitiu a álgebra deste estudo. A modelagem cartográfica empregada utilizou, além do índice de geodiversidade gerado, outras variáveis que construíram um cenário de integralização de dados referentes às áreas favoráveis a exploração mineral e às áreas prioritárias a geoconservação do território estudado.

Os dados em formato *raster* utilizados foram produzidos com células da matriz na dimensão de 250 x 250 metros. Assim como para o índice de geodiversidade e a dimensão espacial da área de estudo, observou-se por meio de testes que o tamanho destas células permite uma boa acurácia visual.

A técnica utilizada para a álgebra de mapas foi a lógica *fuzzy*. De acordo com Moreira, Câmara e Almeida Filho (2001), a lógica *fuzzy* permite desenvolver soluções para problemas aonde as variáveis apresentam diversos contatos de maneira eficaz. Para a estipulação dos pesos e notas, utilizou-se aqueles propostos por Sena (2014) e Lopes (2015) que, em seus respectivos estudos, empregaram o *Delphi* de consulta a especialistas.

4.2.5. *Construção de cenários*

Inicialmente geraram-se dois cenários: um para mineração e outro para a geoconservação.

O cenário referente à destinação de áreas favoráveis para mineração contou com fatores que restringem ou favorecem as atividades. Os critérios restritivos (aqueles que impedem ou restringem as atividades) considerados foram:

- a. Áreas urbanas;
- b. Áreas de preservação permanente e;
- c. Unidades de conservação.

Os limites adotados para o mapa que representa as áreas urbanas na área de estudo (Figura 12) foram constituídos pelo IBGE e confrontados com os limites disponíveis no Zoneamento Econômico-Ecológico do Estado de Minas Gerais (ZEE-MG). Ambas as bases cartográficas não possuem informação da escala de mapeamento.

Para o mapeamento das áreas urbanas e urbanizadas o IBGE considera como sendo aquelas que apresentam características tipicamente urbanas, tais como edificações ou proximidade dos mesmos, loteamento, arruamento, entre outros elementos característicos. A Figura 12 ilustra a distribuição espacial das áreas urbanas na porção centro-norte do Caminho dos Diamantes.

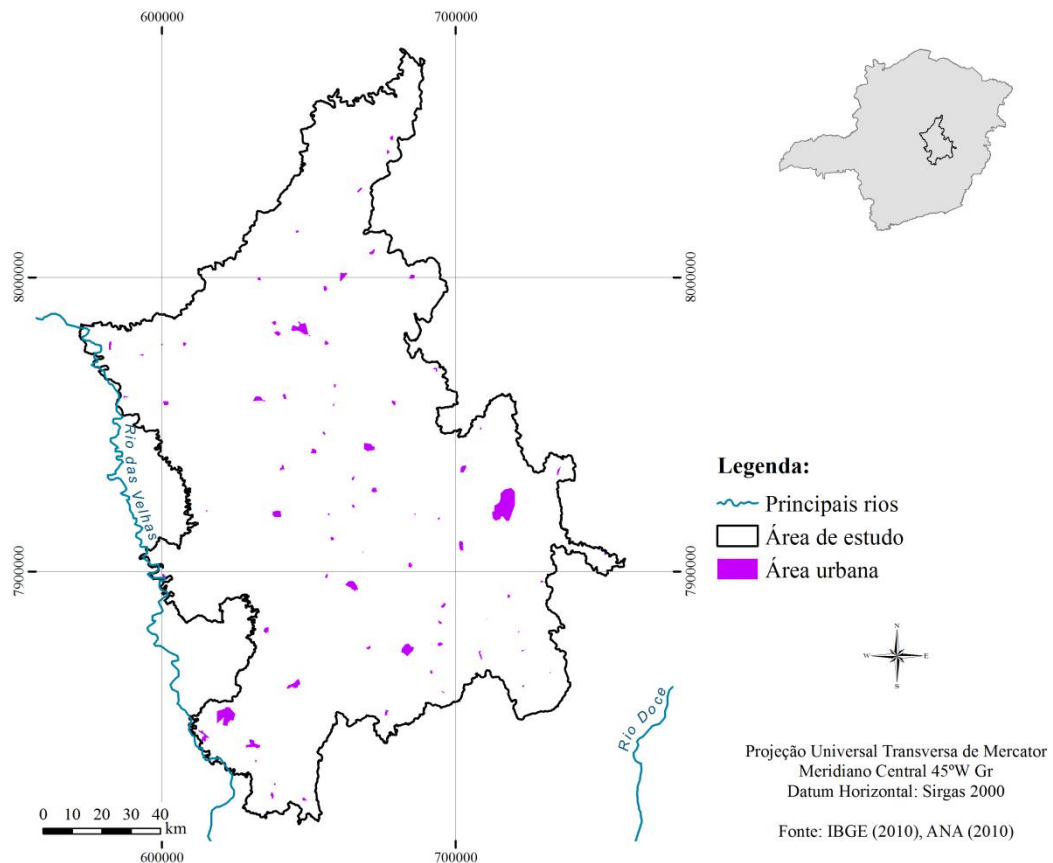


Figura 12: Mapa de áreas urbanas

Para o mapeamento do critério restritivo de áreas de preservação permanente (APP), foram consideradas as definições estabelecidas pela Resolução n°302, de 20 de março de 2002 e pela Resolução 303, de 20 de março de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Estes dispositivos dispõem sobre os parâmetros, definições e limites referentes a estas áreas.

Para tanto, este estudo se baseou nos critérios estabelecidos no artigo 3° da Resolução n°303/2002 que determina APP a área situada a distância mínima de:

- Cinquenta metros ao redor de nascente ou olho d'água (Figura 13);
- Trinta metros para cursos d'água (Figura 14);

- Dois terços da altura mínima da elevação em relação a base em topos de morro e montanhas, delimitada a partir da curva de nível (Figura 15).

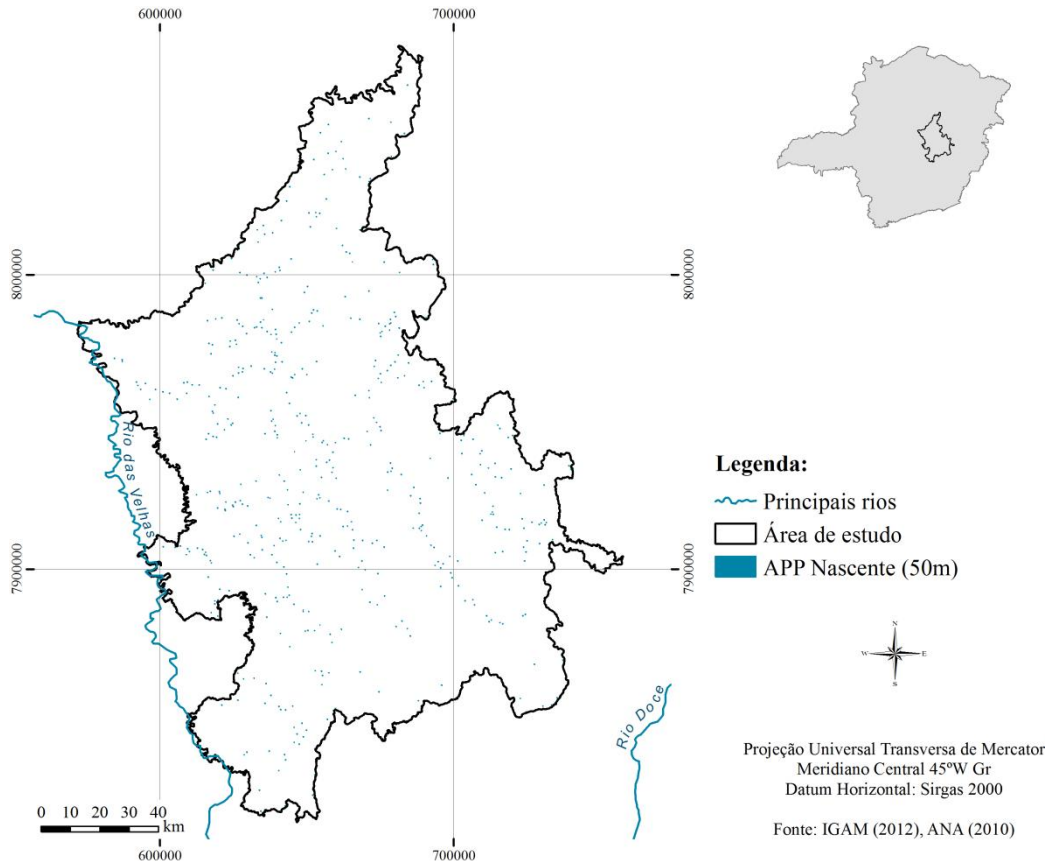


Figura 13: Mapa das áreas de preservação permanente – Nascente

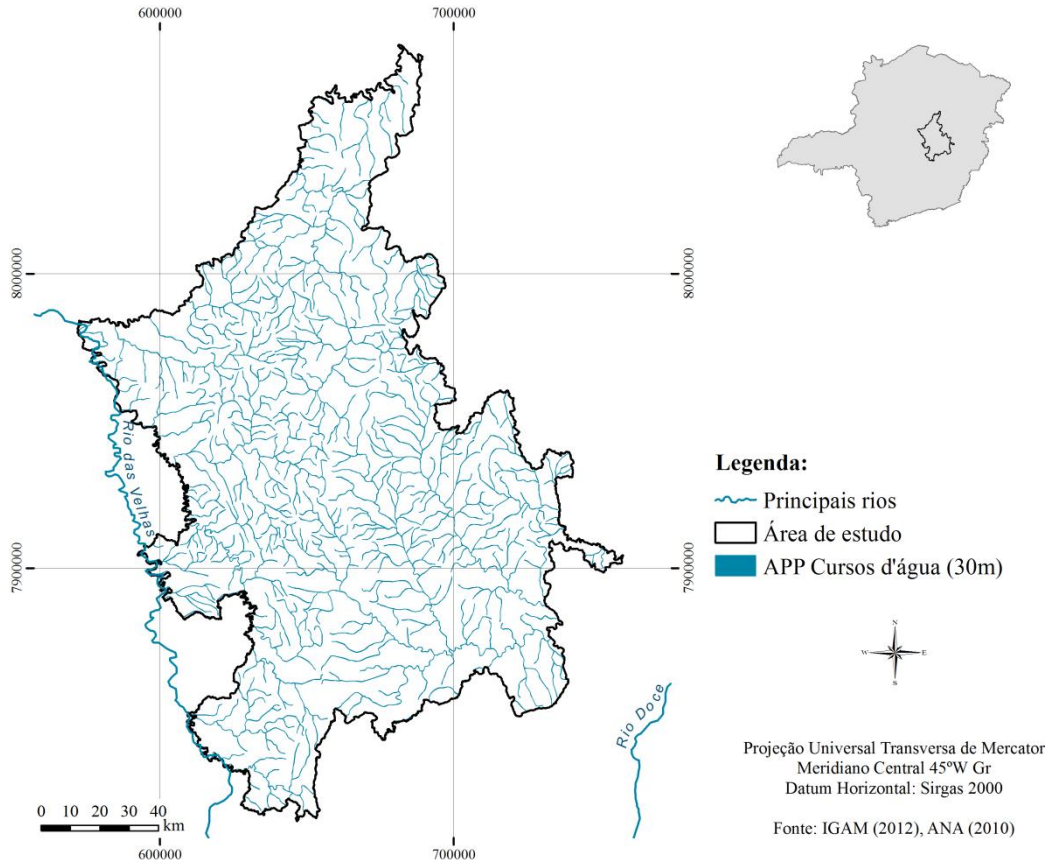


Figura 14: Mapa das áreas de preservação permanente - Curso d'água

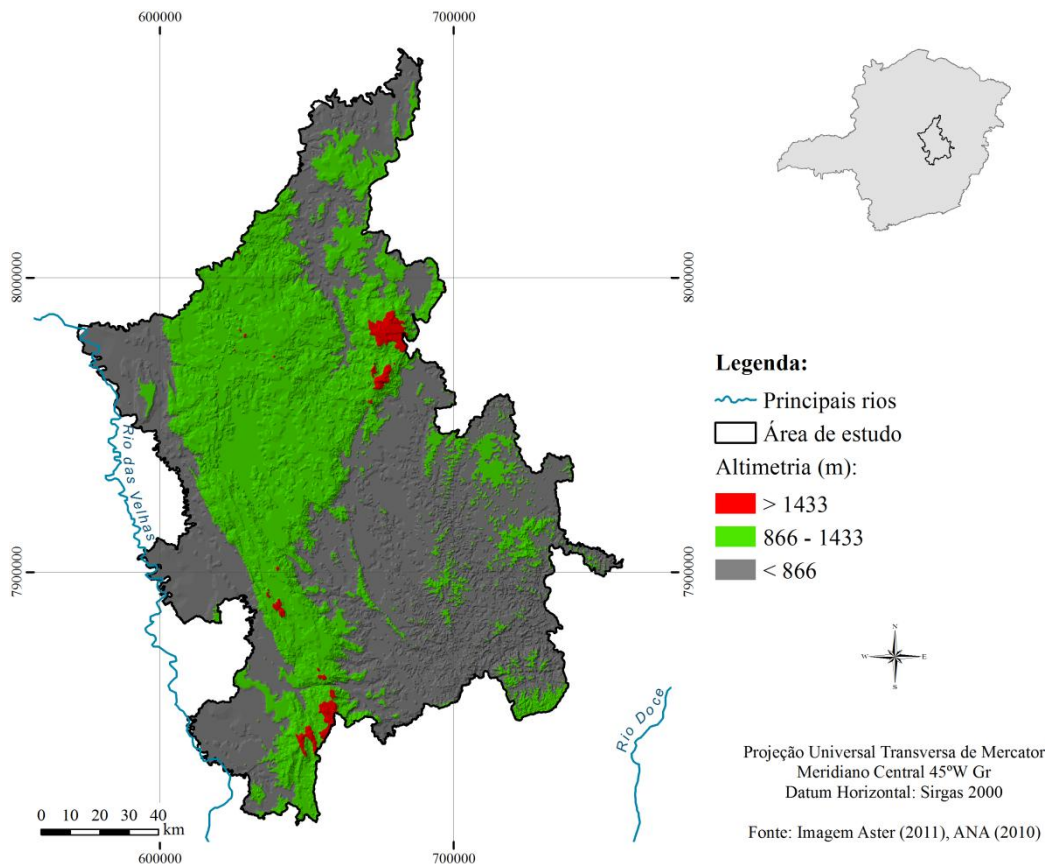


Figura 15: Mapa das áreas de preservação permanente - Topo de morro

Entretanto, é necessário ressaltar que os critérios estabelecidos nas Resoluções citadas ainda apresentam diversas peculiaridades para cada uma das áreas incluídas neste estudo, bem como áreas de abrangência de proteção diferenciadas para cursos d'água, lagoas, lagoas naturais e reservatórios com larguras distintas, encostas com alto grau de declividade, entre outras especificidades, acrescidas daquelas que não cabem a este estudo, como áreas litorâneas, de manguezais, em dunas, etc.

É preciso, também, considerar que tais Resoluções contém uma série de exceções admitidas pela legislação que permitem o uso de tais áreas, inclusive para extração mineral. Desta forma, fica evidente a necessidade de se estudar as áreas de preservação permanente tidas como critérios restritivos neste estudo com mais aprofundamento, caso haja interesse, seja público ou privado.

O terceiro e último critério restritivo à alocação de atividades minerárias na área de estudo são as unidades de conservação (Figura 16).

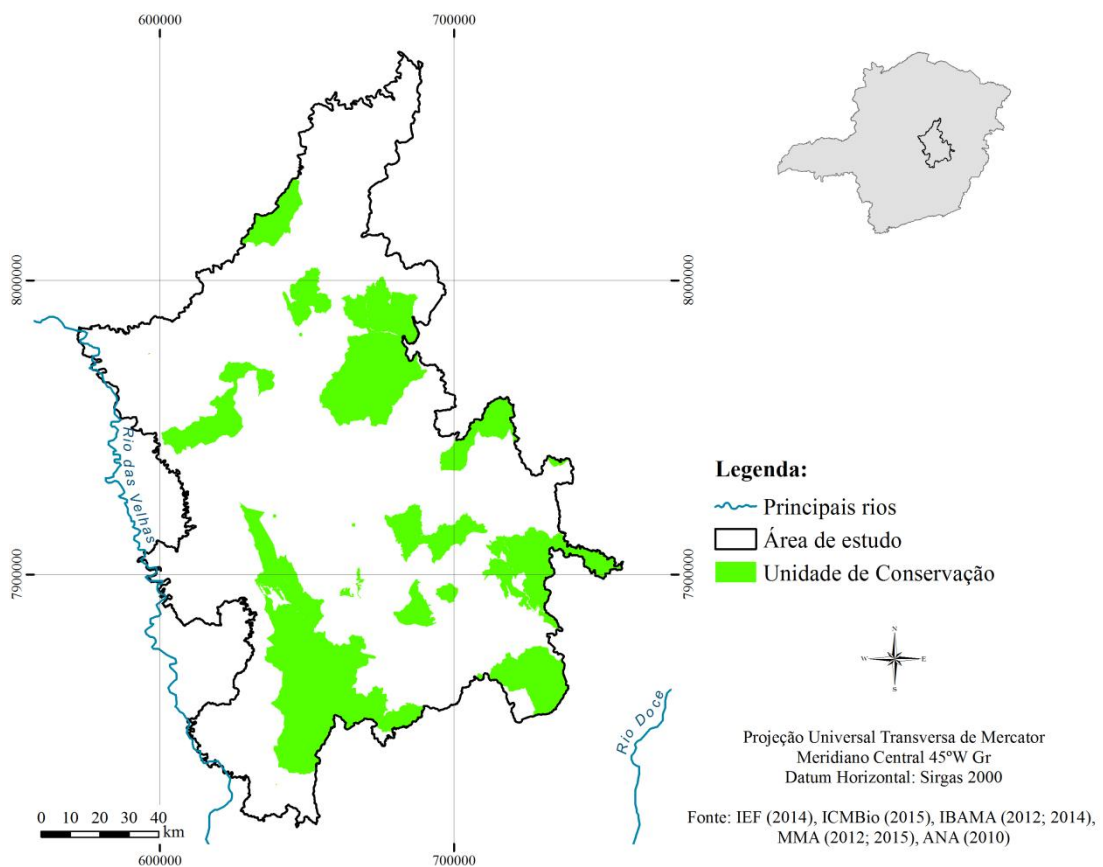


Figura 16: Mapa das áreas de unidades de conservação

A base cartográfica contempla áreas de administração das esferas federal, estadual e municipal, bem como:

- Área de Proteção Ambiental (APA) – Bom Retiro, Zabelê, Virginópolis, Suaçuí, Renascença, Pitanga, Nascente do Rio Tronqueiras, Jacutinga, Hematita, Gonzaga, Gameleira, Fortaleza de Ferros, Córrego da Mata, Cachoeira Alegre, Bom Jardim, Pedra Gaforina, Morro da Pedreira, Carste de Lagoa Santa, Serra Talhada, Rio Picão, Rio Manso, Barão e Capivara, Serra de Minas, Aliança, Águas Vertentes, Serra do Intendente, Serra do Gavião, Itacuru e Felício;
- Área de Proteção Especial (APE) – Aeroporto Internacional e Santana do Riacho e Jaboticatubas;
- Monumento Natural (MONA) – Várzea do Lageado e Serra do Raio e Serra da Ferrugem;
- Parque Estadual, Municipal e Nacional (PAR) – Pico do Itambé, Serra da Candonga, Biribiri, Rio Preto, Serra do Cipó, Serra do Intendente, Salão de Pedras, Ribeirão do Campo e Sempre-Vivas;
- Refúgio de Vida Silvestre (RVS) – Macaúbas;
- Reserva Particular do Patrimônio Nacional (RPPN) – Sítio São Francisco, Patrimônio Natural da Cachoeira, Ermo dos Gerais, Empresa Brasileira de Quartzos, Sítio dos Borges, Brumas do Espinhaço, Alto do Palácio, Vargem do Rio das Pedras, Paixãozinha e Fazenda Cruzeiro e;
- Terra Indígena – Guarani.

Além dos critérios restritivos, o estudo utilizou variáveis que favorecem as atividades minerárias. Para tanto, os dados considerados neste estudo para a geração do cenário favorável foram:

- a. Litologia;
- b. Processos minerários;
- c. Proximidade de ocorrência de recurso mineral e;
- d. Proximidade das principais rodovias de acesso.

Entende-se que a principal variável nesta etapa do processo, tendo em vista a indicação de áreas mais aptas à mineração, seja o tipo de litologia presente na área. Por se tratar de uma área extensa e muito diversificada, utilizou-se a seguinte regra de decisão:

- Áreas mais aptas, com maior peso, são aquelas que apresentam recursos minerais, estão inseridas em distritos minerários e encontram-se dentro de áreas de processos registradas no DNPM;
- Áreas aptas, com segundo maior peso, são aquelas que apresentam recursos minerais, estão inseridas em distritos minerários e encontram-se fora de áreas de processos registradas no DNPM;
- Áreas aptas, com terceiro maior peso, são aquelas que apresentam recursos minerais, estão fora de distritos minerários e encontram-se dentro de áreas de processos registradas no DNPM;
- Áreas menos aptas, com quarto maior peso, são aquelas que apresentam recursos minerais, estão fora de distritos minerários e encontram-se fora de áreas de processos registradas no DNPM;
- Áreas menos aptas, com quinto maior, são aquelas que não apresentam recursos minerais, estão fora de distritos minerários e encontram-se dentro de áreas de processos registradas no DNPM;
- Áreas menos aptas, com sexto maior, são aquelas que não apresentam recursos minerais, estão fora de distritos minerários e encontram-se fora de áreas de processos registradas no DNPM.

Para um planejamento eficaz de uma atividade de exploração mineral é necessário verificar as áreas que estão devidamente registradas no DNPM bem como o local onde há ocorrências de recursos minerais, segundo e terceiro critérios para a composição de um cenário favorável à mineração. Para tanto, áreas mais aptas são aquelas que apresentam mais proximidade a estas variáveis.

As Figuras 17 e 18 apresentam, respectivamente, as áreas dos processos minerários e as áreas de ocorrência de recursos minerais na porção centro-norte do Caminho dos Diamantes:

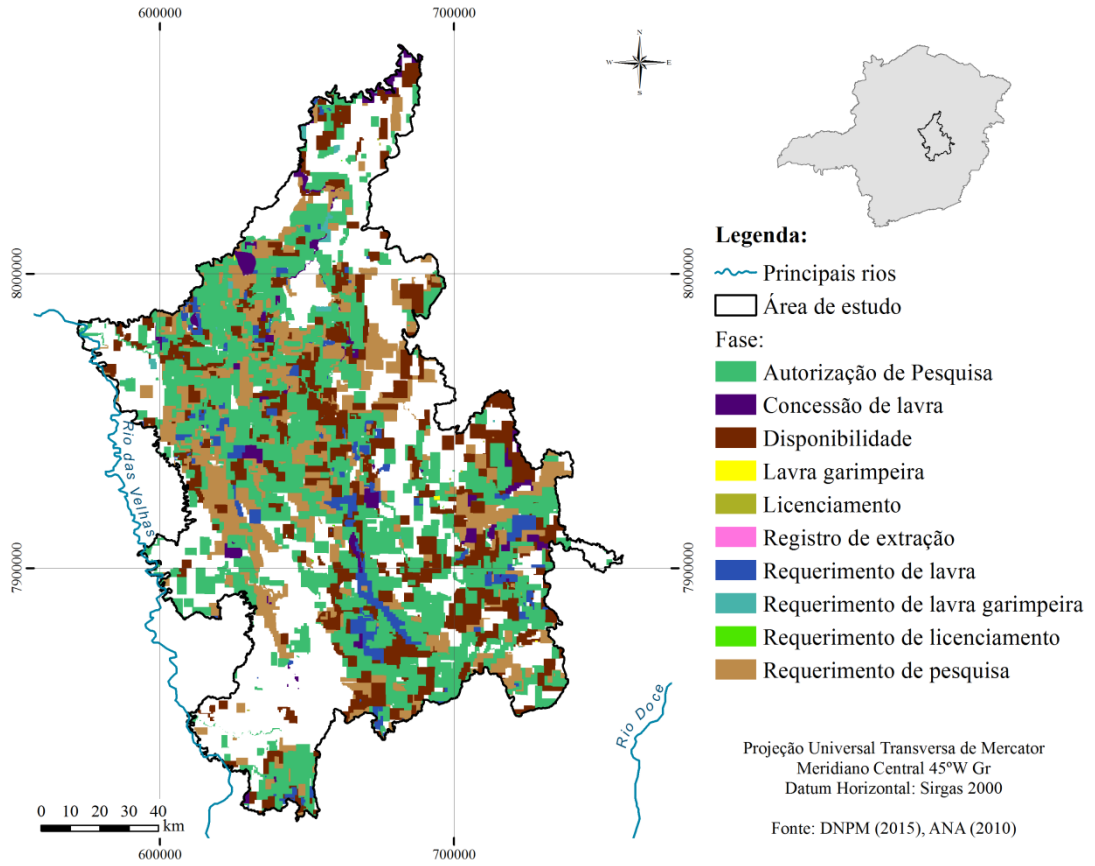


Figura 17: Mapa das áreas dos processos minerários

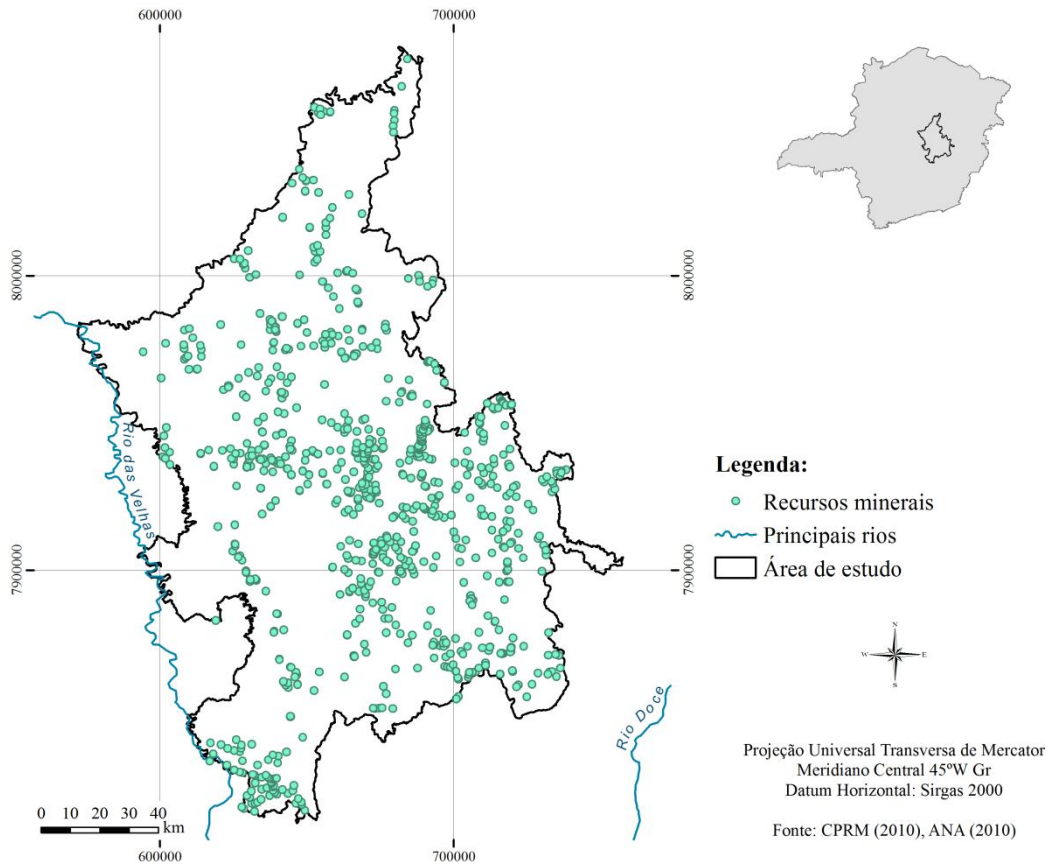


Figura 18: Mapa de ocorrência de recursos minerais

O quarto critério trata-se da proximidade às principais rodovias de acesso à área de estudo (Figura 19). Quanto mais próximo o empreendimento estiver da rodovia, mais apta a área se torna, uma vez que este acesso é de fundamental importância para a vazão dos produtos minerados.

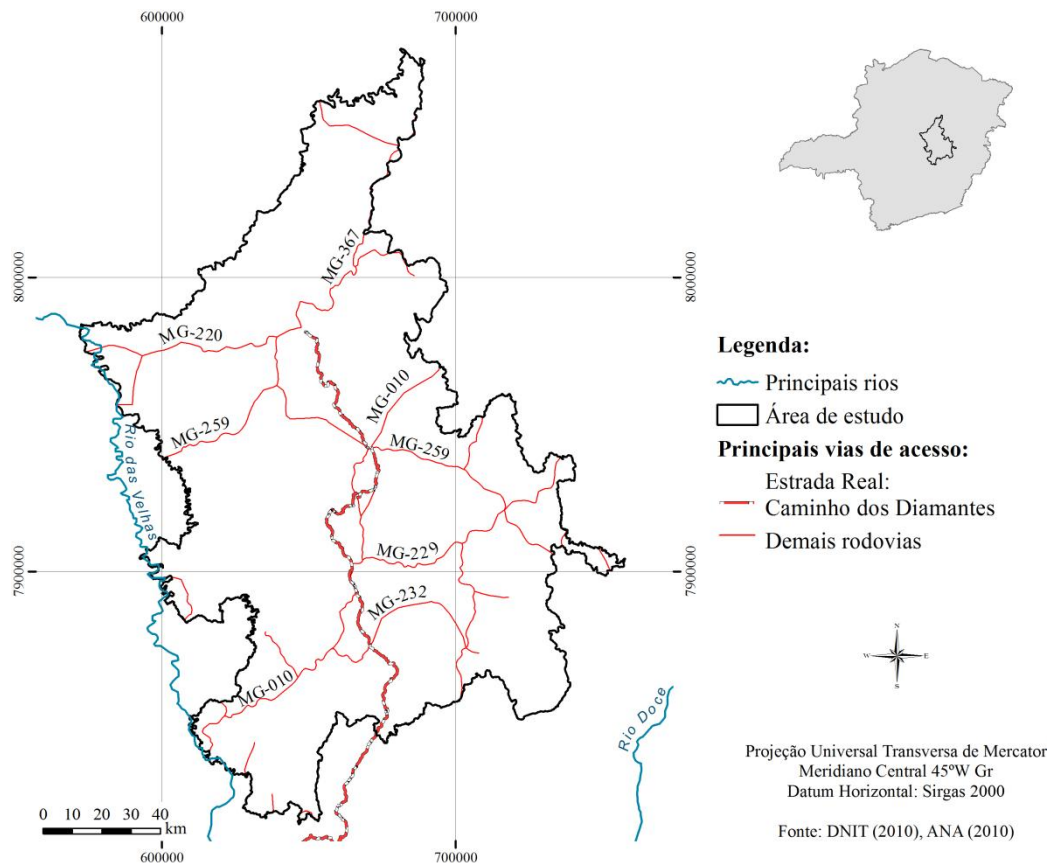


Figura 19: Mapa das principais rodovias de acesso

A entrada para a modelagem dos dados referentes à construção do cenário para aptidão de atividades minerárias na área de estudo foram os critérios restritivos e favoráveis à mineração. Os dados, uma vez compilados, obedeceram às regras de decisão que estão sintetizadas na Tabela 2:

Tabela 2: Regras de decisão – cenário minerário

Mapa de entrada	Tipo de critério	Regra de decisão
Áreas urbanas	Restritivo / booleano	Áreas urbanizadas
Áreas de preservação	Restritivo / booleano	Nascentes: 50m

permanente		Cursos d'água: 30m Topos de morro
Unidades de conservação	Restritivo / booleano	Área das unidades de conservação
Litologia	Fator	Se contém recursos minerais, estão inseridas em distritos minerários e encontram-se dentro de áreas de processos: áreas mais aptas
Processos minerários	Fator / fuzzy	Área dos processos
Principais vias de acesso	Fator / fuzzy	Proximidade das principais vias de acesso: áreas mais aptas
Recursos minerais	Fator / fuzzy	Proximidade dos recursos minerais: áreas mais aptas

O cenário referente à destinação de áreas prioritárias a geoconservação contou somente com fatores que favorecem a implantação, manutenção e/ou recuperação da integridade ambiental na área de estudo, não havendo variáveis restritivas neste contexto.

Os critérios favoráveis à geoconservação considerados neste estudo foram:

- a. Alto índice de geodiversidade;
- b. Proximidade de vias de acesso;
- c. Proximidade de afloramentos geológicos;
- d. Proximidade de unidades de conservação;
- e. Pontos de observação da geodiversidade – visibilidade e;
- f. Proximidade de atrativos turísticos.

Ao que se referem às rodovias de acesso local, assim como para o cenário favorável à mineração, este critério tem grande importância na indicação de áreas favoráveis à geoconservação. Quanto mais próxima a área estiver de uma rodovia de acesso, mais apta esta área é para a implementação ações para a geoconservação.

O terceiro critério se trata da presença de afloramentos geológicos na área de estudo. O Caminho dos Diamantes margeia a Serra do Espinhaço com relevo montanhoso onde

afloramentos quartzíticos sustentam os domínios serranos cobertos por campos rupestres. A serra tem grande importância do ponto de vista hídrico abarcando as nascentes do rio Jequitinhonha, dos rios Guanhões e Peixe, onde encontra o rio Santo Antônio, afluente do Rio Doce.

A base cartográfica referente aos dados de afloramento geológico foi extraída do banco de dados da CPRM e da CODEMIG em escala 1:100.000 (Figura 20). A proximidade ao afloramento é diretamente proporcional à aptidão da área à geoconservação.

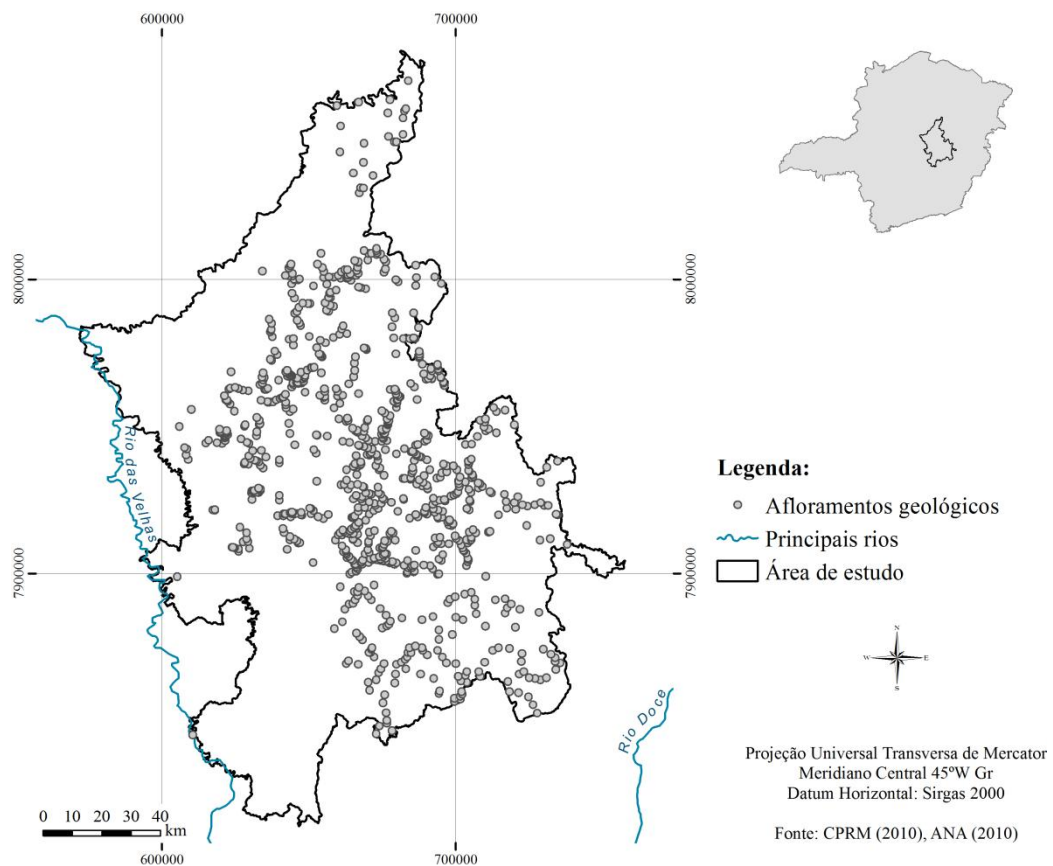


Figura 20: Mapa de ocorrência de afloramentos geológicos

O quarto critério utilizado nesta etapa do processo foi a proximidade às áreas reservadas à unidade de conservação. Quanto mais próxima a área for da unidade de conservação, mais apta ela será.

A visibilidade de um local se relaciona com a possibilidade de se observar a paisagem em detrimento da altitude e do campo de visada. Esta variável incluiu dados de relevo por altimetria e pontos de observação da geodiversidade. Estes dados foram gerados com base no método trabalhado por Sena (2015), coletados por meio de imagem de radar do satélite Aster (hypsometria e topos de morro) e de pontos associados à mirantes e às principais estradas.

Os dados foram integrados e calculados de acordo com o campo de visão de uma pessoa de estatura mediana (1,70 metros) e processados no software ArcGIS versão 10.3. Para a inserção desta informação como critério favorável à geoconservação, foi considerado o parâmetro binário, onde áreas aptas são aquelas que permitem a visibilidade local da paisagem e áreas não aptas, aquelas que não permitem a visibilidade (Figura 21).

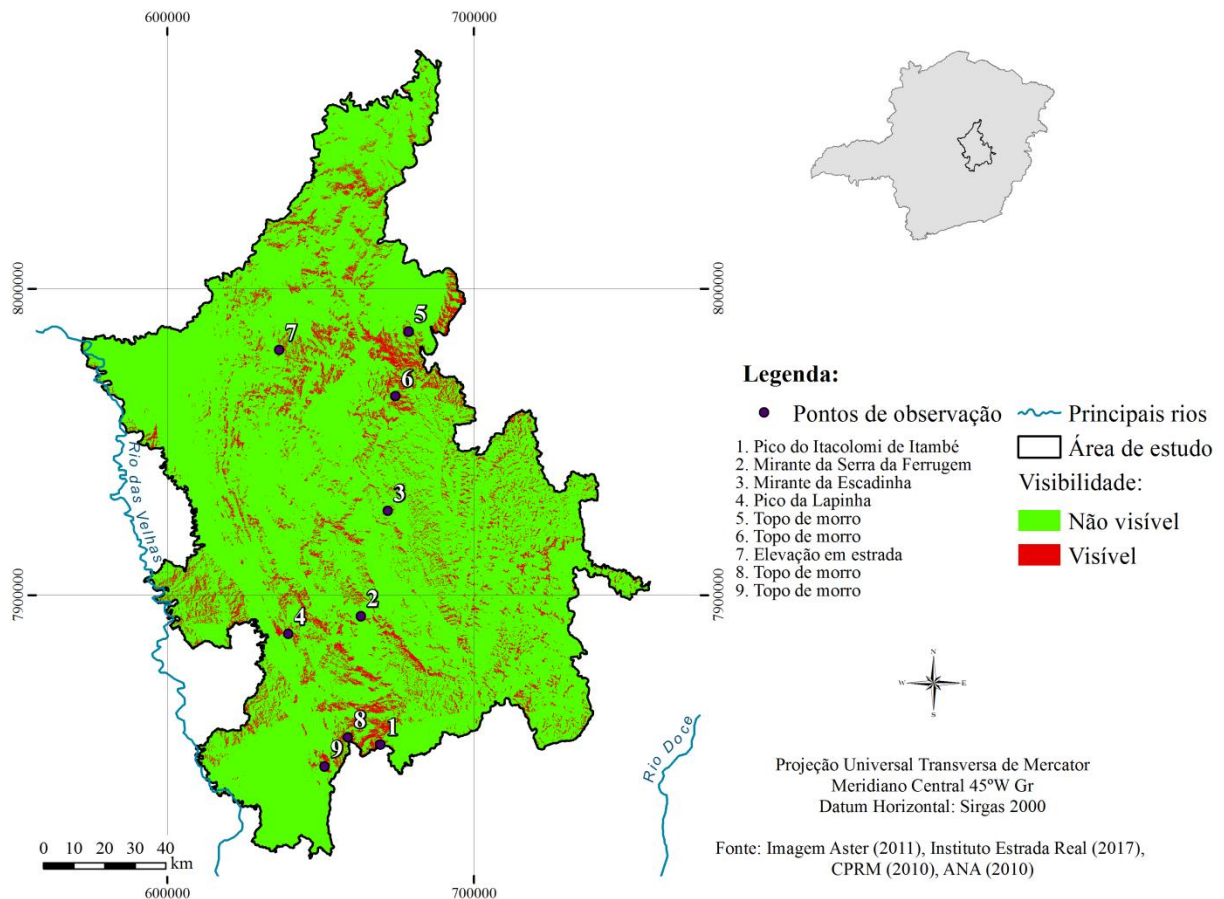


Figura 21: Pontos de observação da geodiversidade - Visibilidade

O último critério considerou a proximidade das áreas com atrativos turísticos. Os dados utilizados neste estudo foram extraídos, principalmente, da base de dados do Instituto Estrada Real e aferidos seus pontos de coordenada (Figura 22).

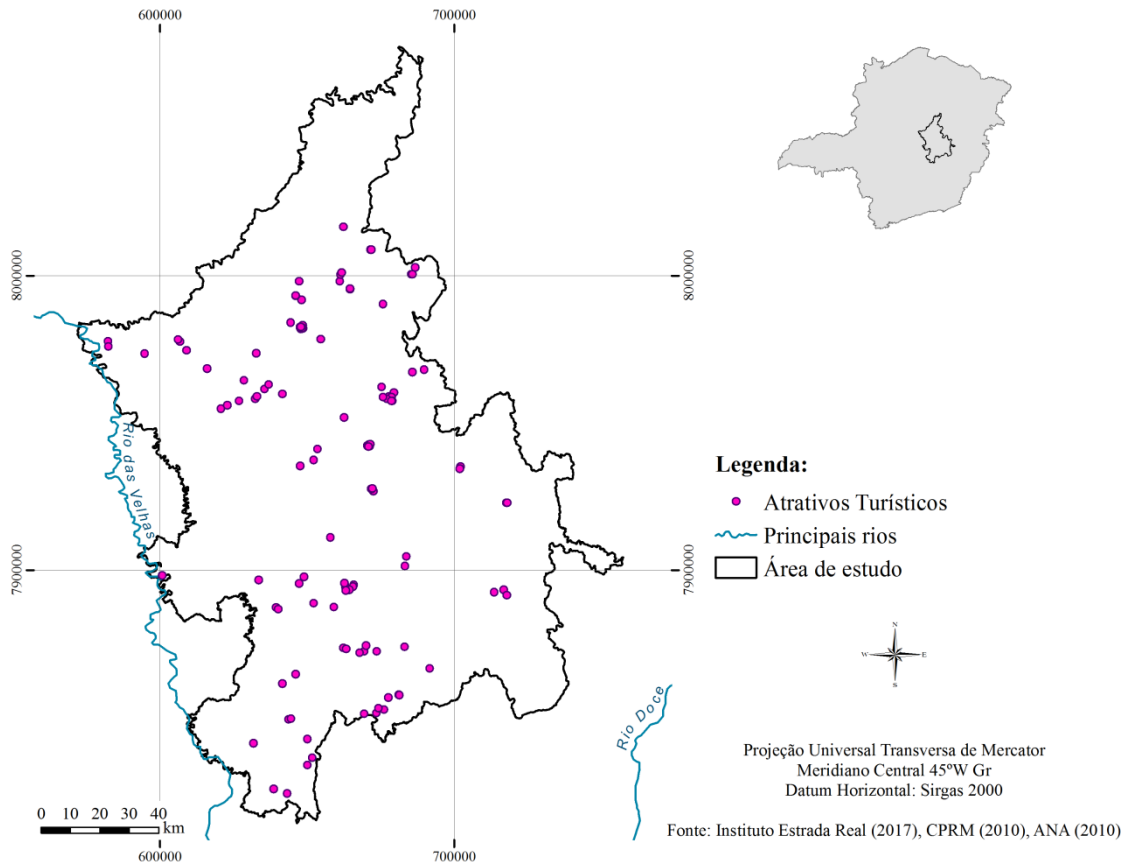


Figura 22: Mapa de atrativos turísticos

A área de estudo apresenta 133 importantes atrativos que constituem uma beleza cênica única, como canyons, corredeiras, cachoeiras, patrimônios históricos, arqueológicos, entre vários outros, além dos demais atrativos listados pelo Instituto Estrada Real que conferem valor aos turistas de maneira geral. Os atrativos turísticos coletados foram organizados por localidade e podem ser conferidos no Anexo I deste estudo.

A entrada para a modelagem dos dados referentes à construção do cenário para geoconservação na área de estudo foram os critérios favoráveis à geoconservação. Os dados, uma vez compilados, obedeceram às regras de decisão que estão sintetizadas na Tabela 4:

Tabela 3: Regras de decisão – cenário geoconservação

Mapa de entrada	Tipo de critério	Regra de decisão
Índice de geodiversidade	Fator	Presença
Principais vias de acesso	Fator / fuzzy	Proximidade das principais vias de acesso: áreas mais aptas

Afloramentos geológicos	Fator / fuzzy	Proximidade dos afloramentos geológicos: áreas mais aptas
Unidades de conservação	Fator / fuzzy	Proximidade das unidades de conservação: áreas mais aptas
Visibilidade	Fator	Presença
Atrativos turísticos	Fator / fuzzy	Proximidade dos atrativos turísticos: áreas mais aptas

Para realizar a produção do cenário integrado obteve-se como entrada os dados resultantes da construção do cenário minerário acrescido dos dados resultantes da construção do cenário de geoconservação. Tendo em vista que tanto o cenário minerário quanto o de geoconservação tem a sua respectiva importância, os pesos para a construção do cenário final integrado foi de 50% para cada um.

A construção do cenário minerário utilizou da técnica *fuzzy* para a confecção do modelo. Os pesos e notas para este cenário utilizaram do método *Delphi*, de acordo com a pesquisa de Lopes (2015). Trata-se de um método de consulta a especialistas onde estes mesmos indicam, de acordo com seu amplo conhecimento, o grau de importância de cada critério trabalhado e definem em conjunto os pesos e notas correspondentes a cada uma das variáveis. As variáveis utilizadas neste trabalho, em ordem de importância do cenário, foram: litologia, proximidade das principais vias de acesso, proximidade de processos minerário e proximidade de ocorrência de recursos minerais. As notas e os pesos utilizados nesta pesquisa foram os seguintes:

Tabela 4: Pesos e notas para o cenário minerário

Variável	Peso	Componente de legenda	Nota
Litologia	56%	Contém recursos minerais, estão inseridas em distritos minerários e encontram-se dentro de áreas de processos minerários	5
		Contém recursos minerais, estão inseridas em distritos minerários e encontram-se fora de áreas de processos minerários	4

		Contém recursos minerais, não estão inseridas em distritos minerários e encontram-se dentro de áreas de processos minerários	3
		Contém recursos minerais, não estão inseridas em distritos minerários e encontram-se fora de áreas de processos minerários	2
		Não contém recursos minerais, estão inseridas em distritos minerários e encontram-se dentro de áreas de processos minerários	1
		Não contém recursos minerais, não estão inseridas em distritos minerários e encontram-se fora de áreas de processos minerários	0
Proximidade das principais vias de acesso	22%	0 - 1 km	5
		1 - 2 km	4
		2 - 3 km	3
		3 - 4 km	2
		4 - 5 km	1
		> 5 km	0
Proximidade dos processos minerários	11%	0 - 1 km	5
		1 - 2 km	4
		2 - 3 km	3
		3 - 4 km	2
		4 - 5 km	1
		> 5 km	0
Proximidade de ocorrência de recursos minerais	11%	0 - 1 km	5
		1 - 2 km	4
		2 - 3 km	3
		3 - 4 km	2
		4 - 5 km	1
		> 5 km	0

Esta etapa do processo consiste em gerar um cenário ideal para alocação de atividades minerárias. Tendo em vista os pesos e notas já estipulados para cada uma das variáveis que

compõem o cenário, foi possível converter os dados para formato *raster* e reclassificá-los, atribuindo os valores definidos a cada classe de variável.

Após o processo de reclassificação, os dados foram ponderados e o cenário para aptidão das atividades minerárias pôde ser construído. A seguir serão apresentados os mapas resultantes da regra de decisão estipulada (Figura 23):

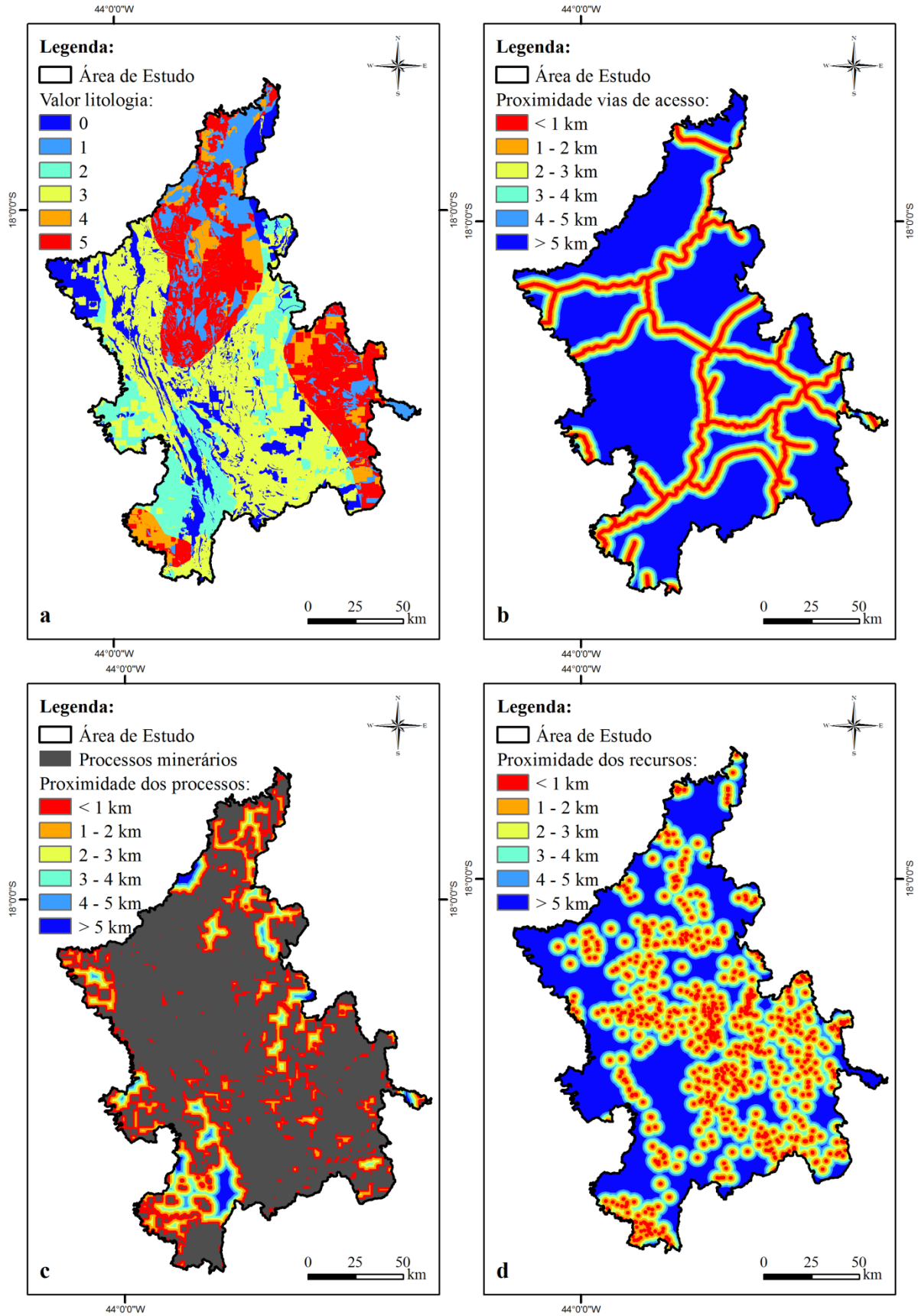


Figura 23: a) Litologia; b) Proximidade de vias de acesso; c) Proximidade de processos minerários; d) Proximidade de recursos minerais

O cenário para geoconservação utilizou da mesma técnica *fuzzy* para a confecção do modelo. Cabe ressaltar que os pesos e notas para este cenário também utilizaram do método *Delphi*, de acordo com a pesquisa de Lopes (2015). Para este cenário, a autora atribuiu maior peso às variáveis que conferem proximidade de atrativos turísticos seguido de proximidade das principais vias de acesso, como efetivado neste trabalho. Para o caso da variável proximidade de unidade de conservação, que entra com o terceiro maior peso atribuído, foi definido por especialistas um peso justo de forma a evitar uma supervalorização da variável. O mesmo método foi utilizado para a definição das demais variáveis que são: proximidade de afloramentos geológicos, visibilidade e alto índice de geodiversidade. Desta forma, os seguintes valores correspondentes à hierarquia dos dados e grau de pertinência foram conferidos:

Tabela 5: Pesos e notas para o cenário de geoconservação

Variável	Peso	Componente de legenda	Nota
Proximidade de atrativos turísticos	30%	0 - 2 km	5
		2 - 4 km	4
		4 - 6 km	3
		6 - 8 km	2
		8 - 10 km	1
		> 10 km	0
Proximidade das principais vias de acesso	25%	0 - 1 km	5
		1 - 2 km	4
		2 - 3 km	3
		3 - 4 km	2
		4 - 5 km	1
		> 5 km	0
Proximidade de unidades de conservação	13%	0 - 1 km	5
		1 - 2 km	4
		2 - 3 km	3
		3 - 4 km	2
		4 - 5 km	1
		> 5 km	0

Proximidade de afloramento geológico	13%	0 - 2 km	5
		2 - 4 km	4
		4 - 6 km	3
		6 - 8 km	2
		8 - 10 km	1
		> 10 km	0
Visibilidade	13%	Presença	5
Alto índice de geodiversidade	6%	Presença	5

Do mesmo modo que no processo de produção do cenário ideal para alocação de atividades minerárias, esta etapa consiste em gerar um cenário ideal para a geoconservação. Desta forma, seguindo os mesmos passos referentes ao procedimento anterior, utilizou-se os pesos e notas anteriormente estipulados para cada uma das variáveis que compõem o cenário, tornando possível converter os dados para formato *raster*. Neste momento, estes foram reclassificados e tiveram atribuídos valores definidos para cada classe de variável.

Após o processo de reclassificação, os dados foram ponderados e o cenário para aptidão de geoconservação pôde ser construído. A seguir serão apresentados os mapas resultantes da regra de decisão estipulada (Figura 24):

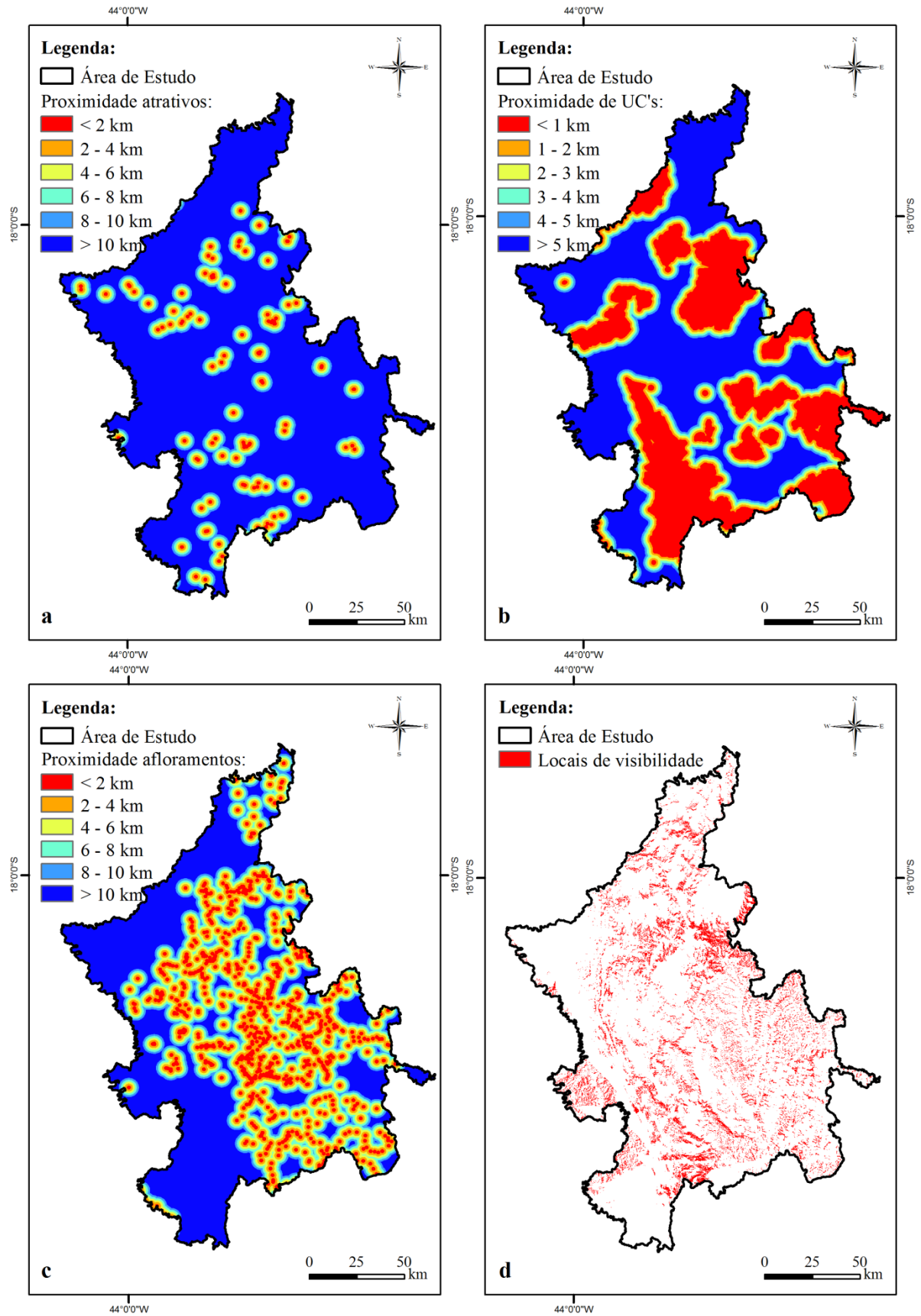


Figura 24: a) Proximidade de atrativos turísticos; b) Proximidade de unidades de conservação; c) Proximidade de afloramentos geológicos; d) Pontos de observação de visibilidade

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Índice de geodiversidade

A geodiversidade da porção centro-norte do Caminho dos Diamantes foi quantificada e apresentou como resultado final da soma das variáveis sobrepostas um índice contendo valores que variaram entre 5 e 9. Estes valores foram tematizados e classificados em ordem crescente da seguinte maneira: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (Figura 25).

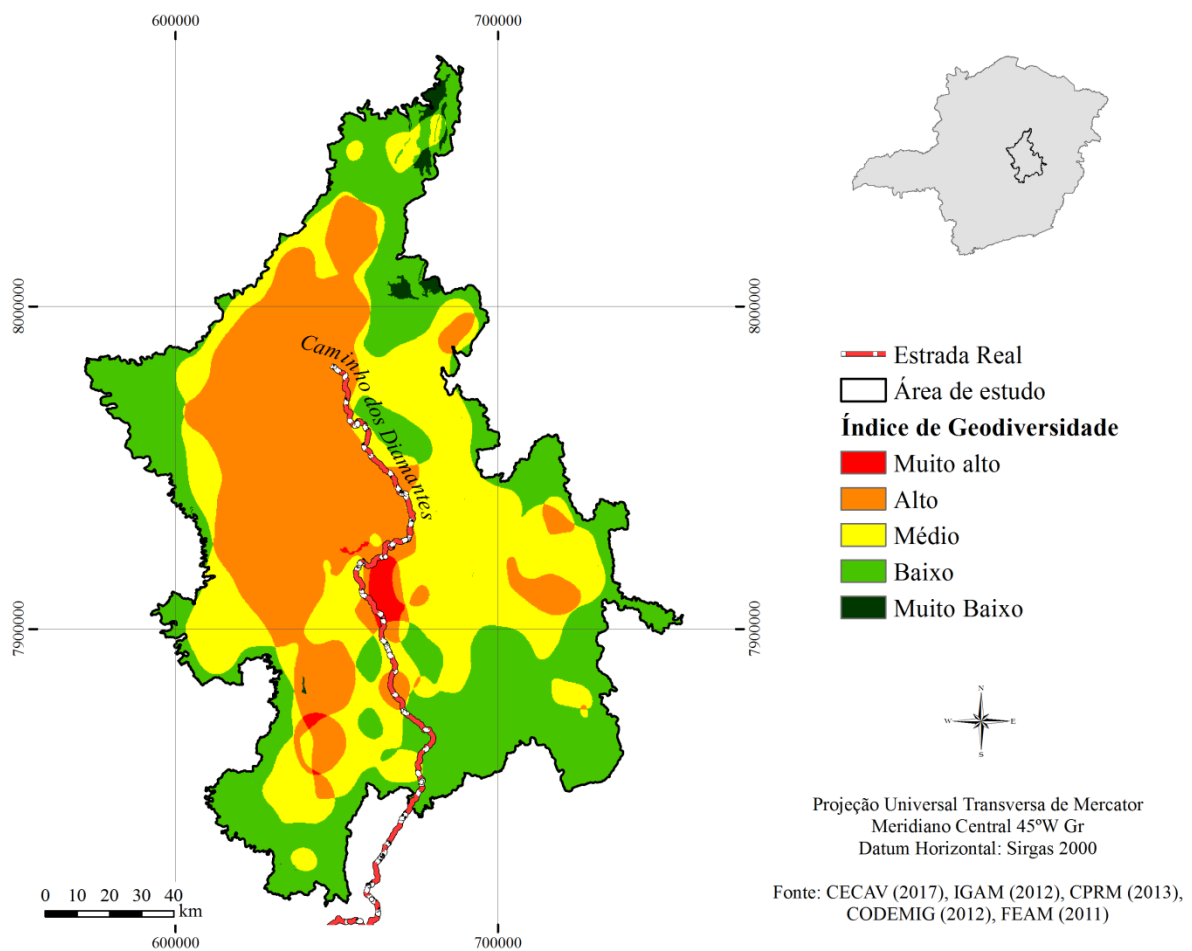


Figura 25: Geodiversidade da porção centro-norte do Caminho dos Diamantes

Os valores que indicam geodiversidade muito baixa estão presentes em apenas 0,8% da área e estão inseridos no extremo norte e nordeste que corresponde a uma pequena parte do município de Diamantina e de São Gonçalo do Rio Preto. A geodiversidade é baixa na maior parte do território e corresponde a 35,8% da área de estudo. É possível verificar que esta classe se define pelos municípios que estão no entorno da área e coincide com área de menor

elevação e declividade. A porção definida com índice de média geodiversidade representa 31,6% da área e encontra-se em partes mais diversas do território.

Os índices de alta geodiversidade correspondem à 30,9%. Estas áreas estão inseridas na Serra do Espinhaço e parte delas abriga importantes unidades de conservação como o Parque Estadual do Biribiri (Unidade de Proteção Integral), a Área de Proteção Ambiental Barão e Capivara (Unidade de Uso Sustentável), o Parque Nacional da Serra do Cipó (Unidade de Proteção Integral), além de outras áreas protegidas por lei.

As regiões classificadas como de muito alta geodiversidade representam 0,9% da área e estão inseridas nos municípios de Santana do Riacho, Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas. Uma pequena parte que contempla o município de Santana do Riacho encontra-se dentro da Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira (Unidade de Uso Sustentável). A maior parte da área coincide com o percurso exato do Caminho dos Diamantes, na divisa entre os municípios de Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas, e apresenta importantes patrimônios como a caverna Lapa do Fogão, Sítio Arqueológico Abrigo do Itaporoco.

De acordo com Brilha (2015), sítios da geodiversidade são sítios que possuem valores para além do científico, como valores didáticos e turísticos. Desta forma, os geossítios atualmente cadastrados pela Comissão de Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil (SIGEP) foram espacializados e selecionados aqueles que se encontram na área de estudo. São eles: Conglomerado Diamantífero Sopa e Pico do Itambé (Figura 26).

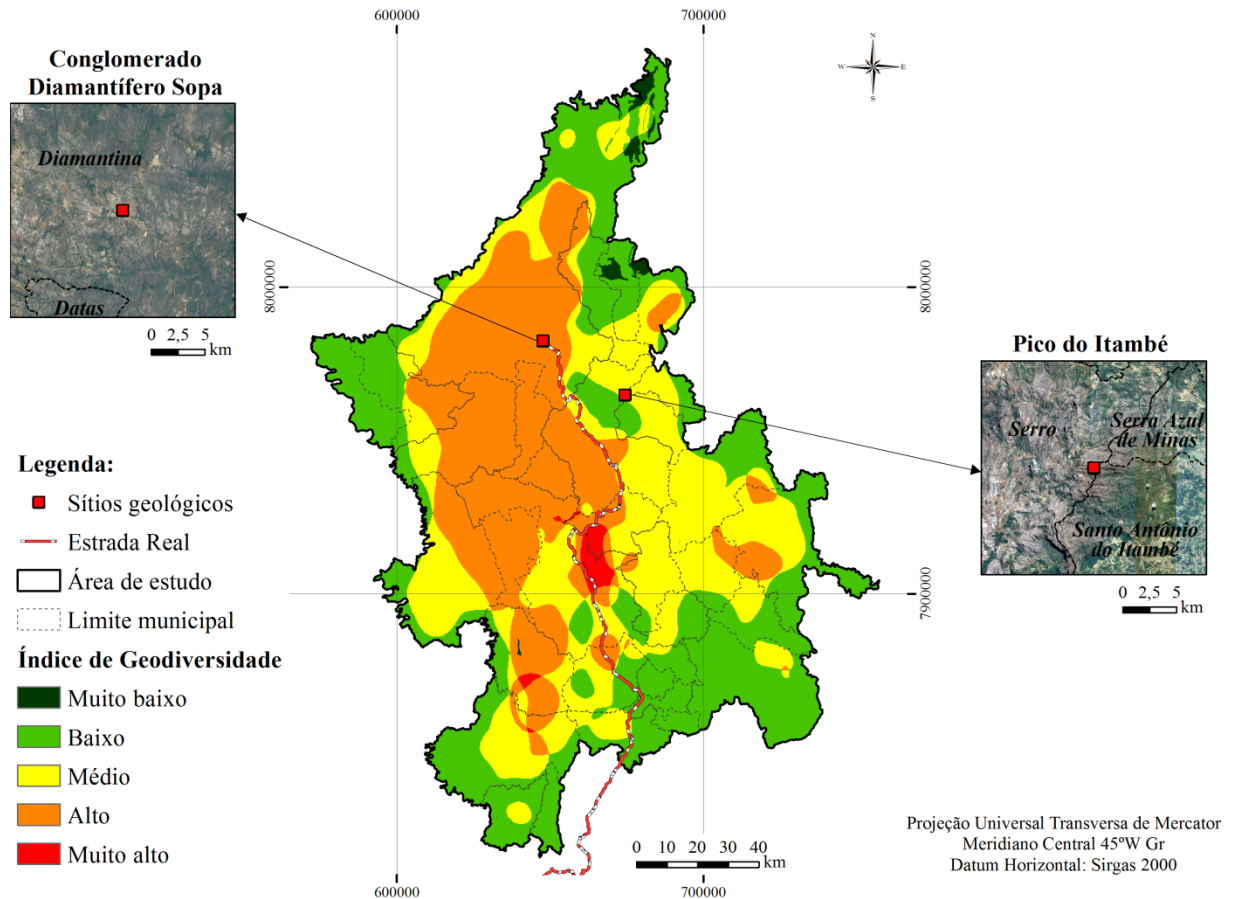


Figura 26: Localização dos geossítios da SIGEP na área de estudo

O Conglomerado Diamantífero Sopa está localizado no sudeste do município de Diamantina. Do ponto de vista geológico, este geossítio está localizado em uma região denominada província diamantífera da Serra do Espinhaço, que compreende os Estados de Minas Gerais e Bahia, e está inserido em uma área que apresenta classificação de alta geodiversidade. Nesta região, afloram rochas do Supergrupo Espinhaço em sequências de quartzitos intercalando filitos e o Conglomerado Sopa. O Ribeirão Datas cruza grande parte da região diamantífera e é tido como um dos mais ricos do distrito. A área de abrangência deste geossítio apresenta rochas metassedimentares de natureza conglomerática preservados devido a sua importância histórica, seu fácil acesso e proximidade da cidade de Diamantina. Apesar do número elevado de diamantes extraídos, verifica-se na região uma população muito empobrecida, o que gera uma disparidade com relação à riqueza mineral presente. Do ponto de vista histórico-econômico, caracterizado por um extrativismo intenso, é possível afirmar que o ambiente conglomerático diamantífero Sopa sofreu impactos ambientais significativos, originados nos séculos XVIII e XIX, e hoje se caracteriza pelas profundas marcas em sua

paisagem de origem antrópica. Atualmente, a população presente nos arredores da região atua no sentido de atenuar os impactos presentes (CHAVES e MENEGHETTI FILHO, 2002).

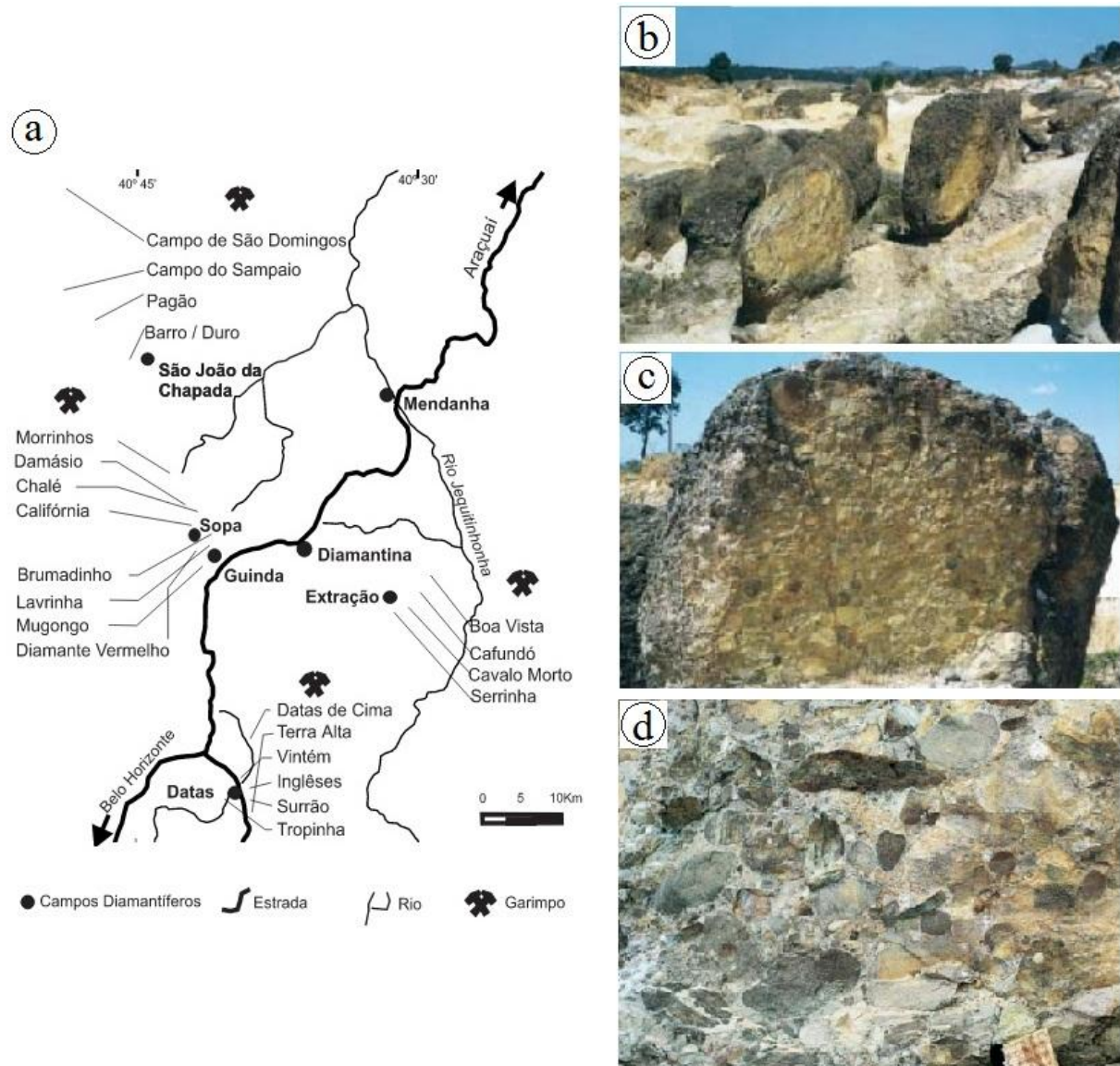


Figura 27: a) Principais sítios onde ocorre o Conglomerado Sopa no Distrito Diamantífero de Diamantina; b) Lavra abandonada de diamantes no Conglomerado Sopa; c,d) Detalhamento do Conglomerado Sopa

Fonte: Chaves e Meneghetti Filho (2002)

O geossítio Pico do Itambé está localizado ao norte do município de Serro e integra parte do Complexo do Espinhaço, com aproximadamente 2.060m de altitude. O Pico do Itambé representa a maior altitude da área de estudo (sendo ele o cume da Serra do Espinhaço) e está inserido em uma região classificada como média geodiversidade. Toda

região de entorno do Pico é protegida pela esfera estadual por meio da Unidade de Conservação Parque Estadual do Pico do Itambé, implantado em janeiro de 2018. Seu acesso é custoso devido ao contorno de aproximadamente 100 km que deve ser feito para acessar a área. No local, há presença de rochas pré-cambrianas do Complexo Basal, do Grupo Serra da Serpentina e do Supergrupo Espinhaço. O local apresenta uma imponente paisagem natural, grande reconhecimento histórico-cultural (bem como cavidades naturais que carregam valiosos registros históricos), numerosas cachoeiras e uma beleza cênica característica da região. Carrega um significativo legado histórico como ponto de referência para historiadores, viajantes e garimpeiros que atuavam na região de Diamantina por meio da extração de diamantes. Atualmente, o Parque que abriga o Pico do Itambé é cuidado por funcionários, habitantes do entorno, que trabalham de forma a preservar a integridade do local, bem como antigos garimpeiros que abandonaram as atividades de garimpo em prol da conservação ambiental nas proximidades do Pico (CHAVES, ANDRADE e BENITEZ, 2013).



Figura 28: a) Vista de oeste para leste do maciço quartzítico com o Pico do Itambé; b) Em destaque, o Pico do Itambé retratado na visão de naturalistas europeus em 1828; c) Trilha de acesso ao Pico do Itambé; d) Pequeno sítio encontrado na área do Parque

Fonte: Chaves, Andrade e Benitez (2013)

5.2. Cenário de mineração

Os critérios restritivos que limitam a exploração mineral na área de estudo somam 26,85% do território total. Tendo em vista todos os critérios utilizados nesta pesquisa, o restante do território apresenta de forma equilibrada e descentralizada áreas que variam entre muito baixa a muito alta aptidão para a mineração (Figura 29).

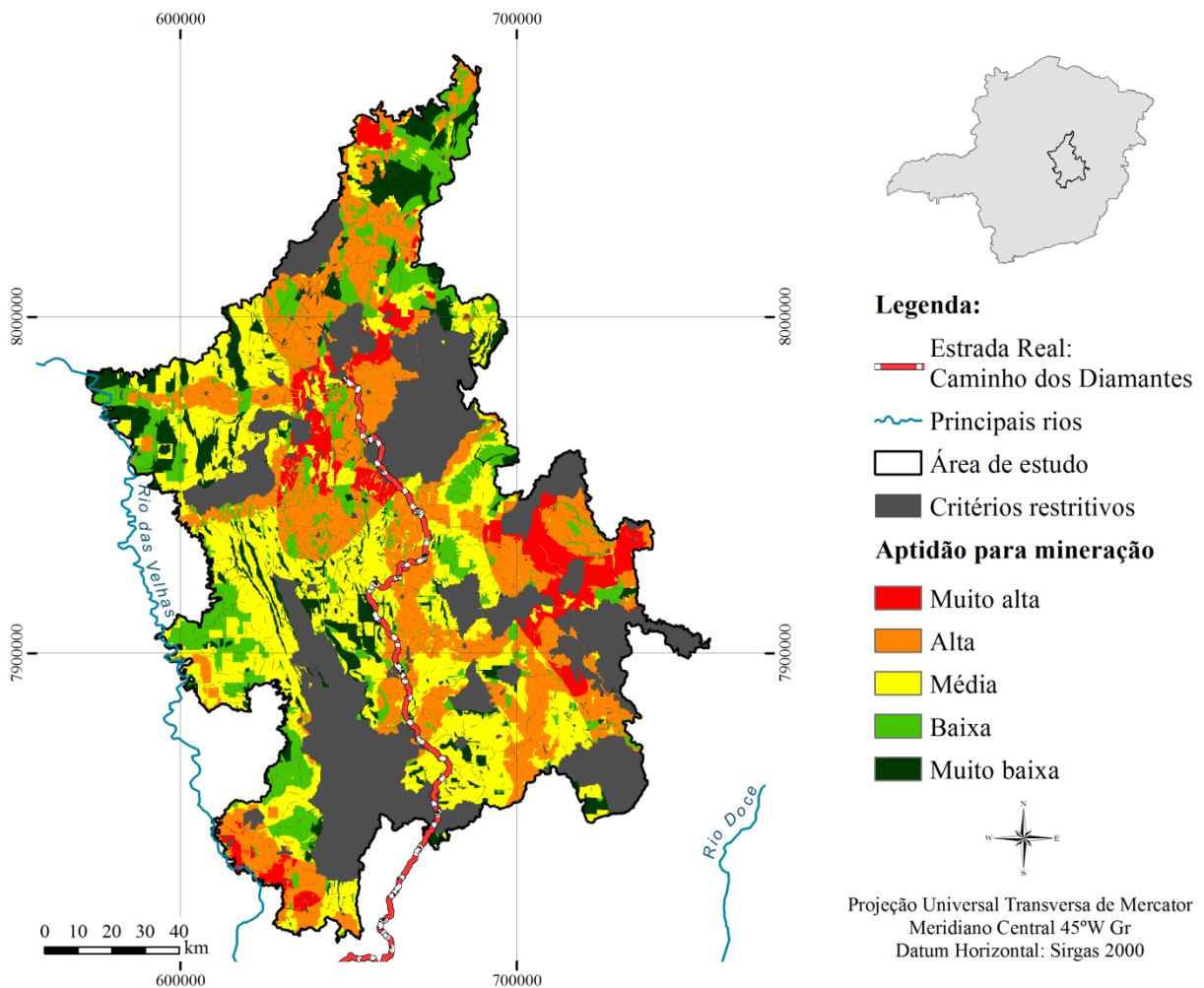


Figura 29: Potencialidade para áreas de exploração mineral

Áreas de alta e muito alta aptidão para exploração mineral se concentram especialmente nas porções do extremo sudoeste, extremo norte-nordeste e em uma faixa transversal que abrange desde a porção central até o leste do território. Estas áreas apresentam uma grande diversidade de recursos minerais e afloramento de rochas, principalmente, do Complexo Belo Horizonte e Membro Pedro Leopoldo (parte dos municípios de Taquaraçu de

Minas e Jaboticatubas); Grupo Macaúbas (parte do município de Diamantina) e; Supergrupo Espinhaço e Grupo Guanhães (porção transversal).

A porção transversal da área, que concentra a maior parte das áreas de muito alta aptidão para a mineração, coincide com as rodovias MG-259 (do município de Guanhães a Datas) e MG-367 (do município de Datas a Couto de Magalhães de Minas). Em alguns dos municípios abrangidos nesta faixa estão presentes diversas e importantes mineradoras que já atuam há alguns anos no local e que exploram rochas de teor ferruginoso e quartzítico (como nos municípios de Guanhães, Sabinópolis, Serro e Diamantina). Ou seja, após a construção deste cenário, verificou-se a presença real de grandes empreendimentos que coincidem com o modelo gerado e validam o resultado.

A análise deste resultado possibilita o estudo e a verificação de áreas para a instalação de novos empreendimentos de cunho minerário, dada a aptidão para tal, de acordo com os critérios aqui utilizados.

5.3. Cenário de geoconservação

O cenário referente à destinação de áreas prioritárias a geoconservação (Figura 30) apresentou poucas regiões que indicam muito baixa aptidão para tal iniciativa. Estas áreas podem ser facilmente observadas nas bordas norte e oeste, bem como em pequenas porções a leste e sudeste do território estudado. Observa-se que as regiões classificadas como de muito baixa aptidão estão mais distantes do eixo principal da Estrada Real.

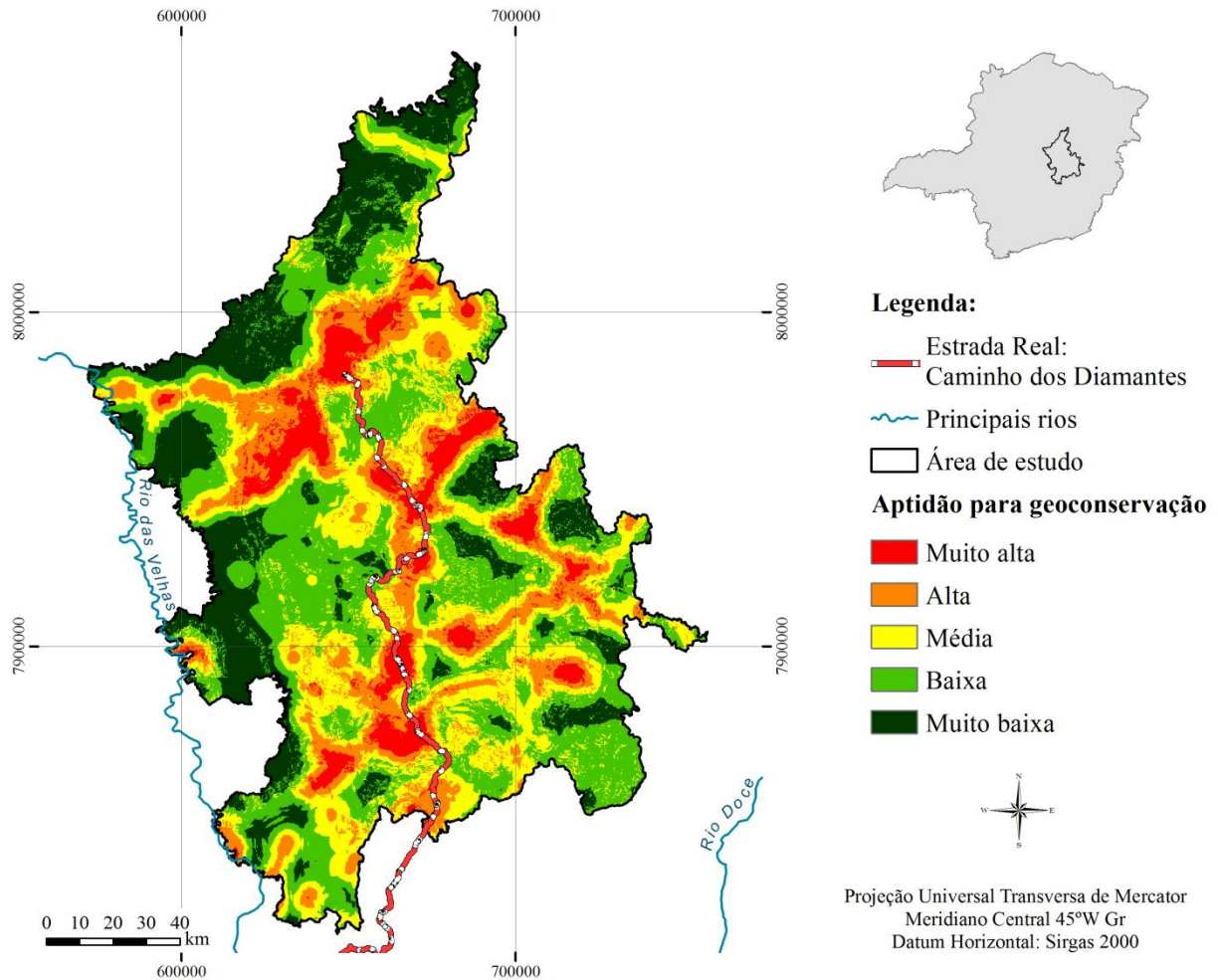


Figura 30: Potencialidade para áreas de geoconservação

Em contrapartida, as áreas com maior aptidão para geoconservação se concentram próximo às principais rodovias e, em grande parte, coincidem com o eixo da Estrada Real que, por sua vez, reúne um número significativo de atrativos turísticos. As maiores manchas se concentram na porção sul de Diamantina (onde se encontra a cidade), norte de Datas (nos arredores da Serra do Camelinho e do Santo Antônio, parte integrante do Complexo do Espinhaço), centro-norte de Serro (no entorno do Pico do Itambé, onde há presença de inúmeras cachoeiras) e na porção central de Conceição do Mato Dentro e Morro do Pilar (próximo a Serra da Ferrugem, municípios onde há ocorrência de importantes cavidades e cachoeiras). A construção deste cenário permitiu a observação da presença real de áreas preservadas pelos governos que coincidem com o modelo gerado e, assim como o modelo de aptidão para exploração mineral, validam o resultado.

Áreas classificadas como de baixa e média aptidão para a geoconservação estão inseridas em todo território e, em geral, não estão presentes nas proximidades de rodovias ou de atrativos turísticos. Quando há atrativos, estes são isolados e em pequena quantidade.

5.4. Cenário integrado

Utilizando a metodologia proposta e gerados os resultados que compuseram os cenários de aptidão para mineração e para geoconservação, tornou-se possível efetuar uma análise combinatória destes cenários e apontar as áreas com potencial para geoconservação, mineração e associação de ambas.

Cada um dos cenários de geoconservação e mineração apresentaram cinco classes diferenciadas (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta aptidão para as referidas atividades) e estas, ao serem associadas, produziram vinte e cinco resultados diferentes, como constam as tabelas a seguir:

Tabela 6: Matriz da síntese de aptidão para geoconservação e mineração

	Mineração	Muito alto	Alto	Médio	Baixo	Muito baixo
Geoconservação	<i>Valores</i>	0	2	4	6	8
Muito alto	0	0	1	2	3	4
Alto	10	5	6	7	8	9
Médio	20	10	11	12	13	14
Baixo	30	15	16	17	18	19
Muito baixo	40	20	21	22	23	24

Fonte: adaptado de Lopes (2015)

Tabela 7: Correspondência entre valores e classes do cenário integrado

	Valores:	Classe:
	0 – 1 – 5 – 6	Combinação
	2	Geoconservação com cuidado
	3 – 4 – 8 – 9	Geoconservação
	7 – 11 – 12 – 13 – 17	Potencial de transformação
	10 – 15 – 16 – 20 – 21	Mineração
	14	Geoconservação com investimento
	18 – 19 – 22 – 23 – 24	Sem interesse imediato

Fonte: adaptado de Lopes (2015)

A análise combinatória gerou sete classes diferentes que construíram o cenário integrado. Este resultado pode ser aferido na Figura 31 seguido da relação entre as classes geradas e os valores relativos às áreas de correspondência (Tabela 9):

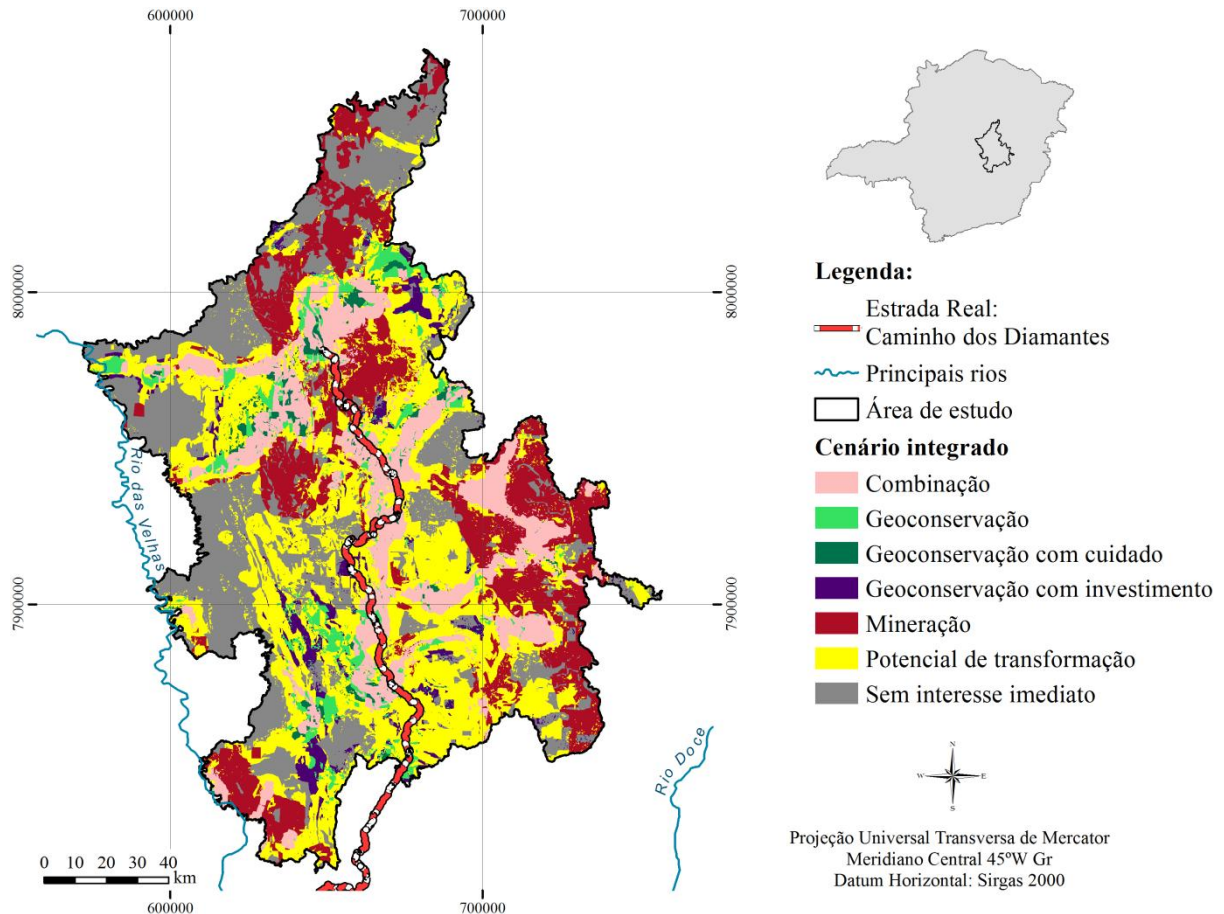


Figura 31: Cenário integrado

Tabela 8: Área correspondente às classes que compõem o cenário integrado

Classe:	Valor relativo (%):
Potencial de transformação	31,90
Sem interesse imediato	25,52
Mineração	19,75
Combinação	14,11
Geoconservação	4,03
Geoconservação com investimento	3,20
Geoconservação com cuidado	1,49

A maior parte da área de estudo indica um forte potencial de transformação, somando 31,90% do território. Estas áreas estão descentralizadas pelo território e representam importantes pontos de competência transicional por não sugerirem, em um primeiro momento, algum tipo de conflito de interesse tendo em vista a aptidão mediana para os dois cenários que integraram o cenário final. Trata-se de áreas de extrema importância, uma vez que esta apresenta cenário favorável para atividades econômicas que transformarão a paisagem.

Áreas sem interesse imediato são áreas que não indicam aptidão para ambas as atividades. Trata-se de áreas livres de conflito ambiental/minerário. Elas representam 25,52% do território total e concentram-se nas porções norte, oeste e centro-leste da área de estudo.

Áreas aptas à mineração são as áreas que indicam potencial alto ou muito alto para atividades de mineração e variam de média a muito baixa aptidão para geoconservação. Estas áreas somam 19,75% do território e encontram-se, principalmente, nos municípios de Jaboticatubas, Taquaraçu de Minas, Ferros, Dolores de Guanhanes, Guanhanes, Senhora do Porto, Sabinópolis, Conceição do Mato Dentro, Gouveia, Datas, Presidente Kubitschek, Serro, Gouveia, Couto de Magalhães de Minas e Diamantina. É possível perceber que estas áreas estão, em sua maioria, próximas à áreas com potencial de transformação ou sem interesse imediato. Desta forma, seria interessante pensar em estudos e propostas que possam trabalhar a reconversão destes territórios para fomentar a economia local.

As áreas que compõem a classe “combinação” estão presentes na região central do território e correspondem a 14,11% do total. Estas áreas são a associação entre aptidão alta ou muito alta de geoconservação e a aptidão alta ou muito alta de mineração. Trata-se de áreas conflituosas que podem ser trabalhadas de forma a atender os interesses voltados às atividades minerais ou voltados à geoconservação. Torna-se importante que órgãos públicos e/ou privados que desejam atuar nestas áreas fundamentem suas propostas de forma a decidir qual a melhor atividade a ser instalada.

Áreas que indicam potencial para geoconservação, geoconservação com cuidado (uma vez que estão no limite de interesse para atividades de exploração mineral) e geoconservação com investimento (áreas, estas, que necessitam de investimento para possível recuperação) são áreas que também indicam de média a muito baixa aptidão para mineração. Estas áreas representam uma parte menos expressiva do território total (somam 8,72%) e estão distribuídas por toda área de estudo, o que torna possível que a gestão pública de cada município possa planejar e propor ações geoconservacionistas, cada um de acordo com a sua particularidade.

A combinação dos cenários de aptidão para a geoconservação e de aptidão para a mineração possibilitou gerar o modelo final integrado. Os resultados provenientes desta etapa do processo foram atualizados de acordo com a disponibilidade das informações públicas e validados por dados secundários. Para melhor refinamento e ajustes do modelo, sugere-se que visitas a campo sejam realizadas com o levantamento de pontos de controle a fim de verificar as classes obtidas de acordo com a realidade local tendo em vista os diferentes usos observados no território.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de forma integrada da paisagem é de fundamental importância para a gestão e para o planejamento de ações no campo ambiental. Por meio da aplicação de técnicas de análise e de modelagem foi possível sugerir e avaliar cenários protótipos para o ordenamento da porção centro-norte do Caminho dos Diamantes, parte integrante da região de abrangência da Estrada Real.

A Estrada Real é considerada a maior rota turística do Brasil, conhecida nacional e internacionalmente, e toda sua extensão compreende um forte potencial em relação à beleza cênica e às paisagens naturais que ali se encontram. Assim como o geoturismo, que caracteriza pelo prisma econômico a região sob influência da rota, a mineração também tem grande potencial em decorrência dos vastos recursos que a geodiversidade local proporciona.

A modelagem de dados espaciais nesta pesquisa permitiu, primeiramente, a indicação de áreas que apresentam diferentes índices de geodiversidade. O modelo revelou áreas de muito baixa a muito alta geodiversidade por meio da quantificação dos elementos do meio físico. Este cálculo possibilitou a verificação dos geossítios cadastrados associados à geodiversidade além de favorecer a indicação de áreas para estudos de futuras propostas de geossítios a fim de enriquecer o conhecimento geocientífico.

A combinação das variáveis do meio físico por meio da análise multicritérios permitiu a visualização de uma compartimentação da paisagem com base nos recursos presentes na região. O primeiro cenário revelou áreas potenciais para instaurar ações de cunho geoconservacionistas, muito importante para a região de estudo que tem uma parcela da sua força econômica sustentada pelo geoturismo. O segundo cenário apontou áreas aptas para a mineração, atividade presente em partes da região, sobretudo naquelas onde há abundância de recursos como o ferro, o ouro e o diamante.

Após a construção destes dois cenários, verificou-se a presença real de empreendimentos minerários e áreas preservadas pelos governos que coincidem com os modelos gerados e validam os resultados. Estes dois cenários puderam, então, ser combinados e possibilitaram gerar um cenário integrado que indicou as áreas com potencial para geoconservação, mineração e associação de ambas.

O território trabalhado configura, em sua maior parcela, regiões com potencial de transformação, além de outras áreas que indicam aptidão para geoconservação e/ou mineração. Estes resultados têm extrema relevância considerando-se a promoção de estudos e propostas que permitem trabalhar a reconversão destes territórios de forma a fomentar a

economia local. Sendo assim, espera-se que este trabalho contribua com a gestão pública ou privada referente aos municípios inseridos no contexto da Estrada Real, auxiliando em seu planejamento e ordenação territorial tendo em vista o conflito do uso dos recursos naturais.

Cabe ressaltar que nesta pesquisa não foram obtidos dados coletados em campo. Os resultados da modelagem final foram atualizados e validados tendo em vista a disponibilidade das informações públicas e dos dados secundários. Visitas a campo podem auxiliar no refinamento e possíveis ajustes do modelo. Para tanto, sugere-se a realização de visitas a campo com a finalidade de obter o levantamento de pontos de controle para a investigação e comparação das classes aqui obtidas com os diferentes usos do solo na realidade local.

No entanto, é necessário ressaltar que o Brasil é um país que sofre de uma carência bastante significativa com relação à inexistência de algumas bases cartográficas ou mapeamentos sistemáticos em escala de detalhes. O detalhamento implica nos resultados obtidos (potencializando ou limitando os produtos) e é um fator que deve ser considerado na aplicação de qualquer metodologia que envolva a distribuição e análise espacial em ambiente SIG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P.A.A.; RENGER, F.E. Origem dos diamantes da Serra do Espinhaço Meridional: o exemplo do Distrito Diamantífero de Sopa-Guinda (Diamantina-MG). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 511-520, 2001.

ADAMY, A. Atrativos geoturísticos. In: _____. (Org.). *Geodiversidade do Estado de Rondônia*. Porto Velho: CPRM, 2010. p. 153-180.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M.; ROCHA, L.C. Mapeamento geomorfológico da Serra do Espinhaço Meridional: primeira aproximação. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, v. 19, n. 2, p. 50-69, 2011.

BAPTISTA, M.C. et al. Aspectos gerais do meio físico. In: MACHADO, M.F.; SILVA, S.F. *Geodiversidade do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CPRM, 2010. p. 15-34.

BESSA, A.S.M. A construção das paisagens turísticas no velho Caminho dos Diamantes. *Paisagem e Ambiente: Ensaio*, São Paulo, n. 32, p. 129-150, 2013.

BORGES, K.; DAVIS, C. Modelagem de dados geográficos. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2004. p. 1-78.

BRAGA, L.O. Etnocartografia e modelagem do território sagrado das comunidades tradicionais de candomblé, Santa Luzia, MG. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA n. 302, de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno – Brasília, DF, 20 mar. 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA n. 303, de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente – Brasília, DF, 13 mai. 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA n. 369, de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Áreas de Preservação Permanente - APP – Brasília, DF, 28 mar. 2006.

BRILHA, J. Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. 1. ed. Braga: Palimage Editores, 2005.

CALDEIRA, A.B.; ABREU, J.F. Cultura e Desenvolvimento na Estrada Real. In: CONGRESSO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE CABO VERDE, 1., 2009, Cabo Verde. Anais... Cabo Verde: REDES E DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2009. p. 1-12.

- CHAVES, M.L.S.C.; ANDRADE, K.W.; BENITEZ, L. Pico do Itambé, Serra do Espinhaço, MG – Imponente relevo residual na superfície de erosão Gondwana. In: WINGE, M. et al. (Ed.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: CPRM, 2013. p. 57-68.
- CHAVES, M.L.S.C.; MENEGHETTI FILHO, I. Conglomerado Diamantífero Sopa, Região de Diamantina, MG - Marco histórico da mineração do diamante no Brasil. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: DNPM/CPRM – SIGEP, 2002. p. 517-527.
- CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1999.
- CROFTS, R. Promoting geodiversity: learning lessons from biodiversity. Proceedings of the Geologists' Association, Londres, v. 125, n. 3, p. 263-266, 2014.
- DESENVOLVIMENTO ou crescimento? Os dilemas da economia do Espinhaço. Revista Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, Brasília, v. 1, n. 1, p. 58-67, 2017.
- DOWNLING, R. Geotourism's contribution to local and regional development. In: CARVALHO, N.; RODRIGUES, J. (Ed.). Geoturismo & Desenvolvimento Local. Idanha-A-Nova: 2008. p. 15-37.
- FARIAS, C.E.G. Mineração e meio ambiente no Brasil. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/minera.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2018.
- GOLDBARG, M.C.; LUNA, H.P.L. Otimização combinatória e programação linear. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- GONÇALVES, J.R.S. O patrimônio como categoria de pensamento. In: ABREU, R.; CHAGAS, M. (Org.). Memória e patrimônio: ensaios contemporâneos. Rio de Janeiro: Editora Lamparina, 2009. p. 25-33.
- GORDON, J.E. et al. Engaging with geodiversity – why it matters. Proceedings of the Geologists' Association, Londres, v. 123, n. 1, p. 1-6, 2012.
- GOULART, P. et al. Quantificação da geodiversidade e avaliação da distribuição espacial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Silva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 47., 2014, Salvador. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 2014. p. 116-132.
- GRAY, M. Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. 1. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
- GRAY, M. Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. 1. ed. Chichester: Wiley Blackwell, 2013.
- HOSE, T.A. Selling the Story of Britain's Stone. Environmental Interpretation, s.l. v. 10, n. 2, p. 16-17, 1995.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Relatório anual de atividades: junho de 2016 a julho de 2017. Brasília, DF: IBRAM, 2017. Disponível em: <http://portaldaminerao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2017/08/WEB_REL_IBRAM_2017.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2018.

JORGE, M.C.O.; GUERRA, A.J.T. Geodiversidade, geoturismo e geoconservação: conceitos, teorias e métodos. Espaço Aberto, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 151-174, 2016.

KNAUER, L.G. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: considerações sobre a sua estratigrafia e seu arranjo estrutural. Revista Geonomos, Belo Horizonte, v. 15, n. 1, p. 81-90, 2007.

LICCARDO, A.; MANTESSO-NETO, V.; PIEKARZ, G.F. Geoturismo urbano: possibilidades para geoconservação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. Anais... Belém: SBG, 2010. Disponível em: <<http://www.geoturismobrasil.com/Material%20didatico/Geoturismo%20Urbano.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

LIMA, M.C.P.B; BARROSO, M.M.A.; MUZZARELLI, A. A determinação do melhor trajeto entre dois pontos de parada de ônibus, na região central de Belo Horizonte. In: ABREU, J.F.; BARROSO, L.C. (Org.). Geografia, modelos de análise espacial e GIS. Belo Horizonte: Editora PUC Minas, 2003. p. 31-62.

LOPES, C.R.G. Modelagem do uso e conservação dos recursos da geodiversidade no município de São Thomé das Letras – MG. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

LOPES, L.S.O.; ARAÚJO, J.L.; CASTRO, A.J.F. Geoturismo: estratégia de geoconservação e de desenvolvimento local. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 21, n. 35, p. 1-11, 2011.

MANOSSO, F.C. Geodiversidade e geoturismo: o potencial da Serra do Cadeado-PR. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM TURISMO DO MERCOSUL, 6., 2010, Caxias do Sul. Anais... Caxias do Sul: UCS, 2010. p. 1-14.

MANOSSO, F.C. Potencialidades da paisagem na região da Serra do Cadeado – PR: abordagem metodológica das relações entre a estrutura geocológica, a geodiversidade e o geoturismo. 2012. 183 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

MANOSSO, F.C.; PELLITERO, R.O. Geodiversidade: considerações sobre quantificação e avaliação da distribuição espacial. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, v. 35, n. 1, p. 90-100, 2012.

MEIRA, S.A.; MORAIS, J.O. Os conceitos de geodiversidade, patrimônio geológico e geoconservação: abordagens sobre o papel da geografia no estudo da temática. Boletim de Geografia, Maringá, v. 34, n. 3, p. 129-147, 2016.

MOREIRA, J.C. Geoturismo e interpretação ambiental. 1. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014.

MOREIRA, F.R.; CÂMARA, G.; ALMEIRA FILHO, R. Técnicas de suporte à decisão para modelagem geográfica por álgebra de mapas. São José dos Campos: Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas Ação “Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental”, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_suporte_decisao.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2018.

NASCIMENTO, M.A.L.; MANSUR, K.L.; MOREIRA, J.C. Bases conceituais para entender geodiversidade, patrimônio geológico, geoconservação e geoturismo. Revista Equador, Teresina, v. 4, n. 3, p. 28-48, 2015.

NASCIMENTO, M.A.L.; RUCHKYS, U.A.; MANTESSO-NETO, V. Geoturismo: um novo segmento do turismo no Brasil. Global Tourism, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 1-24, 2007.

NASCIMENTO, M.A.L.; RUCHKYS, U.A.; MANTESSO-NETO, V. Geodiversidade, geoconservação e geoturismo: trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico. 1. ed. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008.

NATIONAL GEOGRAPHIC TRAVELER. Geotourism Principles. National Geographic. Disponível em: <http://www.nationalgeographic.com/travel/sustainable/pdf/geotourism_charter_template>. Acesso em: 02 fev. 2017.

NECHES, I.M. Geodiversity beyond material evidence: a Geosite Type based interpretation of geological heritage. Proceedings of the Geologists’ Association, Londres, v. 127, n. 1, p. 78–89, 2016.

NIETO, L.M. Patrimonio Geológico, Cultura y Turismo. Boletín del Instituto de Estudios Ginnenses, v. 3, n. 182, p. 109-124, 2002.

NOCE, C.M. et al. O embasamento arqueano e paleoproterozóico do Orógeno Araçuaí. Revista Geonomos, Belo Horizonte, v. 15, n. 1, p. 17-23, 2007.

PAULA, S.F.; CASTRO, P.T.A. Toponímia das cidades pertencentes ao Caminho dos Diamantes: dois séculos de viagens motivadas pela geodiversidade. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 27, n. 2, p. 257-270, 2017.

PAULA, S.F.; CASTRO, P.T.A. Oportunidades geoturísticas do Caminho dos Diamantes: uma viagem pela perspectiva dos viajantes naturalistas. Rosa dos Ventos Turismo e Hospitalidade, Caxias do Sul, v. 10, n. 2, p. 213-229, 2018.

PELLITERO, R. et al. Geodiversity and geomorphosite assessment applied to a natural protect area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). Geoheritage, Berlim, v. 3, n. 3, p. 163-174, 2011.

PEREIRA, E.O. Modelagem da geodiversidade da Área de Proteção Ambiental Sul da região metropolitana de Belo Horizonte. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

PEREIRA, E.O.; RUCHKYS, U. Quantificação e análise da geodiversidade aplicada ao geoturismo na Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte – Minas Gerais. *Revista Ra'e Ga: O Espaço Geográfico em Análise*, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 207-226, 2016.

PEREIRA, R.G.F.A. RIOS, D.C.; GARCIA, P.M.P. Geodiversidade e patrimônio geológico: ferramentas para a divulgação e ensino das Geociências. *Terrae Didactica*. Campinas, v. 12, n. 3, p. 196-208, 2016.

PMDG – PREFEITURA MUNICIPAL DE DORES DE GUANHÃES. Plano municipal de saneamento básico de Dores de Guanhanes / MG. Dores de Guanhanes, MG: Município de Dores de Guanhanes, 2016. Disponível em: <http://pmsbfunec.com.br/Produtos/Santo_Antonio/Dores_de_Guanhaes/P1.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2018.

RESENDE, A.V.; EVANGELISTA, V.K.P; BUENO, G.T. Análise geoambiental do Rio Santo Antônio, Bacia Federal do Rio Grande – MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. Anais: Dinâmicas de Vertentes e Interações Pedogeomorfológicas Maringá: União da Geomorfologia Brasileira, 2016. v. 443.

REZENDE, V.L. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 375-384, 2016.

RUBAN, D.A. Quantification of geodiversity and its loss. *Proceedings of the Geologists' Association*, Londres, v. 121, n. 3, p. 326-333, 2010.

RUCHKYS, U.A. Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um Geoparque da UNESCO. 2007. 233 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

RUCHKYS, U.A. Geoparques e a musealização do território: um estudo sobre o Quadrilátero Ferrífero. *Geologia USP. Publicação Especial*, v. 5, p. 35-46, 2009.

RUCHKYS, U.; MACHADO, M.M.M.; CACHÃO, M. Programa Rocha Amiga, iniciativas para crianças do ensino fundamental no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro, v. 35, n. 1, p. 261-270, 2012.

SÁ JUNIOR, A. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais. 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SAADI, A. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 41-63, 1995.

SANTOS, M. Estradas Reais: Introdução ao estudo dos caminhos do ouro e do diamante no Brasil. 1. ed. Belo Horizonte: Editora Estrada Real, 2001.

SENA, I.S. Análise do potencial geoturístico da região central da Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa – MG. 2015. 115 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity: A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica*, Zurique, v. 62, n. 3, p. 140-147, 2007.

SHARPLES, C. A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes. 1. ed. Tasmânia: Forestry Commission, 1993.

SHARPLES, C. Concepts and Principles of Geoconservation. 1. ed. Tasmânia: Tasmanian Parks & Wildlife Service, 2002.

SILVA, C.R. et al. Começo de Tudo. In: SILVA, C.R. (Org.). Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 11-20.

SILVA, V.A. Mapa de solos, conhecimento de campo, inventário florestal e zoneamento ecológico-econômico como base para a aptidão agrícola das terras em Minas Gerais elaborada em SIG. 2014. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SOARES-FILHO, B.S. Modelagem de dados espaciais. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/modelagemdedadosespaciais.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2018.

TRAVASSOS, L.E.P.; GUIMARÃES, R.L.; VARELA, I.D. Áreas cársticas, cavernas e a Estrada Real. *Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas*, Campinas, v. 1, n. 2, p. 107-120, 2008.

UMBELINO, G.; CARVALHO, R.; ANTUNES, A. Uso da cartografia histórica e do SIG para a reconstituição dos Caminhos da Estrada Real. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 61, p. 63-70, 2009.

VALENTE, E.L. Relações solo-vegetação no Parque Nacional da Serra do Cipó, Espinhaço Meridional, Minas Gerais. 2009. 157 f. Tese (Doutorado em Solo e Nutrição de Plantas) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

VERDI, M. et al. A Serra do Espinhaço Meridional. In: POUGY, N. et al. (Org.). Plano de Ação Nacional para a conservação da flora ameaçada de extinção da Serra do Espinhaço Meridional. Rio de Janeiro: JBRJ, 2005. p. 19-32.

ZOUROS, N. The European Geoparks Network: geological heritage protection and local development. *Episodes*, Seoul, v. 27, n. 3, p. 165-171, 2004.

ANEXOS

ANEXO I: Atrativos turísticos da área de estudos

	Nome do atrativo	Localidade
1	Cachoeira da Campina	Alvorada de Minas
2	Capela do Cemitério Senhor dos Passos	
3	Mirante da Escadinha	
4	Igreja Matriz Santo Antônio	
5	Cachoeira de Tabuleiro	Conceição do Mato Dentro
6	Cachoeira Três Barras	
7	Santuário Bom Jesus de Matozinhos	
8	Colina da Paz	
9	Lago das Ninfas	
10	Lago Azul	
11	Poço Piraquara	
12	Igreja Matriz Nossa Senhora da Conceição	
13	Igreja Matriz de Nossa Senhora da Aparecida	
14	Parque Salão de Pedras	
15	Mirante da Serra da Ferrugem	
16	Cachoeira Rabo de Cavalo	
17	Cachoeira da Barragem	Congonhas do Norte
18	Cachoeira do Tomé	Couto de Magalhães de Minas
19	Pinturas Rupestres	
20	Cachoeira dos Vaqueiros	
21	Cachoeira da Fábrica	
22	Igreja Nossa Senhora da Conceição	
23	Capela Senhor de Bom Jesus de Matozinhos	
24	Igreja Matriz do Divino Espírito Santo	Datas
25	Lapa Pintada	
26	Casa de Juscelino Kubitscheck, Passadiço Casa da Glória, Casario e Serra	Diamantina
27	Igreja de São Francisco de Assis	
28	Caminho dos Escravos	
29	Garimpo Real	
30	Capela Imperial de Nossa Senhora do Amparo	
31	Casa do Muxarabiê	
32	Igreja Nossa Senhora do Rosário	
33	Praça da UNESCO	
34	Cachoeira das Fadas	
35	Igreja Nosso Senhor do Bonfim	
36	Cachoeira dos Cristais	
37	Casa Chica da Silva	
38	Parque Estadual do Biribiri	
39	Casa de Cultura	
40	Gruta do Salitre	
41	Catedral Metropolitana Santo Antônio da Sé	
42	Basílica Sagrado Coração de Jesus	
43	Mercado Velho	
44	Igreja Nossa Senhora do Carmo	
45	Igreja Nossa Senhora da Luz	
46	Casa da Intendência	
47	Casa da Glória	

48	Cachoeira da Toca	
49	Sítio Arqueológico do Batatal	
50	Cachoeira do Telésforo	
51	Igreja do Sagrado Coração de Jesus	
52	APA Gameleira	Dom Joaquim
53	Complexo Turístico da Barragem	
54	Cachoeira do Sabiá	Dores de Guanhões
55	Cachoeira da Guarda	
56	Igreja Matriz de Nossa Senhora das Dores	
57	Igreja Sagrado Coração de Jesus	Felício dos Santos
58	Lajeado do Noronha	
59	Igreja Dona Izabel	
60	Ampar Barão Capivara	Gouveia
61	Cachoeira do Engenho	
62	Cachoeira Capivari	
63	Serra do Pasmarra	
64	Serra do Camelinho	
65	Serra do Santo Antônio	
66	Muros de Pedra	
67	Igreja Matriz de Santo Antônio	
68	Igreja de Nossa Senhora das Dores	
69	Rio Capivara	
70	Cachoeira do Cuiabá	
71	Igreja Matriz São Miguel e Almas	Guanhões
72	Casa de Cultura Laet Berto	
73	Pico do Itacolomi de Itambé	Itambé do Mato Dentro
74	Igreja Matriz Nossa Senhora das Oliveiras	
75	Cachoeira da Vitória	
76	Cânion da Serenata	
77	Cachoeira do Funil	
78	Cachoeira do Lúcio	
79	Cachoeira da Serenata	
80	Fazenda do Cipó	Jaboticatubas
81	Igreja de Nossa Senhora do Rosário	
82	Cachoeira do Sr, Dimas	
83	Serra do Bené	
84	Cachoeira do Bueno	Monjolos
85	Lajeado	Morro do Pilar
86	Cachoeira do Tombo	
87	Monumento Intendente Câmara	
88	Cachoeira do Pica Pau	
89	Rio Preto	
90	Cachoeira das Pedras	
91	Cachoeira do Baú	Nova União
92	Cachoeira Alta	
93	Cachoeira de Jose Joaquim	
94	Cachoeira do Mangue Seco	Presidente Kubitschek
95	Cachoeira do Laércio	
96	Cachoeira Ananias	

97	Igreja Matriz de São Gonçalo	São Gonçalo do Rio Preto
98	Capela Senhor do Bom Jesus	
99	Parque Estadual do Rio Preto	
100	Igreja Matriz de São Sebastião do Rio Preto	São Sebastião do Rio Preto
101	Igreja Matriz de São Sebastião	Sabinópolis
102	Igreja Nossa Senhora do Rosário	
103	Cachoeira dos Inhames	Santana de Pirapama
104	Capela de São Sebastião	
105	Serra do Cipó, Canyon das Bandeirinhas, Cachoeira Serra Morena	Santana do Riacho
106	Pico da Lapinha	
107	Cachoeira Paraíso	
108	Cachoeira da Água Santa	Santo Antônio do Itambé
109	Cachoeira do Lajeado	
110	Parque Estadual Pico do Itambé	
111	Ponte de Pedra	
112	Chafariz João Baracho	
113	Cachoeira do Lajeado	
114	Cachoeira da Fumaça	
115	Igreja Matriz de Santo Antônio	
116	Cachoeira do Chuvisco	Santo Antônio do Rio Abaixo
117	Estação Central	Santo Hipólito
118	Igreja Nossa Senhora da Glória	
119	Cachoeira do Trombé	Serra Azul de Minas
120	Cachoeira da Barragem	
121	Escadaria e Capela de Santa Rita	Serro
122	Chácara do Barão de Diamantina	
123	Casarão de Pedro Lessa	
124	Museu Regional Casa dos Otoni	
125	Antiga Casa General Carneiro	
126	Casa de Caridade Santa Tereza	
127	Chácara Barão do Serro	
128	Igreja Nossa Senhora do Carmo	
129	Sobrado da Prefeitura Municipal	
130	Igreja Nossa Senhora do Rosário	
131	Igreja Bom Jesus do Matozinhos	
132	Igreja de São Geraldo	
133	Serra do Raio e Várzea do Lageado	
134	Capela de São Miguel	
135	Cachoeira do Benevides	Taquaraçu de Minas
136	Cachoeira da Vargem Formosa	