



**STÉPHANIE MARENGO**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL À  
EXPLORAÇÃO MINERÁRIA EM UMA UNIDADE DE  
CONSERVAÇÃO**

**LAVRAS-MG  
2019**

**STÉPHANIE MARENGO**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL À EXPLORAÇÃO  
MINERÁRIA EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Engenharia  
Florestal, para obtenção do título de Bacharela.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo  
(Orientador)

M.Sc. Daniel Fernando Costa do Prado  
(Coorientador)

**LAVRAS-MG  
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Marengo, Stéphanie.

Avaliação da vulnerabilidade ambiental à exploração mineral  
em uma Unidade de Conservação / Stéphanie Marengo. - 2019.  
47 p.

Orientador(a): Lucas Amaral de Melo.

Coorientador(a): Daniel Fernando Costa do Prado.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Analytical Hierarchy Process. 2. Exploração mineral. 3.  
Vulnerabilidade ambiental. I. Melo, Lucas Amaral de. II. Prado,  
Daniel Fernando Costa do. III. Título.

**STÉPHANIE MARENGO**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL À EXPLORAÇÃO  
MINERÁRIA EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Engenharia  
Florestal, para obtenção do título de Bacharela.

APROVADA em 06 de dezembro de 2019.

Dr. Lucas Amaral de Melo – UFLA.

M.Sc. Daniel Fernando Costa do Prado – UFLA.

M.Sc. Wanderley Jorge da Silveira Junior – UFLA.

M.Sc. Bruno Gualberto Procópio Lage – UFLA.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo  
(Orientador)

M.Sc. Daniel Fernando Costa do Prado  
(Coorientador)

**LAVRAS-MG  
2019**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao Divino e à mãe natureza por me servir de inspiração e contemplação nos dias difíceis.

Agradeço imensamente à minha mãe, por ser um exemplo de vida, lutando e me fortalecendo todos esses anos sem cessar.

Agradeço ao Prof. Lucas Amaral de Melo, pela humanidade, paciência e oportunidade.

Aos meus amigos Débora, Rafa, Alanna, Humbertinho e Wagner, por me apoiarem nos momentos em que mais necessitei.

Ao Bonitinho (Daniel) pelo auxílio, orientação e amizade, ao Luciano pelo apoio e ao Bruninho pelo companheirismo e por fazer meus dias mais leves e divertidos.

Ao Parque Francisco de Assis, por me dar motivos para viver, sorrir e servir à uma linda causa.

E a todos que me auxiliaram de forma direta ou indiretamente.

## RESUMO

O estudo foi desenvolvido dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA SUL RMBH), região esta que se destaca por possuir uma das maiores extensões de cobertura vegetal do estado de Minas Gerais e por ser responsável por fornecer aproximadamente 70% do abastecimento hídrico de Belo Horizonte, pois estão inseridas na área duas bacias hidrográficas, a Bacia do Rio Doce e a Bacia do Rio São Francisco. Além disso, a região possui altos índices de exploração mineral, o que faz com que os danos ao meio ambiente promovidos por este tipo de exploração aumentem com o decorrer dos anos, gerando assim um conflito entre exploração e conservação. Sendo assim, ao desenvolver o presente estudo, objetivou-se evidenciar as áreas de vulnerabilidade ambiental à exploração mineral, no interior da APA SUL RMBH, através de uma análise multicritério com o auxílio da técnica Analytic Hierarchy Process (AHP) integrado ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), visando definir o grau de importância das áreas a sofrer processos de exploração (ou avanço) de atividades minerais. Foram utilizados cinco critérios para a análise de vulnerabilidade ambiental: (I) distância das unidades de conservação de proteção integral, (II) distância da classe mineração, (III) geologia, (IV) classes de solos e (V) fitofisionomias. Os critérios foram classificados com pesos em uma escala variando de 1 (menor vulnerabilidade) a 3 (maior vulnerabilidade). A definição dos graus de importância de cada critério, foi realizada por pesquisadores da área de meio ambiente e o resultado da matriz de comparação AHP indicou que o maior peso foi atribuído ao critério geologia na determinação das áreas mais vulneráveis ambientalmente à exploração mineral, devido a sua relação com os tipos geológicos de maior valor econômico exploratório, tornando estas áreas e as áreas adjacentes mais sensíveis ambientalmente. Através do mapa de vulnerabilidade gerado, verificou-se que 25,02% da área (40842,63 ha) foi classificada com alta vulnerabilidade, 52,12% (85063,05 ha) com média vulnerabilidade e 22,84% (37286,28 ha) com baixa vulnerabilidade. O estudo também comprovou a correlação direta com risco de extinção de algumas espécies da flora brasileira ameaçadas pela intensa exploração mineral na região, com as áreas de elevada vulnerabilidade ambiental, ressaltando assim a prioridade dessas áreas com alta e média vulnerabilidade ambiental geradas no mapa final. Este estudo oferece uma metodologia que poderia servir como insumo para produção de cartas, apresentando áreas prioritárias para a conservação ou para o Zoneamento Ecológico Econômico em unidades de conservação de uso sustentável e zonas de amortecimento no entorno de unidades de conservação de proteção integral.

**Palavras-chave:** Analytical Hierarchy Process. Exploração mineral. Sistema de informação geográfica. Vulnerabilidade ambiental. Unidades de conservação.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição da produção mineral no Estado de Minas Gerais.....	14
Figura 2 – Localização da APA SUL RMBH no contexto do estado de Minas Gerais, Brasil, sua organização hipsométrica com os principais municípios no entorno. ....	25
Figura 3 – Fluxograma detalhando os principais passos para a avaliação da vulnerabilidade ambiental à exploração minerária na APA SUL RMBH por meio de análise multicritério. ...	27
Figura 4 – Mapas gerados baseados nos multicritérios e pesos para APA SUL RMBH.....	36
Figura 5 – Mapa de vulnerabilidade ambiental à exploração minerária na APA SUL RMBH. ....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização das Unidades de Conservação. ....	18
Tabela 2 – Parâmetros iniciais considerados no estudo, formato do arquivo e fonte. ....	26
Tabela 3 – Atribuição das classes para os níveis de vulnerabilidade ambiental. ....	27
Tabela 4 – Categorias da camada Distância das UCs de Proteção Integral intervalo da classe e seus respectivos pesos. ....	28
Tabela 5 – Categorias da camada Distância da Classe Mineração intervalo da classe e seus respectivos pesos. ....	29
Tabela 6 – Categorias da camada Fitofisionomias intervalo da classe e seus respectivos pesos. ....	30
Tabela 7 – Categorias da camada Classes de Solos intervalo das classes e seus respectivos pesos. ....	30
Tabela 8 – Categorias da camada Geologia intervalo das classes e seus respectivos pesos. ...	31
Tabela 9 – Intensidade da escala de classificação de Saaty. ....	32
Tabela 10 – Matriz de comparação pareada entre os critérios do estudo. ....	34
Tabela 11 – Pesos finais por ordem de importância, numéricos e em porcentagem. ....	35
Tabela 12 – Níveis de vulnerabilidade ambiental aplicados as atividades minerárias para APA SUL RMBH. ....	35



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>A mineração no quadrilátero ferrífero .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Impactos gerados pela mineração .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Unidades de Conservação .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>Aspectos legais da atividade minerária dentro de Unidades de Conservação .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5</b>	<b>Sistemas de Informações Geográficas .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6</b>	<b>Análise multicritério e álgebra de mapas.....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Aquisição da base de dados .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Preparação das camadas .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>Distância das Unidades de Conservação de Proteção Integral.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5</b>	<b>Distância da classe mineração .....</b>	<b>28</b>
<b>3.6</b>	<b>Fitofisionomias .....</b>	<b>29</b>
<b>3.7</b>	<b>Classes de solos.....</b>	<b>30</b>
<b>3.8</b>	<b>Geologia.....</b>	<b>30</b>
<b>3.9</b>	<b>Espécies da flora ameaçadas de extinção no Quadrilátero Ferrífero .....</b>	<b>31</b>
<b>3.10</b>	<b>Processo Analítico Hierárquico (AHP) .....</b>	<b>31</b>
<b>3.11</b>	<b>Álgebra de mapas.....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Comparação pareada dos critérios.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Mapa final da vulnerabilidade ambiental.....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade os centros urbanos estão em um ritmo acelerado de desenvolvimento, com isso são geradas demandas no mercado para que sejam supridas as necessidades da população. Visando o crescimento, a sociedade tem se desenvolvido baseando-se na utilização dos recursos naturais. No entanto, sabe-se que os recursos naturais estão cada vez mais escassos e que a sua exploração descontrolada e irracional, poderá resultar em uma crise ecológica sem precedentes, que impactará diretamente na vida dos seres humanos. Com base nas preocupações oriundas das questões ambientais, foi necessário a criação de espaços especiais de manutenção da biodiversidade, do patrimônio genético a ela associado, dos ecossistemas e dos recursos naturais. Desta forma, no Brasil, foram criadas as áreas naturais legalmente protegidas, denominadas Unidades de Conservação (UC) (HASSLER, 2005).

A região conhecida como Quadrilátero Ferrífero (QF), possui a maior diversidade florística da América do Sul (GIULIETTI; PIRANI; HARLEY, 1997). Além disso, o local possui uma elevada taxa de endemismo em sua flora (GIULIETTI et al., 1987). Drummond et al. (2005), citam que o QF pode ser considerado uma área de “importância biológica especial”.

Segundo dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2005) o QF é considerado a mais importante província metalogenética do Brasil, possuindo importantes jazidas de ferro, ouro, manganês, bauxita, dentre outros. Inserindo-se no Quadrilátero Ferrífero, destaca-se a APA SUL RMBH, por possuir grande biodiversidade e elevado potencial hídrico além de uma enorme relação com aspectos sócio- culturais e econômicos relacionados à tradição minerária local (CPRM, 2005a).

Spósito e Stehmann (2006), acrescentam que a APA SUL RMBH possui uma das maiores extensões de cobertura vegetal do estado de Minas Gerais e é responsável por fornecer aproximadamente 70% do abastecimento hídrico de Belo Horizonte, pois nela estão inseridas duas bacias hidrográficas, a Bacia do Rio Doce e a Bacia do Rio São Francisco.

De acordo com a Fundação Biodiversitas (1993), na APA SUL RMBH existem muitas áreas de preservação permanente que se localizam em diferentes categorias de unidades de conservação, sendo elas: Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) da Serra do Caraça, APA Municipal do Mingu, Reserva Biológica da Mata do Jambreiro (RPPN), Parque Estadual da Baleia, Parque Estadual do Jatobá, Estação Ecológica de Fechos, Parque Estadual da Serra do Rola Moça e o mais recentemente criado Parque Nacional da Serra do Gandarela. Além destas, existem ainda as Áreas de Proteção Especial (APE), que são áreas de captação de água

da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e possuem uma legislação específica.

Cerca de 77% da área da APA SUL RMBH está coberta por títulos minerários, onde 25% correspondem a autorização de pesquisa e 52% correspondem a manifestos de minas e concessões de lavras, gerando assim um rico potencial mineral para a região, sendo considerado um dos poucos lugares no mundo com áreas tão requisitadas por atividades minerárias (CPRM, 2005a).

Apesar do pouco conhecimento a respeito da diversidade biológica da região, a APA SUL RMBH, foi enquadrada nas Prioridades para Conservação da Biodiversidade do Estado de Minas Gerais, devido à alta taxa de endemismo de plantas e animais e as contínuas pressões de desmatamento, expansão urbana, mineração e turismo na região (COSTA et al., 2005).

A APA SUL RMBH pode ser considerada a maior unidade de conservação do Quadrilátero Ferrífero, contudo mesmo que a categoria de manejo desta UC permita aliar exploração com conservação ambiental, a conservação em sua grande maioria esteve em segundo plano. Sendo assim, desde a criação desta APA, em 1994, não foram verificados avanços nas medidas de controle de processos de degradação ambiental (AMDA; IEF, 2008; IEF, 2015).

Diante do exposto, ressalta-se o risco de comprometimento da biodiversidade que unidades de conservação como a APA SUL RMBH sofrem, caso medidas de controle ao desmatamento desenfreado não ocorrerem. Dias e Silva (2014), ressaltam que as técnicas de análise multicritério, tem sido utilizadas como suporte nas pesquisas espaciais e nas questões ambientais, convertendo-se em métodos eficazes nos estudos científicos. Como exemplo tem-se: Saaty (1977), Barbosa (1997), Câmara, Davis e Monteiro (2001), Tagliani (2003), Ross (2003), Sena (2008), Lobão, Franca-Rocha e Silva (2011), etc.

Os mapas propiciam melhores definições para as diretrizes de um planejamento implantado em um determinado espaço. Dessa forma, a geração e análise de mapas de vulnerabilidade ambiental são de suma importância em estudos ambientais, pois proporcionam identificar e localizar áreas com maior potencial de fragilidade ambiental (FERREIRA et al., 2011).

A vulnerabilidade ambiental pode ser definida como a avaliação das condições de risco da área a processos geoambientais, como erosão, contaminação dos solos, recursos hídricos, dentre outros (SANTOS et al., 2007).

Neste contexto, a presente pesquisa propõe evidenciar as áreas de vulnerabilidade ambiental à exploração mineral no interior da APA SUL RMBH, a partir da análise multicritério com auxílio da técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP), definindo assim, o grau de importância das áreas a sofrer processos de exploração (ou avanço) destas atividades.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A mineração no quadrilátero ferrífero

Desde o início do surgimento do Brasil, a história do país e a mineração se misturam, pois, tal história foi permeada e desenvolvida em torno desta prática. Por conseguinte, devido ao potencial minerador do país, várias empresas de muitos países demonstram demasiado interesse e ambição no mesmo. A maioria destes países desenvolvem tal interesse, por estar intrinsecamente relacionado com o progresso de si próprios (COSTA; ASSIS, 2018).

Segundo IBRAM (2016):

“Minas Gerais é o mais importante estado minerador do país; Minas Gerais extrai mais de 160 milhões de toneladas/ano de minério de ferro; O Estado é responsável por aproximadamente 53% da produção brasileira de minerais metálicos e 29% de minérios em geral; As reservas mineiras de nióbio são para mais de 400 anos. Existem somente três minas em todo o mundo; A atividade de mineração está presente em mais de 250 municípios mineiros; Dos dez maiores municípios mineradores, sete estão em Minas, sendo Itabira o maior do País. Mais de 300 minas estão em operação. Das 100 maiores do Brasil, 40 estão localizadas no Estado. 67% das minas classe A (produção superior a 3 milhões t/ano) estão em MG.” (IBRAM, 2016, p. 2).

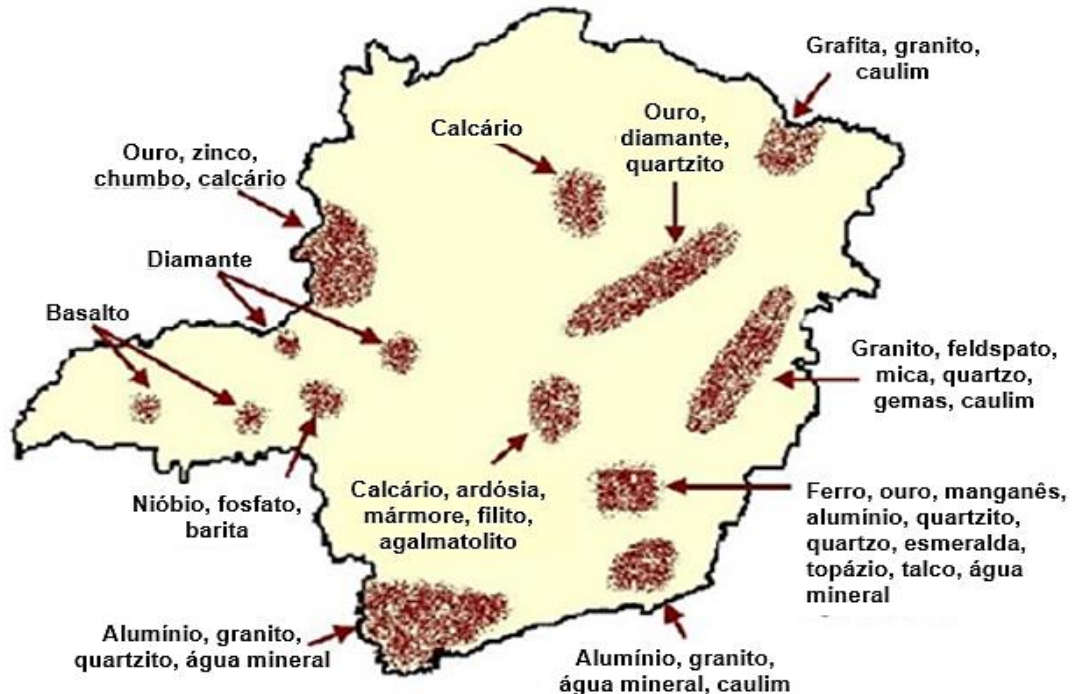
A Figura 1 demonstra a produção de minérios para o Estado de Minas Gerais. Segundo Azevedo et al. (2012), o cenário atual do Quadrilátero Ferrífero (QF) é marcado pelas atividades de extração mineral especialmente ouro e ferro e foram de suma importância no desenvolvimento da sua história e da sua cultura.

No Brasil, uma das regiões de maior relevância no que tange a atividades minerárias se encontra no QF. A princípio foi ocupado no decorrer do ciclo do ouro, que teve seu ápice no século XVIII. Deu-se início a exploração do minério de ferro na região quando houve o declínio do ouro nos aluviões. Atualmente, além de abrigar grandes minerações de ferro e ouro, na região supracitada também estão presentes vários empreendimentos que exploram jazidas de outros tipos de rochas e minerais, como por exemplo, topázio e bauxita (LAMOUNIER; CARVALHO; SALGADO, 2011).

A região, possui uma área de aproximadamente 7000 km<sup>2</sup> e uma composição geológica cuja forma se equipara a um quadrado, estende-se entre a antiga capital de Minas Gerais, Ouro Preto a sudeste, e Belo Horizonte, a nova capital a noroeste. É a continuação sul da Serra do Espinhaço. Seu embasamento e áreas limítrofes são constituídos de gnaisses tonalítico-graníticos de idade arqueana (>2,7 bilhões de anos). O QF é dividido em conformidade com

sua litoestratigrafia sendo eles: o Embasamento Cristalino, o Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas e o grupo Itacolomi (ROESER; ROESER, 2010).

Figura 1 – Distribuição da produção mineral no Estado de Minas Gerais.



Fonte: Adaptado de ALMG citado por IBRAM (2015).

Ainda segundo o mesmo autor, os minerais mais comuns encontrados nas imediações de Ouro Preto foram: plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo, micas, anfibólios e piroxênios. É necessário acrescentar que na atualidade, os minerais que foram identificados nesta região ultrapassam a quantidade de 150.

Hodiernamente, existem outras características, além das riquezas minerais existentes, que tornam o QF um local extremamente interessante. Alguns exemplos podem estar em sua geologia, mineralogia e geodinâmica que podem ser uma das mais extraordinárias do mundo (RUCHKYS; MACHADO, 2013).

Quadrilátero Ferrífero é uma região de grande riqueza mineral, na qual seus recursos têm sido explorados durante séculos. Apesar do número significativo de unidades de conservação no seu interior, elas têm sido insuficientes para a conservação do seu meio ambiente. Com a crescente demanda por recursos naturais e, por outro lado, com a redução cada vez maior dos habitats naturais, frequentemente surgem antagonismos entre exploração e a preservação (LAMOUNIER; CARVALHO; SALGADO, 2011).

## 2.2 Impactos gerados pela mineração

Deve-se ressaltar que não obstante a atividade mineradora forneça desenvolvimento econômico, são inúmeros os efeitos negativos que são gerados nos aspectos socioambientais. De acordo com o Artigo 1º da Resolução CONAMA Nº 1, de 23 de janeiro de 1986, são considerados impactos ambientais quaisquer modificações, positivas ou negativas, das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a população, a economia e os recursos ambientais.

São vários os tipos de minérios explorados e técnicas de lavra. Por esta razão, os impactos resultantes podem ser variados e diferir conforme os aspectos naturais e humanos locais (VIANA, 2015).

Assim como afirmado por Diniz et al. (2014), os impactos causados ao meio ambiente devido a exploração mineral no QF e áreas próximas às regiões mineradas, foram se acentuando ao longo dos anos causando modificações e prejuízos as mesmas.

Mechi e Sanches (2010) alegam que quase toda atividade minerária acarreta supressão da vegetação ou gera obstáculos em sua regeneração. Na atividade supracitada, solos superficiais de maior fertilidade são retirados, conseqüentemente os solos remanescentes ficam em evidência expostos provocando erosão e o assoreamento dos cursos de água no entorno. Sedimentos finos em suspensão e a poluição devido a substâncias lixiviadas e carreadas como óleos, graxa e metais pesados nos efluentes das áreas de mineração causam turbidez alterando a qualidade das águas dos rios e reservatórios a jusante do empreendimento.

Outrossim, sabe-se que as atividades minerárias provocam poluição no ar devido a particulados que permanecem suspensos na atmosfera advindos das atividades de lavra, beneficiamento e por gases emitidos da queima de combustíveis utilizados no transporte.

No estudo feito por Silva et al. (2004), cujo objetivo foi caracterizar o rejeito proveniente do beneficiamento de minério de ouro de uma mineração no Estado de Minas Gerais, menciona que existem sérios riscos ao ecossistema e a população humana que se localizam nas proximidades de áreas de mineração, pois podem ser encontrados altos índices de metais pesados atingindo solos agrícolas, cursos d'água e alimentos produzidos nesses locais, ressaltando que a drenagem ácida constitui sério problema ambiental, capaz de comprometer a qualidade dos recursos hídricos, cujas águas se tornam inadequadas para irrigação, consumo humano e animal e para uso industrial.

Borma e Soares (2002), referem-se às drenagens ácidas de mina como um dos impactos mais graves ligados a degradação de corpos hídricos superficiais e subterrâneos. A drenagem ácida de mina é produzida quando minerais sulfetados que se encontram presentes em resíduos de mineração, como rejeito ou estéril são oxidados em contato com a água. Após a solução ácida ser produzida, ela age lixiviando os minerais que constituem o resíduo desenvolvendo um percolado repleto de metais dissolvidos e ácido sulfúrico.

Os autores advertem que mesmo depois de cessadas as atividades de mineração, se este percolado atingir recursos hídricos que se encontram adjacentes a estas áreas, poderá ocorrer contaminação das águas transformando-as em impróprias para uso (BORMA; SOARES, 2002).

Além de todos os impactos negativos referentes a questão da água já mencionados, os empreendimentos minerários podem gerar um clima de tensão entre as populações tradicionais que se encontram nas proximidades dos locais onde são implementadas as extrações minerárias, pois além de causarem grandes impactos socioambientais, privatizam e apropriam-se dos recursos hídricos considerados bens de uso coletivo e os transformam em um bem econômico (SEPE; SALVADOR, 2015).

Através de uma análise feita com comunidades de pequenos mamíferos na Floresta Nacional de Carajás, no Pará, na região amazônica foi comprovado que os impactos nocivos também abarcam a fauna atingindo espécies selvagens. Ademais, a diversidade e a abundância das comunidades estudadas aumentaram conforme o afastamento das minas (ARDENTE et al., 2016).

Em um estudo realizado por Lopes (2016), cuja a principal finalidade foi realizar uma abordagem crítica, científica e pontual sobre os fatores responsáveis pelo rompimento da barragem de rejeitos de mineração do município de Mariana-MG e análise dos seus respectivos impactos foi constatado que a tragédia representou um desastre socioambiental de proporções nunca antes vista na história da mineração brasileira e mundial. E ainda o autor complementa que uma das consequências do respectivo desastre para a flora local foi a devastação das coberturas vegetais denominadas matas de galeria, através da onda de rejeitos de minérios que atingiu o local. A conservação dessas áreas bem como das matas ciliares, é de extrema relevância, uma vez que dispõem de raízes que agem protegendo os cursos d'água contra processos erosivos fluviais.

Em 25 de janeiro de 2019, aproximadamente três anos após o rompimento da barragem do município de Mariana-MG, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos de minério de



ferro da mina do córrego do Feijão, localizada na cidade de Brumadinho-MG (PEREIRA; BARROS CRUZ; GUIMARÃES, 2019).

Em conformidade com dados obtidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) por meio de imagens de satélite indicam que o rompimento desta barragem causou a destruição de pelo menos 269,84 hectares. O Centro Nacional de Monitoramento e Informações Geográficas do Ibama (Cenima) constatou mediante análise que os rejeitos de mineração devastaram 133,27 ha de vegetação nativa de mata atlântica e 70,65 ha de Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo de cursos d'água afetados pelos rejeitos de mineração. A atividade mineral trouxe progresso econômico e conseqüentemente impactos socioambientais que comumente são desconsiderados pelo setor mineral (RICARDO, 2012).

Em prol das demandas socioeconômicas, na atualidade, cada vez mais paisagens naturais são degradadas por meio das intervenções antrópicas, ficando evidente que o ritmo de degradação dos ambientes é, de longe, demasiadamente superior ao ritmo de preservação a que são submetidos os locais de extração. O conceito de ambiente se encaixa entre dois polos que convivem de maneira contrastante, pois se por um lado fornece recursos, por outro lado também é meio de vida. Desta forma aumenta-se a necessidade de proteção das paisagens naturais, antes que sejam totalmente destruídas (BEZERRA, 2015).

### **2.3 Unidades de Conservação**

Com o intuito de proteger e resguardar espaços territoriais e seus recursos ambientais com características naturais relevantes, foram criadas as Unidades de Conservação (UCs) no Brasil. O Decreto Nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934, instituiu no país o primeiro Código Florestal e juntamente com ele surgiu a importância de se conservar locais com belezas naturais de paisagens únicas estabelecendo assim a possibilidade da criação de parques.

Deste modo, visando a proteção dos locais citados anteriormente, foram criados os primeiros parques no Brasil. Os primeiros exemplos de UCs no país foram os Parques Nacionais, dentre os quais pode-se citar: Parque Nacional do Itatiaia (1937), Parque Nacional do Iguaçu (1939), Parque Nacional Serra dos Órgãos (1939) e o Parque Nacional de Sete Quedas (1939) (MARTINHAGO, 2015).

As Unidades de Conservação necessitaram de que um mecanismo mais potente fosse criado para que se assegurasse a criação, implantação e gestão delas. Destarte, na data de 18 de

julho de 2000, o Governo Federal criou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), por intermédio da Lei Nº 9.985 (WWF, 2014).

Dentro do SNUC integram as Unidades de Conservação geridas em âmbito federal, estadual, municipal e particular, distribuídas de acordo com a forma de proteção e usos permitidos. Ao todo existem doze categorias de manejo (MMA, 2011).

Segundo a Lei Nº 9.985, as UCs são compostas de dois grupos distintos e podem ser diferenciadas conforme seus objetivos básicos, usos e categorias, assim como pode ser constatado na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização das Unidades de Conservação.

<b>GRUPO</b>	<b>PROTEÇÃO INTEGRAL</b>	<b>USO SUSTENTÁVEL</b>
<b>OBJETIVO BÁSICO</b>	Preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei.	Compatibilizar a conservação da natureza com o uso direto de parcela dos seus recursos naturais.
<b>USO</b>	Indireto: aquele que não envolve consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais;	Direto: aquele que envolve coleta e uso, comercial ou não, dos recursos naturais; uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.
<b>CATEGORIAS</b>	Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural; Refúgio de Vida Silvestre.	Área de Proteção Ambiental; Área de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Fonte: Adaptado de Brasil (2000).

De acordo com a Base de Dados Mundial de Áreas Protegidas (WPDA, 2010 citado por MMA, 2011, p. 04), 16,6% do território continental brasileiro e 1,5% do território marinho, são áreas protegidas que estão incluídas em Unidades de Conservação.

No mundo apenas 12,8% dos territórios são considerados áreas legalmente protegidas. No ranking de países com área continental destinada a unidades de conservação em 1º lugar se encontra os Estados Unidos (2.607.132 km<sup>2</sup>), em 2º lugar a Rússia (1.543.466 km<sup>2</sup>), em 3º lugar a China (1.452.693 km<sup>2</sup>) e em 4º lugar o Brasil, com 1.411.834 km<sup>2</sup> de seu território continental protegido por UCs.

É um grande desafio gerir um sistema de unidades de conservação (UCs) a longo prazo de forma sustentável, devido aos inúmeros problemas relacionados às áreas das unidades, como

a regularização fundiária, a fiscalização, implantação da infraestrutura e também problemas relacionados ao entorno das UCs, como por exemplo as dificuldades relacionadas com a população e o controle dos impactos das atividades socioeconômicas. Apesar dos inúmeros obstáculos, a implantação de unidades de conservação pode ser considerada a política mais importante de conservação da diversidade biológica no Brasil (GANEM, 2015).

Com o propósito de monitorar e reduzir os impactos socioeconômicos que ocorrem sobre as UCs, foram criadas as chamadas zonas de amortecimento (ZAs), ou zonas tampão. Tais áreas são delimitadas no entorno das UCs, de modo que as atividades antrópicas sejam restritivas e sujeitas a regras visando a manutenção dos processos ecológicos no interior da UC. Apesar das zonas de amortecimento não fazerem parte das UCs, elas são imprescindíveis para impor limites e controle sobre as ações humanas degradadoras, pois possibilitam ao gestor da unidade determinar um zoneamento para as unidades e negociar com as comunidades locais sobre o uso dessa área (GANEM, 2015).

#### **2.4 Aspectos legais da atividade minerária dentro de Unidades de Conservação**

O crescimento na produção de bens minerais, têm feito o poder público incumbir-se de gerar instrumentos e meios com o objetivo de minimizar os impactos advindos da atividade minerária (MARTINHAGO, 2015).

A Constituição Federal de 1988 foi um importante marco que tratou de conteúdos associados a questão garimpeira relacionando assim tal atividade como uma forma de aproveitamento mineral (BARRETO, 2001).

Consoante com o Art. 176 da respectiva Constituição Brasileira (1988) têm-se:

“As jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra. § 1º A pesquisa e a lavra de recursos minerais e o aproveitamento dos potenciais a que se refere o “caput” deste artigo somente poderão ser efetuados mediante autorização ou concessão da União, no interesse nacional, por brasileiros ou empresa constituída sob as leis brasileiras e que tenha sua sede e administração no País, na forma da lei, que estabelecerá as condições específicas quando essas atividades se desenvolverem em faixa de fronteira ou terras indígenas.” (BRASIL, 1988).

A mineração é vinculada, na maioria das vezes, a graves impactos negativos para o meio ambiente, pois frequentemente, a implementação de empreendimentos minerários ocorre em

áreas que são definidas como ambientalmente sensíveis e relevantes para a conservação da biodiversidade, dos recursos hídricos, da paisagem ou de outros tipos de recursos naturais com função ambiental de extrema importância, ademais grandes volumes de rejeitos são derivados de grandes escavações cujo o intuito é a retirada do bem mineral. Nestas circunstâncias, o termo rigidez locacional se refere a limitação na seleção de áreas que possam gerar menores impactos ambientais na implementação de empreendimentos minerários (MECHI; SANCHES, 2010).

A atividade de mineração em unidades de conservação contradiz a Lei Nº 9.985, também conhecida como Lei do SNUC (LIMA, 2006). Conforme o Art. 4º da Lei supracitada as finalidades principais são:

“I – Contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais; II – Proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional; III – Contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais.” (BRASIL, 2000).

Viana (2015) destaca que não está evidente os tipos de exploração que são permitidos dentro das UCs na Lei Nº 9.985 e nos Decretos (Nº 4.340/2002, Nº 5.566/2005 e Nº 6.848/2009) que a constituem, sendo assim as interpretações podem ser variadas. Ainda segundo o autor, o Decreto Nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, também chamado “Código de Mineração”, não explicita a mineração em locais que contenham áreas protegidas e unidades de conservação.

Nas Unidades de Conservação de proteção integral fica vedada a atividade de mineração, pois a principal finalidade deste grupo é preservar a natureza, sendo permitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei. Já nas unidades de conservação de uso sustentável, o objetivo principal é a conciliação de conservação e uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. Dentro do grupo de uso sustentável, a proibição de atividades minerárias só é declarada na Lei do SNUC, na categoria denominada Reserva Extrativista (BRASIL, 2000).

Lima (2006) acrescenta que dentro das UCs de proteção integral, seria também inadmissível atividades de pesquisa mineral, acarretando direito à indenização caso a pesquisa já tenha sido autorizada pelo DNPM. Cabe ressaltar, que de acordo com o Código de Mineração a pesquisa mineral tem o propósito de constatar a disponibilidade do aproveitamento econômico da jazida, descartando assim esta alternativa por ser vedada a exploração econômica de recursos naturais neste tipo de UC. No que concerne às UCs de uso sustentável, exceto a categoria de Reserva Extrativista, já citada anteriormente, a concessão minerária dependerá da autorização do órgão ambiental administrador da UC, da categoria, do zoneamento e do plano de manejo.

Segundo a Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (2000), o Plano de Manejo pode ser definido como:

“Documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade.” (BRASIL, 2000).

Toda UC deve possuir um plano de manejo e ele deve ser desenvolvido de acordo com os objetivos pelos quais a UC foi originada, em um prazo máximo de cinco anos a partir da data de criação dela. Dentre as inúmeras ferramentas de relevância no plano de manejo, existe uma de maior importância que é a organização espacial em zonas que possuem diferentes graus de proteção e regras de uso, denominado zoneamento da UC. Regras para visitação, para promover a integração da unidade à vida econômica e social das comunidades vizinhas também fazem parte do plano de manejo, sendo fundamental para a eficiência da implementação da UC (MMA, 2016). Assim sendo, qualquer atividade realizada em unidades de conservação deve estar em concordância com seu plano de manejo (LIMA, 2006).

## **2.5 Sistemas de Informações Geográficas**

Na atualidade existe a necessidade que informações de muitos aspectos da atividade humana sejam inseridas em um contexto geográfico. Nas mais variadas organizações, grande parte dessas atividades preocupam-se em registrar e planejar o ambiente criado pelo homem, monitorando e gerenciando o ambiente natural. A construção de sistemas de computação ligados a revolução na tecnologia da informação é uma consequência inevitável para poder lidar com todas essas informações geográficas. As áreas de sistemas de informação geográfica e cartografia computacional são um reflexo dos resultados relacionados aos esforços tecnológicos (JONES, 2013).

Determina-se como Sistema de Informações Geográficas (SIG), um sistema computacional que correlaciona dados gráficos (mapas) e banco de dados que são o alicerce para a gestão espacial e consequente resolução de problemas de determinada área da superfície terrestre. Os dados referenciados espacialmente são integrados em um ambiente SIG e permitem obter uma análise de forma que seja gerado um suporte a decisão técnica ou política (FRANCELINO, 2003).

Integrar, em uma única base de dados, informações provenientes de várias fontes, armazenar, recuperar, manipular e combinar através de algoritmos de manipulação informações espaciais contidas em um banco de dados para gerar mapas constituem os objetivos principais de um SIG (BRAGA, 2018).

Dentre as diversas funções que os SIGs realizam, pode-se citar a função de produzir zoneamentos em planejamentos ambientais, visto que apresentam, no mínimo três requisitos básicos para este fim como eficiência- acesso e modificações de grandes volumes de dados; integridade – controle de acesso por múltiplos usuários; e persistência – manutenção de dados por longo tempo, sendo independentes os aplicativos que acessam os dados e sua possível revisão (SILVA; SANTOS, 2004).

Moraes, Ferreira e Oliveira (2010) comenta que as geotecnologias ofertam ferramentas que auxiliam nas mais variadas demandas do planejamento e gestão territorial sendo desta forma, aliadas de suma importância nos estudos ambientais. Alguns exemplos das ferramentas citadas anteriormente oferecidas pelas geotecnologias são: análise espacial de ambientes, permitindo o conhecimento do uso do solo, área, comprimento etc. (TORCHETTO et al., 2014).

Atualmente, vários trabalhos ligados ao meio ambiente utilizando a tecnologia dos SIGs estão sendo realizados (SILVA; SANTOS, 2004). A título de exemplo, pode-se citar o trabalho realizado por Rezende (2016), que consistiu em obter um panorama sobre a expansão da mineração e os impactos advindos dessa atividade ao longo do tempo no estado de Minas Gerais empregando como instrumento de análise os SIGs.

Pereira, Barros Cruz e Guimarães (2019), realizou uma pesquisa para analisar as mudanças de cobertura de terra provenientes dos impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho-MG. No referido estudo, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento que estimaram e caracterizaram a área atingida pela lama, bem como identificaram impactos gerados pelo rompimento, sob a ótica das mudanças de cobertura da terra.

Os SIGs também podem ser utilizados para monitorar áreas degradadas através do uso do zoneamento ambiental, como é o caso do trabalho realizado por Torchetto et al. (2014), em que foram verificadas e delimitadas áreas degradadas por atividade de mineração de basalto no município de Tenente Portela-RS. No estudo de Mendes (2017), as ferramentas dos SIGs foram aplicadas para identificar atividades minerárias realizadas em unidades de conservação no estado de Minas Gerais, executando assim o cruzamento de camadas, resultando no reconhecimento e quantificação dos processos sobrepostos nas UCs e suas áreas de entorno.

Constata-se que os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), e outras geotecnologias (sensoriamento remoto, GPS, geoprocessamento) são fatores decisivos para análises ambientais relacionadas com zoneamento, planejamento e gestão territorial (TORCHETTO et al., 2014).

## 2.6 Análise multicritério e álgebra de mapas

Atualmente, para que se tenha um auxílio na tomada de decisão, existem ferramentas de análise que relacionam variáveis, atribuem pesos e valores a elas, priorizando as diferentes alternativas (FRANCISCO et al., 2007). De acordo com Moura (2007), por fundamentar-se na lógica básica da composição de um SIG, a análise multicritério (AMC), é bastante empregada em geoprocessamento. Sendo assim, a AMC possivelmente constitui fundamental importância nas operações de suporte à decisão em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (JIANG; EASTMAN, 2000).

Também denominada como Árvore de Decisões ou Análise Hierárquica de Pesos, a metodologia desta análise consiste em mapear as variáveis por plano de informação e definir graus de aceitabilidade de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a estruturação do resultado (MOURA, 2007). Podem ser exemplos de técnicas de análise multicritério mais aplicados em um SIG, o método Booleano, a Combinação Linear Ponderada e suas variantes, o Método do Ponto Ideal, a Análise de Concordância e o Processo Hierárquico Analítico. Deve-se ressaltar que a Combinação Linear Ponderada e o método Booleano são aplicados com maior frequência por serem considerados os mais completos (MALCZEWSKI, 2004).

É importante ressaltar que a metodologia da AMC deve ser analisada de modo isolado a cada item, não obstante haja a necessidade de analisar também os fatores de uma maneira integrada. O cruzamento de todas as variáveis e a relação entre elas resulta da aplicação do modelo (MOURA, 2007).

Uma das ferramentas que podem ser utilizadas para auxiliar o processo da análise multicritério é a álgebra de mapas, o qual consiste em empregar operações aritméticas para associar diversas camadas fornecendo classificações com múltiplas análises (MEDEIROS, 2015). Segundo Sampaio, Cordeiro e Bastos (2016), a ferramenta pode ser classificada como uma técnica de geoprocessamento que sobrepõe camadas (*layers*) em formato *raster*. São adotados os seguintes procedimentos para a aplicação da técnica: (1) definição dos critérios que

serão aplicados; (2) criação de um modelo *raster* para cada um dos critérios determinados; (3) definição de pesos para cada classe componente de cada critério; (4) reclassificação dos modelos *rasters* com os valores dos pesos atribuídos; (5) aplicação da álgebra de mapas com os valores ponderados para cada critério.

Para que a modelagem seja satisfatória, é imprescindível que se tenha clareza da estrutura da álgebra de mapas, pois os operadores, as funções, o controle do fluxo de processos e a técnica interativa são dependentes disso (DEMERS, 2002).

O uso de matrizes que admitem uma série de operações matemáticas que combinam, comparam e manipulam os números nela contidos também faz parte da álgebra de mapas, dado que a manipulação desses mapas é realizada com o uso de operadores. Por conseguinte, trata-se de um inovador método de modelagem que manipula os valores de célula (DEMERS, 2002).

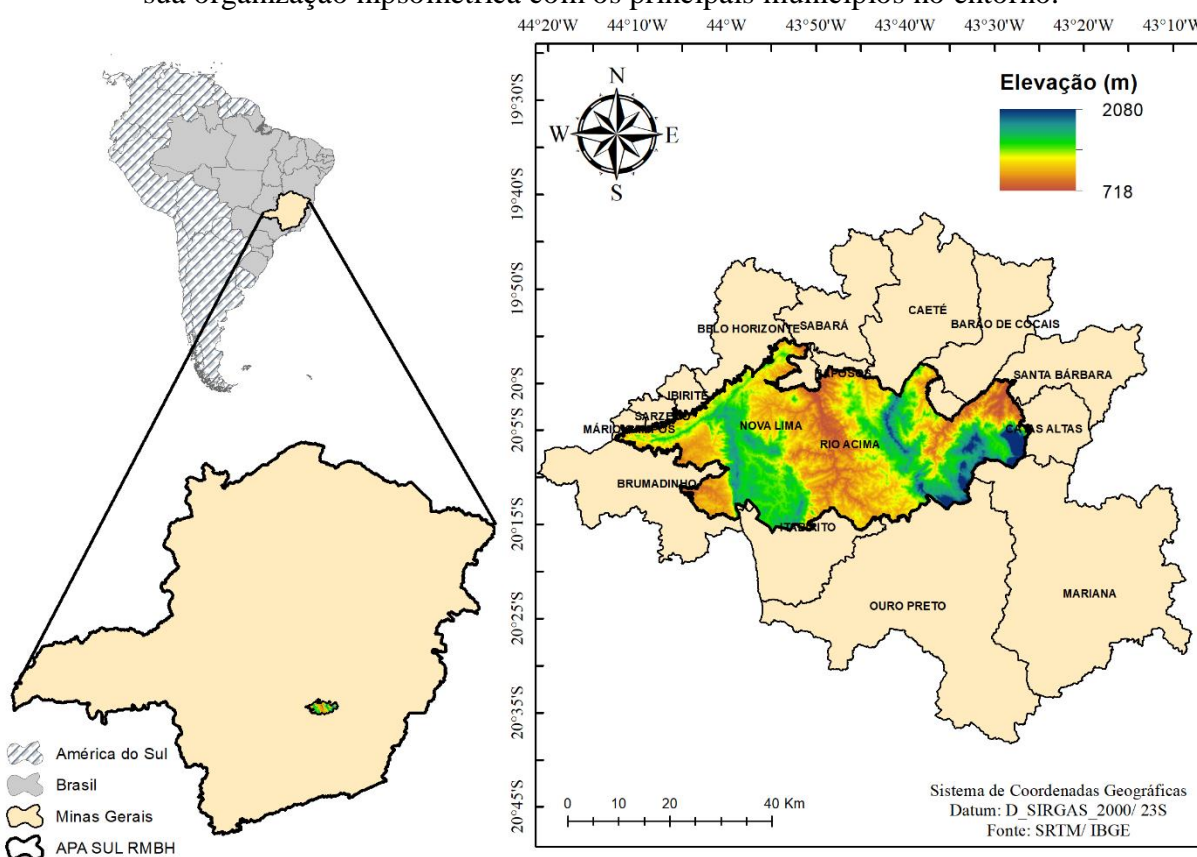


### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O presente estudo considera os limites territoriais da Área de Proteção Ambiental ao Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA SUL RMBH), com área de ~163.000 ha, situada na vertente oriental do sul da Cadeia do Espinhaço e inserindo-se no domínio florestal atlântico (FIGURA 2). Incluída na região do Quadrilátero Ferrífero, a área tem predominância de campos nas zonas mais elevadas, e com florestas ocorrendo nas áreas de drenagem, além de incluir encraves de cerrado (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 1993; MUZZI; STEHMANN 2005). Os solos da região são caracterizados por serem profundos, como os Latossolos Vermelhos e os Cambissolos Háplicos (CPRM, 2005a).

Figura 2 – Localização da APA SUL RMBH no contexto do estado de Minas Gerais, Brasil, sua organização hipsométrica com os principais municípios no entorno.



Fonte: Da autora (2019).

O clima da região enquadra-se no tipo Cwb, de acordo com a classificação climática de Köppen, sendo classificado como temperado chuvoso ou subtropical de altitude, com inverno

seco e verão chuvoso, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C e a do mês mais quente inferior a 22 °C (ANTUNES, 1986; SPÓSITO; STEHMANN, 2006; ALVARES et al., 2013).

### 3.2 Aquisição da base de dados

Após definida a área de estudo, determinou-se um total de cinco critérios para a realização deste trabalho. A base de dados que embasou o estudo foi obtida através de quatro fontes: Projeto MapBiomias, Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG, 2005) e Plataforma IDE/SISEMA.

Tais dados foram constituídos no formato vetorial e matricial e integraram os critérios definidos para a realização da análise multicritério aplicada. Os critérios foram selecionados devido a maior influência que cada um estabelece com o propósito do estudo. A classificação dos critérios e a fundamentação teórica para o desenvolvimento da pesquisa foram pautadas mediante consulta em artigos científicos, dissertações, teses e livros. A relação dos dados iniciais do estudo, bem como seu formato original e sua procedência se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros iniciais considerados no estudo, formato do arquivo e fonte.

<b>DADOS/ INFORMAÇÕES</b>	<b>FORMATO</b>	<b>FONTE</b>
Mineração	<i>Raster</i> – 30 m	Projeto MapBiomias
Formação Campestre	<i>Raster</i> – 30 m	Projeto MapBiomias
Formação Florestal	<i>Raster</i> – 30 m	Projeto MapBiomias
Formação Savânica	<i>Raster</i> – 30 m	Projeto MapBiomias
Vegetação de Canga	Vetor – Polígono	CODEMIG
Geodiversidade	Vetor – Polígono	CPRM
Solos	Vetor – Polígono	CPRM
UCs de Proteção Integral	Vetor – Polígono	IDE/SISEMA

Fonte: Da autora (2019).

### 3.3 Preparação das camadas

As *layers* foram estruturadas no formato matricial, convertidas para o Datum SIRGAS 2000 e recortadas no formato da APA SUL RMBH por meio do software ArcGIS 10.5. As camadas são as características de interesse que contribuem para realização do objetivo da pesquisa, sendo elas: (i) Distância das UCs de Proteção Integral; (ii) Distância da Classe Mineração; (iii) Unidades Litológicas (Geologia); (iv) Classes de Solos; e (v) Fitofisionomias.

Baseando-se na literatura, com o intuito de uniformizar a pesquisa, os critérios foram reclassificados em três níveis de prioridade. Sendo assim, cada critério avaliado foi reclassificado, variando seus pesos entre 1 e 3. Isto posto, as áreas que possuem maior vulnerabilidade ambiental a exploração minerária, considerando os critérios escolhidos dentro do limite definido, receberam o valor máximo entre as classes (3), enquanto os critérios que foram julgados com menor propensão a vulnerabilidade ambiental, receberam o menor valor (1). Os valores de graus de vulnerabilidade foram classificados conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Atribuição das classes para os níveis de vulnerabilidade ambiental.

VALOR DE VULNERABILIDADE	INTENSIDADE
1	Baixa
2	Média
3	Alta

Fonte: Da autora (2019).

Após a atribuição das classes para os critérios escolhidos, para auxiliar na tomada de decisão dos pesos em relação à importância de cada camada no mapa final, foi aplicado o método do Processo Analítico Hierárquico. Logo, para cada camada ou critério, foi atribuído um valor pela comparação dos critérios, consecutivamente foi gerada uma matriz que estabeleceu um peso e hierarquia de importância para cada critério. Ao final, estes pesos foram utilizados para realização da sobreposição de camadas, por meio do método da Álgebra de Mapas no software ArcGIS 10.5, através da ferramenta denominada *raster calculator*, realizando uma média ponderada das camadas com seus respectivos pesos. Tais procedimentos resultaram no mapa final de vulnerabilidade ambiental. Os passos metodológicos desenvolvidos neste estudo, são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma detalhando os principais passos para a avaliação da vulnerabilidade ambiental à exploração minerária na APA SUL RMBH por meio de análise multicritério.



Fonte: Da autora (2019).

### 3.4 Distância das Unidades de Conservação de Proteção Integral

Devido a extrema relevância da biodiversidade local, a distância das Unidades de Conservação de Proteção Integral foi considerada como uma camada na análise multicritério. Os *shapefiles* atualizados, referentes as UCs de Proteção Integral, foram obtidos junto ao sistema informatizado da Infraestrutura de Dados Espaciais do SISEMA (IDE SISEMA).

Portanto, os locais onde se insere as UCs de Proteção Integral foram classificados com o valor máximo (3) sendo mais vulneráveis ambientalmente do que os locais que estão mais distantes dessas UCs que receberam o menor valor (1), agrupadas pelo método de classificação de intervalos iguais de forma a padronizar os resultados. Para a obtenção desta camada, calculou-se a distância euclidiana de cada célula até as UCs de Proteção Integral.

Gerou-se então um *raster* que abrange toda a extensão da área de estudo, com células de 30m e cada uma contendo um valor em metros. Este *raster* foi reclassificado e à cada classe foi concedido um peso, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Categorias da camada Distância das UCs de Proteção Integral intervalo da classe e seus respectivos pesos.

CLASSE	INTERVALO (km)	PESO CONCEDIDO
1	0 – 94,68	3
2	94,68 – 189,36	2
3	189,36 – 284,04	1

Fonte: Da autora (2019).

### 3.5 Distância da classe mineração

De acordo com Diniz et al. (2014), a APA SUL RMBH é considerada uma região com elevados índices de exploração minerária, sobretudo o minério de ferro. As áreas vizinhas e as áreas mineradas, sofrem com os danos causados pela exploração minerária que se acentuam com o decorrer dos anos, alterando e prejudicando gradativamente o meio ambiente. Sendo assim, a distância da classe mineração foi considerada uma camada de suma importância, haja visto os imensos impactos que tais atividades causam nas áreas em que ocorrem e em áreas adjacentes.

Acrescenta-se que os polígonos da classe mineração foram retirados do Projeto MapBiomias e representam os polígonos pertencentes ao ano de 2017. O Projeto MapBiomias possui mapas de cobertura do solo no Brasil e em outros países tropicais, baseando-se no

processamento de imagens digitais Landsat, possuindo imagens a partir do ano de 1985, sendo atualizado anualmente. (SOUZA-JUNIOR; AZEVEDO, 2017);

Os locais inseridos dentro dos polígonos de classes de mineração e no seu entorno, possuem maior vulnerabilidade ambiental do que os locais mais distantes destas classes. Tal como à camada anterior, foi calculada a distância euclidiana entre cada célula e o polígono representativo da classe mineração. Posteriormente gerou-se um arquivo *raster* que foi reclassificado pelo método de classificação de intervalos iguais de acordo com os informes da Tabela 5.

Tabela 5 – Categorias da camada Distância da Classe Mineração intervalo da classe e seus respectivos pesos.

CLASSE	INTERVALO (km)	PESO CONCEDIDO
1	0 – 59,63	3
2	59,63 – 12,52	2
3	12,52 – 25,34	1

Fonte: Da autora (2019).

### 3.6 Fitofisionomias

Com relação as fitofisionomias foram consideradas quatro classes, que posteriormente foram unidas gerando uma única camada. As classes são: formação campestre (campo), formação florestal, formação savânica e vegetação de canga.

Devido a intensa atividade mineradora, os campos rupestres ferruginosos, conhecidos como vegetação de canga, é um dos ecossistemas que está entre os mais ameaçados (JACOBI; CARMO, 2008). Por este motivo, nesta camada os maiores pesos foram relacionados a vegetação de canga, a formação campestre (campo) e a formação savânica, os menores pesos foram relacionados as áreas de formação florestal e a classe outros, por estarem localizadas em áreas de pouco ou nenhum interesse mineral.

Ressalta-se que as classes Formação Campestre, Formação Savânica e Formação Florestal foram obtidas, da mesma forma, do Projeto MapBiomias e pertencem ao ano de 2017. No que se refere a classe Vegetação de Canga, esta foi obtida na base de dados da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais e pertence ao ano de 2005. O arquivo foi alterado para o formato matricial e foi reclassificado conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Categorias da camada Fitofisionomias intervalo da classe e seus respectivos pesos.

CLASSE	FITOFISIONOMIA	PESO CONCEDIDO
1	Canga/Formação Campestre (campo)	3
2	Formação Savânica	2
3	Formação Florestal	1

Fonte: Da autora (2019).

### 3.7 Classes de solos

O mapa de solos utilizado no trabalho foi desenvolvido pelo Departamento de Gestão Territorial (CPRM/ERJ 2009). De acordo com a metodologia desenvolvida por Crepani et al. (2001), a fundamental característica para estabelecer classes de vulnerabilidade dos tipos de solo é o grau de desenvolvimento ou maturidade do solo.

Desta forma, a classificação dos solos utilizada foi a recomendada por Crepani et al. (2001), que hierarquizou em uma escala de 1 a 3 os valores de vulnerabilidade dos solos. O arquivo foi alterado para o formato matricial e foi reclassificado com seus respectivos pesos relacionados a vulnerabilidade ambiental da área de estudo, sendo assim, os solos com maior risco erosivo são os que aumentam a vulnerabilidade ambiental do local. Com isso, os valores de pesos concedidos estão evidenciados na Tabela 7.

Tabela 7 – Categorias da camada Classes de Solos intervalo das classes e seus respectivos pesos.

CLASSE	SOLOS	PESO CONCEDIDO
1	Solos litólicos /Afloramento rochoso / Cambissolo / Cambissolo-Ferrífero	3
2	Podzólico Vermelho-Amarelo	2
3	Latossolo Vermelho-Amarelo / Latossolo Ferrífero	1

Fonte: Da autora (2019).

### 3.8 Geologia

Pelas características geológicas apresentadas na área de estudo, considerou-se as características geológicas do local, que foram obtidos em um arquivo no formato *shapefile* intitulado geodiversidade, através do Departamento de Gestão Territorial (CPRM/ERJ 2009).

Em um ambiente SIG, os polígonos de geodiversidade foram transformados para o formato matricial, em seguida, foram reclassificados e definidos os pesos para as características geológicas da área através do cruzamento de dados espaciais relativos à classe mineração e o tipo de geologia que compõe a APA SUL RMBH. Logo, tipos geológicos de maior valor

econômico exploratório, são aqueles que receberam o peso 3. Os de menor valor econômico/exploratório, recebem o peso 1, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Categorias da camada Geologia intervalo das classes e seus respectivos pesos.

CLASSE	GEOLOGIA	PESO CONCEDIDO
1	Itabirito, Dolomito / Filito, Quartzito / Itabirito Dolomítico / Metaconglomerado	3
2	Quartzito e Filito Ferruginosos/ Metarenito, Metapelito / Metagrauvaca / Metagabro, Serpentinito / Xisto, Metagrauvaca	2
3	Metagrauvaca / Komatiito / Granito / Aglomerado, Laterita / Metadiabásio / Areia, Cascalho / Areia e sedimento elúvio-coluvionar	1

Fonte: Da autora (2019).

### 3.9 Espécies da flora ameaçadas de extinção no Quadrilátero Ferrífero

Por fim como complemento do estudo, foi considerado um arquivo no formato *shapefile* de pontos de ocorrência de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção no Quadrilátero Ferrífero.

Tais pontos foram obtidos do Centro Nacional de Conservação da Flora e pertencem ao ano de 2015. Foi realizada uma plotagem desses pontos no mapa final, para observar a correlação das espécies ameaçadas de extinção com os sítios de elevadas propensões a vulnerabilidade ambiental a atividade minerária.

### 3.10 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

De acordo com Saaty (1987), o Processo Analítico Hierárquico (AHP) pode ser empregado como método de auxílio na tomada de decisões e planejamento. O método tem a função de reduzir os estudos de sistemas a uma sequência de comparações aos pares e, desta forma, reduz a complexidade no estudo da tomada de decisões.

O modelo consiste em uma sequência de comparações par a par (*pairwise comparison*), com critérios adequadamente identificados (SAATY, 1987). Valente, Petean e Vettorazzi (2017), acrescentam que são atribuídos pesos relativos aos critérios, chamados prioridades, para estabelecer a diferença na importância dos critérios. Para definir os critérios (fatores) e, em

seguida, os pesos dos fatores, empregou-se a Técnica Participatória (EASTMAN, 2003), através da consulta de cinco analistas e pesquisadores da área de meio ambiente.

Saaty (1991) desenvolveu uma escala que expressa a intensidade com que um critério predomina sobre outro em relação a tomada de decisão. Tal escala é definida de 1 a 9 (TABELA 9). O valor indica que dois critérios são “igualmente” importantes e o valor 9 implica que um critério é “extremamente” mais importante do que o outro. Posteriormente a hierarquização do problema, uma matriz quadrada de comparação deve ser construída com os fatores e seus valores correspondentes (VALENTE; PETEAN; VETTORAZZI, 2017).

Tabela 9 – Intensidade da escala de classificação de Saaty.

<b>VALOR</b>	<b>RECÍPROCO</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
1	1	Igual importância: os dois critérios contribuem de forma idêntica
3	1/3	Pouco mais importante: um critério é um pouco mais importante do que o outro.
5	1/5	Muito mais importante: um dos critérios é claramente mais importante do que o outro.
7	1/7	Fortemente mais importante: Um dos critérios é predominantemente mais importante do que o outro.
9	1/9	Extremamente mais importante: um dos critérios, sem dúvidas, é absolutamente predominante para o objetivo.
2, 4, 6, e 8	*	Valores intermediários de julgamento.

Fonte: Saaty (1987) e Saaty 1990).

Após gerar a matriz de comparações, calculou-se o índice de consistência (IC) e a taxa de consistência (TC), perfazendo as seguintes fases: cálculo do somatório dos pesos da avaliação das colunas criando assim uma nova matriz; divisão de cada valor de comparação inserido na matriz pela soma da coluna à qual pertence, com o objetivo de achar seu valor relativo; cálculo da média aritmética de cada linha da matriz normalizada; multiplicação das matrizes da primeira e terceira fases e cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{max}$ ). O índice de consistência (IC) foi calculado através da equação (1):

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (1)$$

A taxa de consistência foi calculada (TC) pela seguinte equação (2):

$$TC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$



Nestas equações,  $\lambda_{max}$  é o maior autovalor da matriz de julgamentos,  $n$  é equivalente ao número de fatores e, de acordo com Saaty (1991), o IR corresponde ao índice randômico e a condição de consistência dos julgamentos é  $RC \leq 0,10$ .

### 3.11 Álgebra de mapas

Para a geração do mapa síntese de vulnerabilidade ambiental, foi utilizada a técnica de álgebra de mapas, pelo método da Combinação Linear Ponderada (CLP) em que as variáveis já ponderadas são integradas, com base nos resultados da matriz de comparação, que apresentou os fatores por grau de importância.

O método da CLP consiste no somatório das variáveis multiplicadas pelos seus respectivos pesos. Os cálculos foram realizados pixel a pixel. O mapa final de vulnerabilidade ambiental foi classificado em cinco níveis de prioridade: (1) baixo, (2) médio e (3) alto.

Assim, para a geração do referido mapa, realizou-se a sobreposição das camadas padronizadas, com informações algébricas no software de um SIG, na ferramenta chamada *Raster Calculator* consistiu na seguinte expressão abaixo:

$$VUA = (VU * x1) + (VCM * x2) + (VF * x3) + (VC * x4) + (VDG * x5)$$

onde  $VUA$  = Vulnerabilidade Ambiental;  $VU$  = Vulnerabilidade quanto à Distância das UCs de Proteção Integral;  $VCM$  = Vulnerabilidade quanto à Distância da Classe Mineração;  $VF$  = Vulnerabilidade quanto às Fitofisionomias;  $VCS$  = Vulnerabilidade quanto às Classes de Solos;  $VDG$  = Vulnerabilidade quanto a Geologia;  $x1 \sim 5$  = Pesos/Coefficientes de importância de cada parâmetro.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Comparação pareada dos critérios

Nesta etapa, foi gerada a matriz matemática de comparação pareada, antecedendo a combinação dos mapas de critérios gerados, através da ferramenta de álgebra de mapas em ambiente SIG. Assim a intensidade de importância de cada critério foi definida, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Matriz de comparação pareada entre os critérios do estudo.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
<b>C1</b>	<b>1</b>	1/6	1/8	1/3	1/4
<b>C2</b>	6	<b>1</b>	1/7	4	4
<b>C3</b>	8	5	<b>1</b>	5	6
<b>C4</b>	3	1/5	1/6	<b>1</b>	3
<b>C5</b>	4	1/4	1/5	1/4	<b>1</b>

Legenda: C1: Distância das UCs de Proteção Integral; C2: Distância da classe mineração; C3: Geologia; C4: Classes de solos; C5: Fitofisionomias.

Fonte: Da autora (2019).

A matriz possui um nível aceitável de consistência, pois enquadrou-se dentro dos limites aceitáveis definidos por Saaty (1980), que indicam que para uma matriz com  $n \geq 4$ , a  $RC$  deve ser menor ou igual a 0,1 e que  $\lambda_{max} \geq n$ . Neste estudo, o valor de  $n$ , que corresponde ao tamanho da matriz (ou número de critérios) foi 5. O autovalor máximo e a razão de consistência foram, respectivamente 5,39 e 0,09. Sendo assim, foi possível a utilização dos pesos atribuídos aos critérios.

O critério mais determinante, neste estudo de vulnerabilidade ambiental, foi a geologia, correspondendo a 57% de importância para a avaliação multicritério, seguida respectivamente da distância da classe mineração (24%), classes de solos (9%), fitofisionomias (7%) e distância das Unidades de Conservação de Proteção Integral (3%). A Tabela 11 apresenta os níveis de prioridade e suas respectivas áreas. Os mapas individuais das camadas da análise multicritério, com suas devidas classes foram padronizados e estão representados na Figura 4.

De acordo com o mapa final gerado a partir da combinação linear ponderada dos critérios, verificou-se que a maior percentagem da APA SUL RMBH ocorre sob vulnerabilidade ambiental Média sendo o equivalente a 52,12% da área, correspondendo a 85.063,05 ha. Já a vulnerabilidade ambiental Alta ocorre em 25,02% da área, representando 40.842,63 ha. Em seguida, constatou-se que a menor proporção da área de estudo ocorre sob

vulnerabilidade ambiental Baixa, correspondendo a 22,84%, o equivalente a 37.286,28 hectares. A Tabela 12 apresenta os níveis de vulnerabilidade e suas respectivas áreas.

Tabela 11 – Pesos finais por ordem de importância, numéricos e em porcentagem.

<b>CRITÉRIOS</b>	<b>PESOS FINAIS</b>	<b>PESO (%)</b>
Geologia	0,57	57
Distância da classe mineração	0,24	24
Classes de solos	0,09	9
Fitofisionomias	0,07	7
Distância das UCs de Proteção Integral	0,03	3
<b>SOMA (<math>\Sigma</math>)</b>	<b>1,00</b>	<b>100</b>

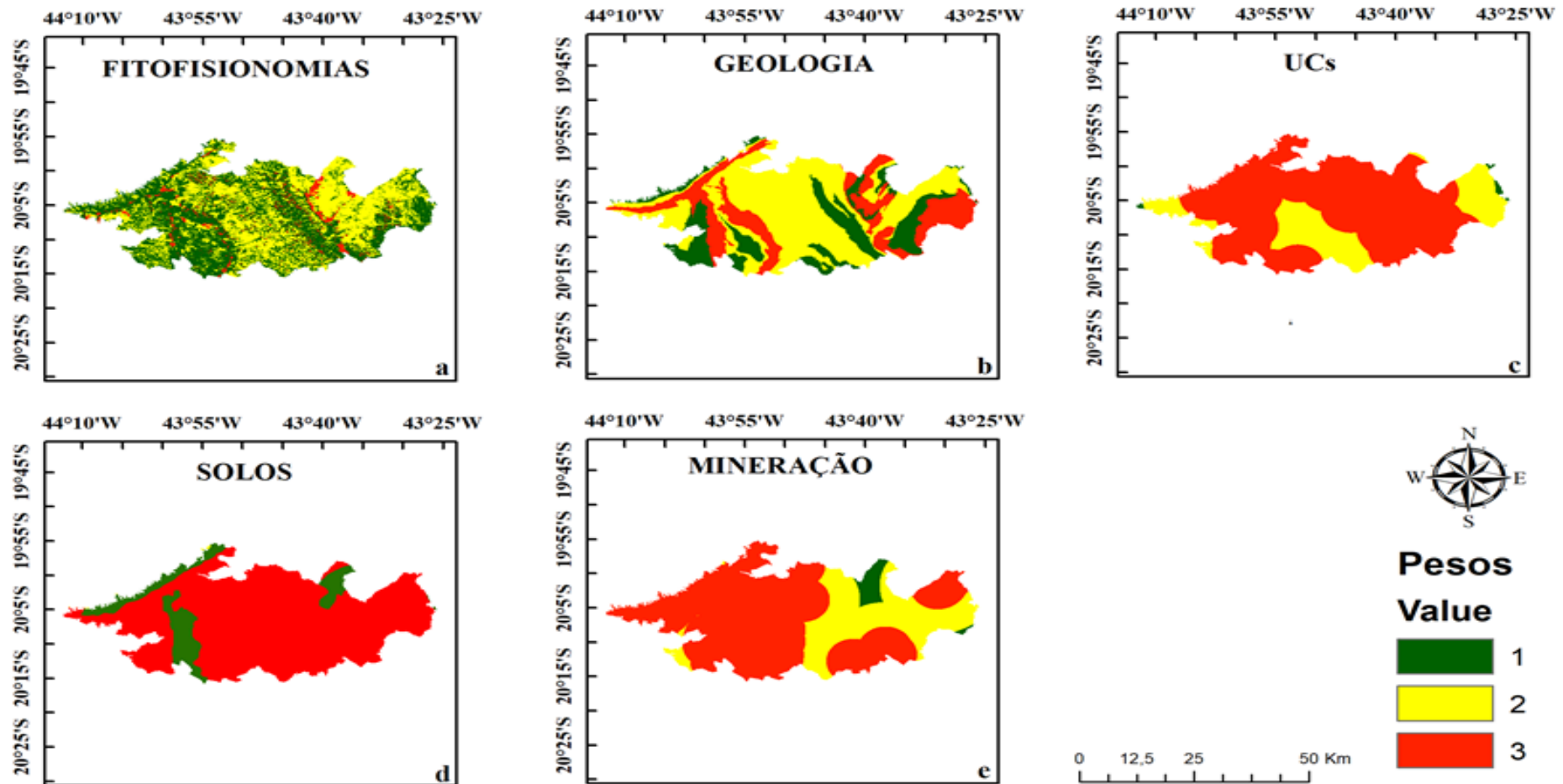
Fonte: Da autora (2019).

Tabela 12 – Níveis de vulnerabilidade ambiental aplicados as atividades minerárias para APA SUL RMBH.

<b>Nível de vulnerabilidade</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Baixo	37.286,28	22,84%
Médio	85.063,05	52,12%
Alto	40.842,63	25,02%
<b>Total</b>	<b>163.191,96</b>	<b>100%</b>

Fonte: Da autora (2019).

Figura 4 – Mapas gerados baseados nos multicritérios e pesos para APA SUL RMBH.



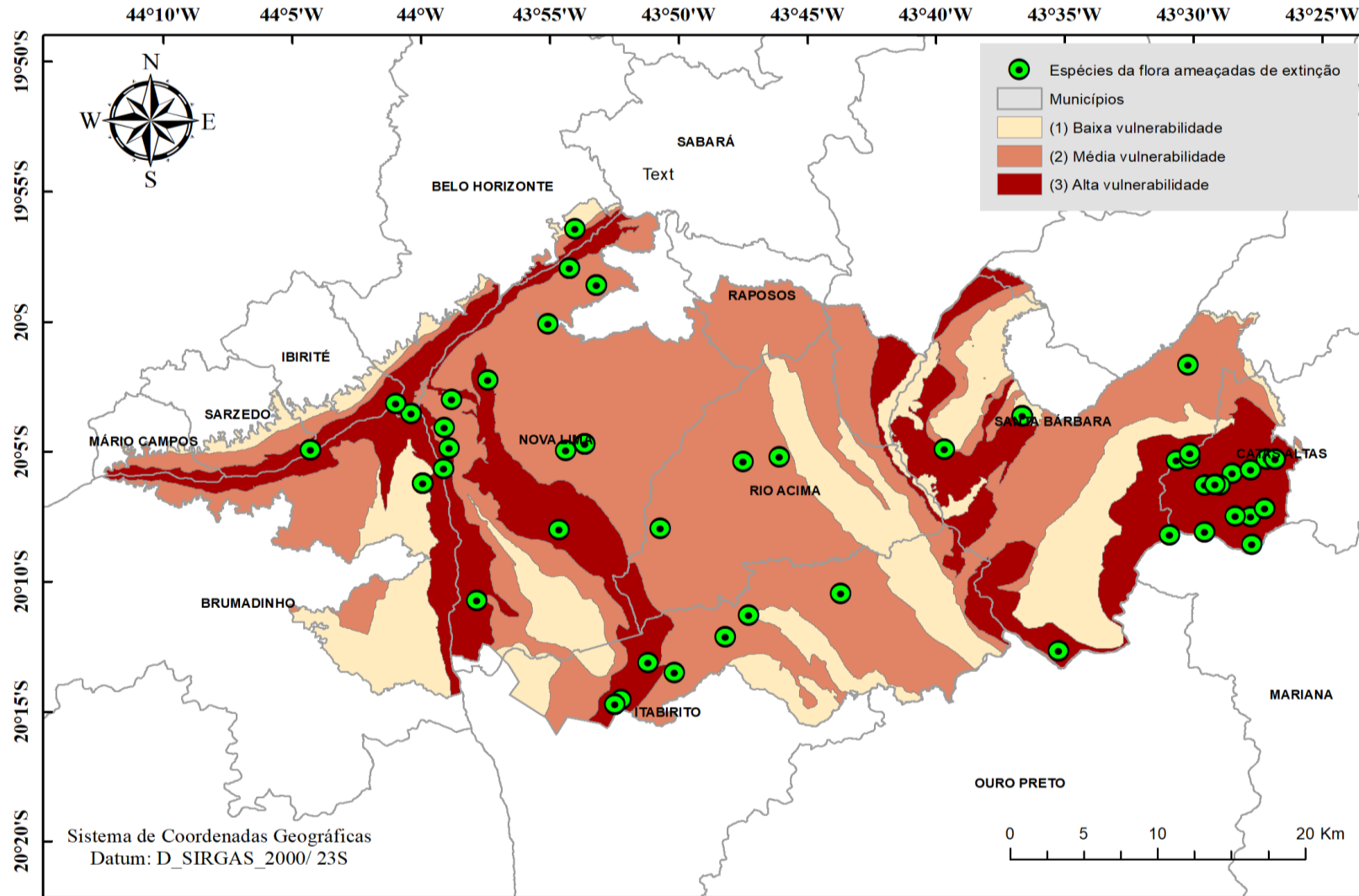
Legenda: Classificação dos critérios variando de 1 a 3: (a) Fitofisionomia; (b) Geologia; (c) Distância das UCs de Proteção Integral; (d) Classes de Solos; (e) Distância da Classe Mineração.

Fonte: Da autora (2019).

## **4.2 Mapa final da vulnerabilidade ambiental**

O mapa temático final da vulnerabilidade ambiental aplicada a atividades minerárias na APA SUL RMBH pode ser conferido na Figura 5. As classes do mapa indicam os diferentes níveis de vulnerabilidade do local. Constata-se, ainda, que no interior da área da APA Sul RMBH, 34 pontos das espécies da flora ameaçadas de extinção encontram-se criticamente em perigo, 120 pontos encontram-se em perigo e 58 pontos encontram-se em situação vulnerável. Verifica-se que 203 pontos de ocorrência das espécies estão inseridos nas classes de alta e média vulnerabilidade ambiental e apenas 9 se encontram inseridos na classe de baixa vulnerabilidade ambiental.

Figura 5 – Mapa de vulnerabilidade ambiental à exploração minerária na APA SUL RMBH.



Fonte: Da autora (2019).

## 5 DISCUSSÃO

A ‘Geologia’ da APA SUL RMBH foi o critério de maior peso de importância, indicando que as áreas com maior vulnerabilidade ambiental à atividade minerária se encontram no foco da exploração, visto que um dos aspectos de maior relevância para o interesse minerário são as características geológicas de um local, ou seja, a presença ou não do minério de relevante interesse econômico. Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2005), o minério com maior produção no Brasil, no Estado de Minas Gerais, na Província Metalogenética do Quadrilátero Ferrífero e na APA Sul RMBH é o ferro.

Posteriormente ao ferro, segue o ouro, e depois guardando maior distância vem a bauxita, o serpentinito etc. Sendo assim, as áreas mais sensíveis ambientalmente foram aquelas onde se concentraram os minérios mais explorados na área de estudo. França (2018), cita que a ‘Geologia’ é um critério de grande importância na compreensão da fragilidade ambiental de um ecossistema. Crepani et al. (2001), salientam o quanto é importante conhecer a história da evolução geológica de um determinado local.

O critério ‘Distância da classe mineração’ foi a segunda camada mais importante nesta análise. Sua influência está relacionada, em primeiro lugar com a localização dos minérios de interesse, já que se houver a presença destes em áreas adjacentes a tendência é que os empreendimentos minerários incorporem essas áreas ao invés de migrar para áreas distantes. Portanto, os danos causados pela exploração minerária em áreas vizinhas e áreas mineradas se acentuam com o decorrer dos anos, alterando e prejudicando gradativamente o meio ambiente (DINIZ et al., 2014).

Scolforo et al. (2008) ressalta que os resultados obtidos pelo ZEE-MG constataram que a maior parte das áreas de mineração do quadrilátero ferrífero inserem-se em locais de vulnerabilidade natural de média a muito alta. Determina-se que quanto maior a vulnerabilidade natural de uma área, maior será o impacto de atividades antrópicas nesta área.

Em terceiro lugar de importância relativa, se encontra o critério ‘Classes de solos’. Na área de estudo predominam os afloramentos de rocha, os cambissolos e os solos litólicos que são justamente os solos com maior vulnerabilidade segundo os parâmetros definidos por Crepani et al. (2001). Por serem as classes de solos mais erodíveis e conseqüentemente mais vulneráveis, é necessário o manejo e uso adequados.

Em seguida, em quarto lugar de importância relativa, se encontra o critério ‘Fitofisionomias’. As fitofisionomias também são relevantes neste estudo pois, de acordo com

Jacobi e Carmo (2008), os campos rupestres ferruginosos, conhecidos como vegetação de canga, se concentram em áreas associadas a gigantescos depósitos de minério de ferro e por esta razão é um dos ecossistemas mais ameaçados, especialmente devido a intensa atividade mineradora. Desta forma, as formações vegetais campestres e os campos ferruginosos receberam o maior peso e suas localizações, no geral, coincidiram com os locais de maior interesse minerário e conseqüentemente, maior vulnerabilidade ambiental.

Embora o critério ‘Distância das Unidades de Conservação de proteção integral’ tenha sido o de menor importância, segundo o método AHP, sua contribuição para o estudo pode ser explicada pela incidência de muitos polígonos de mineração em zonas de amortecimento de UCs de proteção integral. A exploração dos recursos minerais nas zonas de amortecimento, deveria ser reduzida ou até mesmo evitada, devido a extrema importância destas áreas para a contribuição dos objetivos das unidades de conservação. A efetividade da conservação pode estar sendo afetada, devido a quantidade de atividades minerárias nas imediações das áreas protegidas que por conseguinte, acabam sofrendo as influências da mineração (DURÁN; RAUCH; GASTON, 2013).

Com relação aos pontos de ocorrência de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção são um fator relevante a ser considerado, visto que o mapa final de vulnerabilidade ambiental aplicado à atividade minerária recebeu forte influência dos dois principais critérios, geologia e distância da classe mineração.

Verificou-se que grande parte dos pontos que se localizam sobre terrenos de elevada vulnerabilidade ambiental à atividade minerária, correspondem a algumas das seguintes espécies: *Calibrachoa elegans*, *Cryptanthus glazioui*, *Diplusodon canastrensis*, *Eugenia neosericea*, *Heterocoma albida*, *Ilex loranthoides*, *Lychnophora gardneri*, *Minaria monocoronata*, *Vriesea minarum*, entre outras.

Segundo informações da avaliação de risco de extinção de espécies do Centro Nacional de Conservação da Flora, uma grande quantidade destas espécies, se encontram com distribuição restrita ou endêmica, situadas sobre solos ferruginos, em áreas de campos rupestres ou canga em ambientes ameaçados por ações antrópicas como a mineração. Sendo assim, deve-se ressaltar a prioridade dessas áreas com alta e média vulnerabilidade ambiental, principalmente por estarem intrinsecamente relacionadas com as espécies brasileiras do Quadrilátero Ferrífero mais ameaçadas de extinção.



## 6 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, as áreas com maior vulnerabilidade ambiental à exploração minerária, localizadas na Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, em MG, foram identificadas através da análise multicritério associada ao algoritmo intitulado processo analítico hierárquico (AHP) e método da combinação linear ponderada (CLP) em um ambiente SIG.

Foram utilizados para a análise, os critérios ‘Distância das UCs de proteção integral’, ‘Distância da classe mineração’, ‘Geologia’, ‘Classes de solos’ e ‘Fitofisionomias’. O método AHP demonstrou bastante eficácia, sendo consistente na definição dos pesos dos critérios.

O maior peso foi atribuído ao critério ‘Geologia’, sendo assim, o mapa final se configurou com uma forte influência desta variável. Este critério esteve diretamente relacionado as áreas de maior ocorrência de exploração minerária na região.

O mapa de áreas mais vulneráveis ambientalmente apontou que 52,12% e 25,02% da área foram classificadas com média e alta vulnerabilidade ambiental respectivamente, enquanto 22,84% da área foi classificada com baixa vulnerabilidade ambiental. Portanto, neste estudo as áreas que se classificaram com alta vulnerabilidade ambiental, indicam maior susceptibilidade do ambiente a alterações advindas de pressões antrópicas, neste caso voltado a exploração minerária.

Cabe ressaltar, que pelo fato das espécies brasileiras da flora ameaçadas de extinção no quadrilátero ferrífero, estarem localizadas nas áreas de maior vulnerabilidade do mapa final, neste caso pode estar demonstrando que os critérios geologia e distância da classe mineração tenham influência na perda de biodiversidade do local.

Diante do exposto, é extremamente relevante e necessário que se tenham estudos mais aprofundados, a respeito dos fatores que podem influenciar na vulnerabilidade ambiental de um determinado local. Tais pesquisas serviriam como insumo para produção de cartas apresentando áreas prioritárias para conservação ou para o Zoneamento Ecológico Econômico, que beneficiariam principalmente unidades de conservação de uso sustentável e zonas de amortecimento no entorno de unidades de conservação de proteção integral, pois estas áreas têm como finalidade a conservação da natureza e seus diversos recursos, porém sofrem com pressões antrópicas.

## REFERÊNCIAS

- ALMG. **Principais municípios mineradores, Minas Gerais – 2005**. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <[https://politicaspUBLICAS.almg.gov.br/temas/mineracao/dados\\_indicadores/dado\\_indicador2.html?tagNivel1=20&tagAtual=20](https://politicaspUBLICAS.almg.gov.br/temas/mineracao/dados_indicadores/dado_indicador2.html?tagNivel1=20&tagAtual=20)>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MOREAES-GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. Z.**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE DEFESA DO AMBIENTE – AMDA; INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. **Identificação de áreas prioritárias para implantação de sistema de áreas protegidas e corredores ecológicos no setor sul da Região metropolitana de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <[http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-quefazemos/PARQUE\\_GANDARELA\\_proposta\\_ICMBio.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-quefazemos/PARQUE_GANDARELA_proposta_ICMBio.pdf)>. Acesso em: 01 jul. 2019.
- ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 138, p.9-13, 1986.
- ARDENTE, N. C.; FERREGUETTI, Á. C.; GETTINGER, D.; LEAL, P.; MENDES-OLIVEIRA, A. C.; MARTINS-HATANO, F.; BERGALLO, H. G. Diversity and impacts of mining on the non-volant small mammal communities of two vegetation types in the Brazilian Amazon. **PLOS ONE**, v. 11, n. 11, p. 1-16, 2016.
- BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1997. 157 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos-SP, 1997.
- BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 215 p.
- BEZERRA, L. M. A. Análise dos impactos socioambientais decorrentes da mineração na chapada do Araripe, Nova Olinda, Ceará. **Geosaberes**, v. 6, n. 2, p. 79-89, 2015.
- BORMA, L. S., SOARES, P. S. M. Drenagem ácida e gestão de resíduos sólidos de mineração. In: TRINDADE, R. B. M.; BARBOSA FILHO, O. (Eds.). **Extração de Ouro: Princípios, Tecnologias e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. cap. 10, p, 243-266.
- BRAGA, M. C. D. R. **Análise locacional integrada a um Sistema de Informações Geográficas como ferramenta para o licenciamento de atividades minerárias no Quadrilátero Ferrífero**. 2018. 110 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: 5 out. 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASIL. Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 jul. 2000. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm)>. Acesso em: 10 abr. 2019.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Projeto APA SUL RMBH – Estudos do Meio Físico**: uso e cobertura da terra, mapas cobertura e uso da terra. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005a.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Projeto APA SUL RMBH – Estudos do Meio Físico**: mineração, Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005b.

COSTA, B. S.; ASSIS, C. C. A mineração e a sustentabilidade em áreas de unidades de conservação: o caso da RENCA na Amazônia. In: Congresso Internacional de Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, 5, 2018, Belo Horizonte. **Anais do V Congresso Internacional de Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, Belo Horizonte: Editora Dom Helder, 2018. p. 51-65.

COSTA, C. M. R.; HERMANN, G.; MARTINS, C. S.; LINS, L. V.; LAMAS, I. (Orgs.). **Biodiversidade em Minas Gerais**: um atlas para sua conservação. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124p.

DEMERS, M. N. **GIS Modeling in Raster**. New York: John Wiley & Sons, 2002.

DIAS, V. S. B.; SILVA, A. D. B. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA). **Rev. Bras. Cart.**, v. 66, n. 6, p. 1363-1377, 2014.

DINIZ, J. M. F. S.; REIS, A. A.; ACERBI-JUNIOR, F. W.; TEIXEIRA, M. D.; SOUZA PERDIGÃO, M. M.; BUENO, I. T.; COSTA, M. N. P.; FERRAZ-FILHO, A. C. Análise da expansão da mineração na Unidade de Conservação – APA SUL RMBH, no período de 1985 a 2011, através de técnicas de sensoriamento remoto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 11, 2014, Poços de Caldas. **Anais do XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**, Poços de Caldas: GSC Eventos Especiais, 2014. p. 1-7.

DURÁN, A. P.; RAUCH, J.; GASTON, K. J. Global spatial coincidence between protected areas and metal mining activities. **Biol. Conserv.**, v. 160, p. 272-278, 2013.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Kilimanjaro**: Guide to GIS and Image Processing. Worcester: Clark University, 2003. 328p.

FERREIRA, C. C.; MIRANDOLA, P. H., SAKAMOTO, A.; GONÇALVES, F. Uso de SIG para análise da vulnerabilidade ambiental da Bacia do Alto Sucuriú-MS/BR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15, 2011, Curitiba. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Curitiba: INPE, 2011. p. 1169-1176.

FRANÇA, L. C. J. **Fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil**. 2018. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucurí, Diamantina, 2018.

FRANCELINO, M. R. **Introdução ao geoprocessamento**. Caratinga, 2003. 45 p.

FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Espacialização de análise multicritério em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis: INPE, 2007. p. 2643-2650.

FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS. **Elaboração de um modelo de ordenamento territorial para a conservação da biodiversidade e uso racional dos recursos naturais da área proposta para a APA SUL (Quadrilátero Ferrífero, MG)** – Fase I. Belo Horizonte, 1993. v. 2.

GANEM, R. S. **Zonas de amortecimento de unidades de conservação**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2015. 22 p.

GIULIETTI, A. M.; MENEZES, N. L.; PIRANI, J. R.; MEGURO, M.; WANDERLEY, M. G. L. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: caracterização e lista de espécies. **B. Bot.**, v. 9, p. 1-151, 1987.

GIULIETTI, A. M., PIRANI, J. R.; HARLEY, R. M. Espinhaço Range region – Eastern Brazil. In: DAVIS, S. D.; HEYWOOD, V. H.; HERRERA-MACBRYDE, O.; VILLA LOBOS, J.; HAMILTON, A.C. (Eds). **Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation**. Cambridge: WWF/IUCN Publications Unit, 1997. v. 3, p. 397-404.

GRANDZOL, J. R. Improving the faculty selection process in higher education: a case for the Analytic Hierarchy Process. **Assoc. Institut. Resear.**, v. 6, p. 2-13, 2005.

HASSLER, M. L. A importância das unidades de conservação no Brasil. **Soc. nat.**, v. 17, n. 33, p.79-89, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Informações sobre a Economia Mineral do Estado de Minas Gerais**. Brasília, 2015. 15 p. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005483.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Panorama da Mineração em Minas Gerais**. Brasília: IBRAM, 2016. 280 p.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. **Áreas Protegidas – APA SUL RMBH**. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/apa-sul-rmbh>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 24-32, 2008.

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **Int. J. Geogr. Inf. Sci.**, v. 14, n. 2, p. 173-184, 2000.

LAMOUNIER, W. L.; CARVALHO, V. L. M.; SALGADO, A. A. R. Serra do Gandarela: Possibilidade de ampliação das Unidades de Conservação no Quadrilátero Ferrífero-MG. **Rev. Dept. Geogr.**, v. 22, p. 171-192, 2011.

LIMA, A Sinuca de bico: mineração em unidade de conservação. In: ROLLA, A.; RICARDO, F. (Org.). **Mineração em unidades de conservação na Amazônia brasileira**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2006. p. 9-16.

LOBÃO, J. S. B.; FRANCA-ROCHA, W. J. S.; SILVA, A. B. Geoprocessamento na Modelagem da Vulnerabilidade Natural a Erosão no Município de Morro do Chapéu-Ba. **Rev. Bras. Cart.**, v. 1, n. 63, p. 101-114, 2011.

LOPES, L. M. N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2016.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Prog Plann**, v. 62, n. 1, p. 3-65, 2004.

MARTINHAGO, A. **Conflitos entre Unidades de Conservação e Atividades Minerárias: O Caso do Parque Municipal da Gruta do Bacaetava – Colombo/PR**. 2015. 97 p. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estud. av.**, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MEDEIROS, A. M. L. **Criando Mapa de Susceptibilidade Erosiva no ArcGIS**. João Pessoa, 2015. Disponível em: <<http://andersonmedeiros.com/mapa-suscetibilidade-erosiva-arcgis/>>. Acesso em: 23 ago. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-consolidados>>. Acesso em: 6 maio 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**. Brasília, 2011. 16 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/240/\\_publicacao/240\\_publicacao05072011052536.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/240/_publicacao/240_publicacao05072011052536.pdf)>. Acesso em: 6 maio 2019.

MORAES, I. S.; FERREIRA, H. S.; OLIVEIRA, S. F. C. A utilização do SIG como ferramenta para indicação de áreas possíveis a implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Belém – PA. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3, 2010, Recife. **Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife: UFPE, 2010. p. 01-04.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis: INPE, 2007. p. 2899-2906.

MUZZI, M. R. S.; STEHMANN, J. R. A diversidade da vegetação. In: GOULART, E. M. A. (Ed.). **Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais**. 2 ed. Belo Horizonte: Rona Editora, 2005, v. 2, p. 631-651.

PEREIRA, L. F.; BARROS CRUZ, G.; GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **J. Environ. Anal. Prog.**, v. 4, n. 2, p. 122-129, 2019.

RICARDO, B. **Amazônia sob pressão**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2012.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero-MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. **Geonomos**, v. 18, n. 1, p. 33-37, 2010.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente a Planejamento**. 7. ed., São Paulo: Contexto, 2003, 84 p.

RUCHKYS, U. A.; MACHADO, M. M. M. Patrimônio geológico e mineiro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – caracterização e iniciativas de uso para educação e geoturismo. **B. Paran. Geocien.**, v. 70, 120-133, 2013.

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process – What it is and how it is used. **Math. Model.**, v. 9, n. 3-5, p. 161–176, 1987.

SAATY, T. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **J. Math. Psychol.**, v. 15 n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: Mcgraw-hill, 1991. 367 p.

SAMPAIO, A. C.; CORDEIRO, A. M.; BASTOS, F. H. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. **Braz. J. Phys. Geogr.**, v. 9, n. 1, p. 125-143, 2016.

SANTOS, L. J. C.; FIORI, C. O.; CANALLI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Rev. Bras. Geocienc.**, v. 37, n. 4, p. 812-820, 2007.

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

SELIM, S. KOC-SAN, D.; SELIM, C.; SAN, B. T. Site selection for avocado cultivation using GIS and multi-criteria decision analyses: Case study of Antalya, Turkey. **Comput. Electron. Agr.**, v. 154, p. 450-459, 2018.

SENA, J. N. **O Uso de Sistema de Informação Geográfica na Avaliação de Diferentes Alternativas de Geração de Cartas de Suscetibilidade à Erosão**. 2008. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira-SP, 2008.

SEPE, J., SALVADOR, N. N. B. Impactos da mineração e conflitos pelo uso da água com as atividades agrícolas de pequeno porte, 2015.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cad. Cienc. Tecn.**, v. 21, n. 2, p. 221-263, 2004.

SILVA, S. R.; PROCOPIO, S. O.; QUEIROZ, T. F. N.; DIAS, L. E. Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de solubilização de metais pesados e arsênio e revegetação local. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 28, n. 1, p. 189-196, 2004.

SOUZA JUNIOR, C.; AZEVEDO, T. **MapBiomass General Handbook**. MapBiomass: São Paulo, 2017. 23 p.

SPÓSITO, T. C.; STEHMANN, J. R. Heterogeneidade florística e estrutural de remanescentes florestais da Área de Proteção Ambiental ao Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul-RMBH), Minas Gerais, Brasil. **Acta Bot. Bras.**, v. 20, n. 2, p. 347-362, 2006.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1657-1664.

TORCHETTO, N.; QUEIROZ, R.; PEYROT, C.; PATATT, E. R.; LANGNER, C.; OCHOA, L.; KOPPE, E. O uso do Quantum GIS (QGIS) para caracterização e delimitação de área degradada por atividade de mineração de basalto no município de Tenente Portela (RS). **Rev. Eletrônica Gest., Educ. Tecnol. Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 710-717, 2014.

VALENTE, A. R.; PETEAN, F. C. S.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria decision analysis for prioritizing areas for forest restoration. **CERNE**, v. 23, n. 1, p. 53-60, 2017.

VIANA, M. B. Panorama do setor mineral: legislação e impactos socioambientais. In: GANEM, R. S. (Org.). **Políticas setoriais e meio ambiente**. Brasília: Edições Câmara dos Deputados, 2015. p. 84-130.

WPDA. **Base de Dados Mundial de Áreas Protegidas**. 2010. Disponível em: <<https://www.protectedplanet.net/>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

WWF BRASIL. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) completa 14 anos de avanços e desafios**. Brasília, 2014. Disponível em: <[https://www.wwf.org.br/wwf\\_brasil/?40382/sistema-nacional-de-unidades-de-conservacao-snuc-completa-14-anos-de-avancos-e-desafios](https://www.wwf.org.br/wwf_brasil/?40382/sistema-nacional-de-unidades-de-conservacao-snuc-completa-14-anos-de-avancos-e-desafios)>. Acesso em: 10 jul. 2019.