CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA DE MAPEAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS QUANTO SUA BIODIVERSIDADE CONSIDERANDO AS ATIVIDADES MINERÁRIAS

EDUARDO LEÃO FERREIRA MURTA

BELO HORIZONTE
2019

EDUARDO LEÃO FERREIRA MURTA

PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA DE MAPEAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS QUANTO SUA BIODIVERSIDADE CONSIDERANDO AS ATIVIDADES MINERÁRIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Freitas de Oliveira Júnior

BELO HORIZONTE

2019

EDUARDO LEÃO FERREIRA MURTA

PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA DE MAPEAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS QUANTO SUA BIODIVERSIDADE CONSIDERANDO AS ATIVIDADES MINERÁRIAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 04/12/2019

Banca examinadora:

Prof Dr Arnaldo Freitas de Oliveira Junior – Orientador CEFET/MG

Prof Dr Carlos Wagner G. A. Coelho – CEFET/MG

Prof Dr Evandro Carrusca de Oliveira – CEFET/MG

RESUMO

MURTA, E.L.F. *proposição metodológica de mapeamento para identificação de áreas vulneráveis quanto sua biodiversidade considerando as atividades minerárias.*2019. 62f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

O presente trabalho visou considerar sete (7) atributos ambientais relevantes, adotando uma metodologia de mapeamento para identificação de áreas vulneráveis quanto a sua biodiversidade considerando as atividades minerárias a partir de práticas definidas pelo *Analytic Hierarchy Process* (AHP), proposto por Saaty na década de 1980 (ROSA et al. 2015). O Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi adotado como ferramenta para espacializar as camadas provenientes de instituições distintas que representassem os atributos sob enfoque, cuja sobreposição resultou no comparativo entre as áreas definindo, desde localidades mais abastadas, até aquelas sem representatividade considerando os sete (7) parâmetros avaliados. O método AHP, usualmente aplicado em processos de tomada de decisão, foi adotado para hierarquizar os atributos distintos, de acordo com a relevância, em termos da vulnerabilidade de suas características, associada às atividades e impactos ambientais promovidos pelo setor minerário. O resultado foi a produção de dois mapas que ilustram as áreas do território nacional com seus respectivos valores adimensionais de vulnerabilidade associada. Os números compreendidos entre zero (0) e três virgula doze (3,12), traduzidos em uma escala de cores (do verde ao vermelho, respectivamente), permitem estabelecer rapidamente as áreas mais vulneráveis quanto aos aspectos da biodiversidade descritos pelos atributos selecionados e, consequentemente, maiores riscos associados a instalação de projetos do setor minerários. Além disso, o Mapa 2 exibe a situação dos empreendimentos já registrados no Brasil pelo Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SIGMINE (BRASIL, 2019), segundo as características de vulnerabilidade encontradas na presente metodologia.

Palavras-chave: Atributos ambientais. Mapeamento. Áreas vulneráveis. *Analytic Hierarchy Process.* Atividades Minerárias. Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT

MURTA, E.L.F. methodological proposition of mapping to identify vulnerable areas for their biodiversity considering mining activities.2019. 62f. Monograph (Degree in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

The present work aims to consider seven (7) relevant attributes, adopting a mapping methodology to identify vulnerable areas regarding their biodiversity, considering mining activities based on practices defined by the Analytical Hierarchy Process (AHP), proposed by Saaty in the 1980s (ROSA et al. 2015). Geographic Information System (GIS) was adopted as a tool for describing samples from different institutions that represent relevant attributes. The AHP method, currently applied in decision-making processes, was adopted to rank the distinct attributes according to their relevance, in terms of the vulnerability of their characteristics, associated with the activities promoted by the mining sector. The result was the production of two maps that illustrate areas of national territory with values associated to their vulnerability. Numbers from zero (0) to three point twelve (3.12) translated on a color scale (from green to red, respectively) define most vulnerable areas according to biodiversity aspects affected by the installation of mining enterprises. In addition, Map 2 shows the status of enterprises registered in Brazil according to Sistema de Informações Geográficas da Mineração - SIGMINE (BRASIL, 2019), considering the vulnerability status established by the present methodology.

Keywords: Environmental attributes. Mapping. Vulnerable areas. Analytic Hierarchy Process. Mining Activities. Geographic Information System.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7

1.1 Objetivo geral 15

1.2 Objetivos específicos 15

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

2.1 Panorama da atividade minerária no Brasil 16

2.2 Impactos ambientais advindos da mineração 21

2.2.1 Impactos no meio físico 21

2.2.2 Impactos no meio biótico 23

2.2.3 Impactos no meio antrópico 24

2.2.4 Impactos ambientais de elevada significância 25

3 CONTEXTUALIZAÇÃO METODOLÓGICA 29

4 METODOLOGIA 31

4.1 Seleção e processamento das camadas 33

5 RESULTADOS 40

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 50

REFERÊNCIAS 54

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da história, a espécie humana busca, cada vez mais, facilidades e confortos proporcionados pelo desenvolvimento tecnológico. Práticas comuns do homem pré-histórico, como o preparo de artefatos feitos de argila e a coleta de rochas com maior potencial de corte e rigidez descrevem o princípio da extração mineral e sua adaptação para utilidades distintas (PESSOA, 2006). O êxodo rural que promoveu a criação das comunidades embrionárias, atualmente evoluídas em grandes metrópoles e centros urbanos, demandou consigo a produção e a estocagem de recursos provenientes de fontes naturais, magnificando consideravelmente a exploração de minerais fundamentais para o desenvolvimento e a expansão demográfica (FURTADO, 2013).

Araújo *et al.* (2014) elucida a intensificação dos aportes financeiros na indústria mineral extrativista do século XXI, entretanto o grande *boom* da exploração aconteceu simultaneamente à denominada revolução tecnológica, iniciada em meados do século XX. A chegada da era da informação, ou era digital, gerou reflexos marcantes, tanto no modelo de extração, quanto na demanda por *commodities*, influenciando diretamente o modelo de vida da sociedade, promovendo características amplamente associadas à mentalidade consumista que move o capitalismo vigente em grande parte do planeta. Habituados ao dinamismo dos veículos de comunicação e, consequentemente às propagandas, aos habitats de centros urbanos são constantemente incentivados e instigados a trocarem e atualizarem seus bens.

A obsolescência dos aparelhos eletrônicos tem velocidade nunca vista antes. Estratégias de mercado vem sendo aplicadas no sentido de reduzir deliberadamente a durabilidade dos bens de consumo (MORAES, 2015), as concessionárias mudam a configuração dos automóveis produzidos, tudo isso com a exclusiva finalidade de induzir a substituição precipitada das mercadorias produzidas. A consequência provocada por esse modelo de comércio implica no crescimento significativo da demanda por recursos minerais não renováveis.

As atividades de mineração e os produtos do setor minerário estão presentes diariamente e influenciam consideravelmente em diversos aspectos rotineiros da coletividade. A atuação e a presença da indústria mineradora nos produtos é, em

alguns casos, óbvia, entretanto, é complexo mensurar quão diferente seria a vida humana sem esse importante campo. Desde os hábitos alimentares, visto que as práticas agrícolas são extremamente dependentes dos fertilizantes, as vestimentas, levando em consideração a presença dos polímeros provenientes da extração do petróleo, além da ornamentação e da indústria óptica e científica, considerando que simplesmente para promoverem o acesso à internet, muitos provedores dependem da fibra óptica proveniente da extração e beneficiamento do quartzo (TOSATTO, 2005), é incontestável a total dependência por recursos minerais no modo de vida atual.

Apesar da expressiva evolução no cenário das práticas voltadas para a sustentabilidade no campo da mineração, o setor ainda é tido como o menos desenvolvido neste aspecto se comparado às outras indústrias provedoras de recursos (WORRALL, 2009). Portanto, é indiscutível a relevância de estudos dos impactos oriundos dos processos desenvolvidos pela indústria minerária e a proposição de medidas de mitigação.

Entre as externalidades negativas vinculadas aos empreendimentos minerários, é possível destacar a degradação visual de aspectos paisagísticos, a supressão de vegetação, a emissão de poluentes atmosféricos, os ruídos promovidos pelo funcionamento de maquinário, bem como pelas explosões necessárias para viabilização da lavra, a fragmentação de ecossistemas, a suspensão de materiais particulados provenientes do trânsito de veículos pesados e a poluição hídrica. O papel fundamental da indústria mineral no desenvolvimento econômico dos países que sediam suas atividades exploratórias está diretamente atrelado às degradações socioambientais provenientes do ciclo produtivo do setor (KAI LEI *et al.*, 2016).

Segundo a ONU, o complexo conjunto de fatores bióticos e abióticos supracitados como principais impactados pela atividade mineral, bem como suas interações compõem o universo denominado por ecossistema (UNITED NATIONS, 1992). Estes fatores são responsáveis pela promoção de benefícios obtidos pela espécie humana, fundamentais para a sobrevivência e a manutenção do modo de vida habitual (KUMAR, 2012). Estes benefícios, diretos ou indiretos, são usualmente denominados serviços ecossistêmicos ou serviços de ecossistemas, também definidos pelo Millennium Ecosystem Assessment (Avaliação Ecossistêmica do Milênio) como condições ou processos pelos quais os ecossistemas e os fatores que os compõem sustentam e proporcionam a vida humana (REID et al., 2005).

A implementação de um empreendimento minerário, portanto, implica na redução da qualidade ou na degradação de um ou mais benefícios provenientes do meio ambiente, ou serviços ecossistêmicos. O Quadro 1 abaixo classifica os serviços ecossistêmicos de acordo com as quatro subcategorias que os segregam.

O bem-estar humano, portanto, está amplamente associado aos serviços ecossistêmicos e, consequentemente, ao meio ambiente, levando em consideração a premissa de que o progresso em busca do desenvolvimento sustentável tem relação direta com as metodologias de manejo dos ecossistemas terrestres e aquáticos e seus componentes (REID et al., 2005).

Apesar de amplamente difundida na atualidade, a relevância da questão ambiental foi uma conquista ideológica marcada por diversos contratempos e debates na história da humanidade.

Após a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano em Estocolmo (Suécia) em 1972 e, subsequentemente, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento no Rio de Janeiro em 1992, reconhecendo o conceito de desenvolvimento sustentável, entidades privadas e públicas passaram a ser pressionadas em decisões acerca de investimentos que deveriam, portanto, se basear também em uma análise de viabilidade ambiental (FERNANDES, 2007).

Quadro 1 – Serviços ecossistêmicos de acordo com seus grupos

Fonte: Adaptado de REID et al. (2005).

A partir desses marcos, a consciência da necessidade de agregar componentes ambientais às principais economias mundiais passou a ser mais difundida.

A conferência mais recente estabeleceu para os signatários a “Agenda 21”, um programa que coloca em prática atitudes que viabilizam maior sustentabilidade no cenário do desenvolvimento mundial, visando promover a proteção da atmosfera, especialmente contra os gases de efeito estufa (GEE); o combate ao desmatamento, à perda de solo e à desertificação; além de prevenir a poluição da água e do ar;

minimizar danos à ictiofauna e promover uma gestão segura dos resíduos tóxicos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019). Para distanciar o mundo do modelo de progresso adotado até então, que comprometia o futuro das novas gerações, demonstrou-se que seria crucial que os países em desenvolvimento estivessem de acordo com práticas mais abrangentes com relação à questão ambiental e, para isso, seria necessário que, instituições de financiamento de desenvolvimento e até mesmo países desenvolvidos parceiros, subsidiassem projetos de desenvolvimento consciente nas nações emergentes.

Acompanhando o contexto da relevância de aspectos, impactos e riscos ambientais, a Global Repor Ting Imitativa (GRI) estabeleceu no ano de 2000 a primeira versão de diretrizes que passaram a colaborar com entidades públicas e privadas em questões relevantes para relatórios de sustentabilidades como mudanças climáticas, biodiversidade, efluentes e resíduos e avanços de práticas sustentáveis (GLOBAL REPORTING INITIATIVE, 2019). Frente a extensivos avanços do compromisso com o desenvolvimento sustentável, em 2012, reforçando preceitos já estabelecidos e discutindo novas ideologias, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, na cidade do Rio de Janeiro. O principal reflexo da cúpula de 2012 foi a adoção, no ano seguinte, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). As diretrizes estabelecidas nos ODS contemplam 17 Objetivos e 169 metas, envolvendo temáticas diversificadas, como energia, água e saneamento, padrões sustentáveis de produção e de consumo, mudança do clima, cidades sustentáveis, proteção e uso sustentável dos oceanos e dos ecossistemas terrestres (BRASIL, 2019).

Neste interstício, o contexto de evoluções ideológicas ambientais mundiais, relativamente recentes, influenciou diretamente o posicionamento brasileiro frente à questão ambiental. Segundo o artigo 225 da Constituição Federal de 1988:

> Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988, Art. 225.).

Portanto, é dever fundamental das companhias exploradoras de matérias-primas minerais realizar uma gestão condizente à gravidade dos impactos promovidos por suas operações no meio ambiente e, consequentemente, em seus componentes

responsáveis por prover os serviços descritos no Quadro 1. A gestão eficiente e a adoção de estratégias conscientes no modelo extrativista devem fazer parte do planejamento de grandes companhias não apenas visando êxito no mercado, mas também assegurando a manutenção de um compromisso com a responsabilidade social e civil.

Estudos recentes, tais como o de Milanez (2017) e Scotto (2013) destacam a relevância de identificar os impactos socioambientais associados às atividades do extrativismo mineral, além de julgarem fundamental o dimensionamento dos danos ao local de inserção de um projeto minerário para que sejam estabelecidas e executadas medidas de contenção e controle eficazes.

Ainda segundo a Constituição Federal, no inciso VI do artigo 23 fica estabelecido que “é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas” (BRASIL, 1988, Art. 23, IV). Partindo desse pressuposto, se fazem necessárias diretrizes para normatizar as dinâmicas de implementação e funcionamento de empreendimentos com potencial poluidor, restringindo ainda mais aqueles negócios cujo grau de impacto associado seja significativo.

De acordo com Fernandes (2007), a mineração está sempre entre as atividades para as quais, em quase todos os países, se exige a preparação prévia de um estudo de impacto ambiental (EIA) ou, de outra forma equivalente, de avaliação justificada, especialmente pela magnitude e pelo elevado número de impactos ambientais associados ao empreendimento. No Brasil isso não é diferente. De forma a assegurar o artigo 225 da Constituição Federal supracitado, o inciso IV do § 1º deste mesmo artigo reforça a incumbência do poder público de “exigir, na forma da Lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade” (BRASIL, 1988, Art. 225 §1º, IV).

A atuação da esfera política na implementação de mecanismos de gestão de impactos que garantem os direitos das comunidades afetadas por empreendimentos minerários exploratórios tem grande relevância (ARAUJO *et al.*, 2014). O cenário relativamente recente em que estão inseridas as indústrias extrativistas retrata que não somente a legislação ambiental se tornou mais rigorosa e relevante, mas também

os mercados consumidores, externo e interno, exigem condutas ambientalmente responsáveis por parte dos fornecedores dos insumos envolvidos em sua cadeia de suprimentos, assegurando a qualidade e o compromisso do produto com o meio ambiente.

Dessa forma, demandas de origem legal e do próprio mercado acompanhadas de ações visando a redução de custos, têm acelerado e ampliado o valor agregado do desenvolvimento tecnológico voltado para práticas conservacionistas, uma vez que as empresas obtêm benefícios também na melhoria de suas imagens frente ao mercado e no valor das companhias para os *stakeholders* (FERNANDES, 2007). É evidente que as vantagens de uma boa gestão de impactos ambientais ultrapassam obrigações legais, entretanto, é habitual que avaliações tão cruciais sejam minimizadas a meros instrumentos para a aprovação de projetos com elevado valor de retorno financeiro.

Cientes da fragilidade das legislações ambientais vigentes nos países em desenvolvimento e das dificuldades encontradas pelos órgãos de auditoria, instituições fomentadoras de desenvolvimento elaboram suas próprias orientações para melhorar o desempenho de projetos financiados, que visam assegurar a confiabilidade do retorno esperado de valores investidos. Por se tratarem de provedoras de fundos, é natural que as entidades de fomento ao desenvolvimento realizem suas próprias auditorias para avaliar a responsabilidade ambiental e social dos empreendimentos aos quais estão se associando. A Corporação Financeira Internacional (IFC), membro do Grupo Banco Mundial, por exemplo, é uma instituição fomentadora de desenvolvimento que tem enfoque no setor privado, auxiliando com recursos econômicos e expertise as empresas parceiras. Atualmente considerada relevante indutora da sustentabilidade corporativa, a IFC estabeleceu padrões, periodicamente auditados, que colaboram para que seus clientes administrem e aprimorem seu desempenho socioambiental por meio de uma abordagem baseada em riscos e resultados (IFC, 2012).

Ao todo, a IFC elaborou oito padrões de desempenho que discorrem a respeito de diversos aspectos socioambientais, entretanto, os mais relevantes para o presente tema são o “Padrão 1: Avaliação e Gestão de Riscos e Impactos Socioambientais” e o “Padrão de Desempenho 6: Preservação da Biodiversidade e Gestão Sustentável de Recursos Naturais Vivos” (IFC, 2012).

Identificar e mapear as vulnerabilidades e riscos ambientais associados a um determinado empreendimento permite a elaboração de planos de melhor conduta no caso da ocorrência de danos advindos de sua instalação e operação antes mesmo de atuar na área de influência. Uma vez estipulados cautelosamente os riscos de determinado empreendimento, é possível adotar uma hierarquia de mitigação, cujas diretrizes são evitar, minimizar e, caso permaneçam impactos residuais, compensar os impactos provocados por determinado empreendimento.

Para apontar os impactos ambientais provocados por determinado negócio, além de levar em consideração as interferências antrópicas cuja área do empreendimento será submetida, é extremamente relevante conhecer as características bióticas e abióticas da Área Diretamente Afetada (ADA). Diferentes projetos demandam processos também distintos, visto que possuem aspectos ambientais associados às suas respectivas atividades de implantação e operação. Portanto, é fundamental conhecer a que tipo de modificações determinada área está sujeita, bem como quais recursos estão ali dispostos, possibilitando a definição de quais características críticas e serviços do ecossistema serão afetados pela instalação do negócio.

O avanço recente das técnicas relacionadas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) favoreceu consideravelmente a determinação da disposição dos recursos naturais, bióticos e abióticos de uma região em análise. Diversas informações são fornecidas gratuitamente por instituições públicas e privadas que disponibilizam suas bases de dados cooperando com as pesquisas e o progresso tecnológico. Combinando a ampla diversidade de dados disponíveis na rede à vasta variedade de ferramentas contidas nos softwares desenvolvidos para trabalhar com o sensoriamento remoto, a produção de bases cartográficas, abordando informações relevantes para propósitos específicos, tornou-se prática e financeiramente viável. Como consequência, este tipo de estudo tem sido incorporado em diversos processos de tomada de decisões e planejamento empresarial.

Embora geralmente não se trate de uma metodologia satisfatória para, de forma isolada, identificar áreas de "Set-asides"[1], os conhecimentos adquiridos por meio do

[1] Segundo a IFC "Set-asides" são áreas dentro do local do projeto excluídas do desenvolvimento e que são objetos de implantação de medidas de aprimoramento da conservação (IFC, 2012, p.4).

SIG produzem evidências primárias que podem ser discutidas, resultando em embasamentos pertinentes para deliberações que reconheçam antecipadamente áreas sensíveis devido às suas características ou vulnerabilidades ambientais. Essas características, caso não identificadas, podem posteriormente interferir no andamento do projeto em questão (DEL CAMPO, 2017).

A elaboração de mapas de vulnerabilidade ambiental permite a implementação de um método sistemático, replicável e que favorece a elaboração de comparações qualitativas e quantitativas, podendo auxiliar em diversas etapas de um projeto, desde a fase de instalação até seu encerramento (DEL CAMPO, 2017). Nesse tipo de metodologia de mapeamento, fica a cargo do autor dos mapas a seleção das propriedades avaliadas, bem como sua estratégia de comparação entre elas, conferindo a autonomia necessária para que as partes interessadas determinem quais os aspectos significativos a serem abordados nas cartas elaboradas.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo propor uma metodologia de mapeamento de áreas vulneráveis considerando sete (7) atributos ambientais selecionados.

1.2 Objetivos específicos

a) selecionar atributos relevantes que representem vulnerabilidades associadas à biodiversidade no território nacional;
b) elaborar o comparativo gráfico em forma de mapa que representará o território brasileiro conforme os valores de vulnerabilidade das áreas sensíveis segundo seus atributos ambientais relevantes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Panorama da atividade minerária no Brasil

O primeiro ciclo mineral nacional se confunde com a própria colonização do Brasil (SOUZA, 2001). As grandes jazidas auríferas descobertas no Peru e no México, ainda no período de colonial, incentivaram as expedições no território brasileiro em busca do mineral valioso, proporcionando, futuramente, o estabelecimento da atual configuração geográfica e dos limites federativos e estaduais do país (PRADO JR., 1998).

O segundo ciclo mineral iniciado em meados dos anos 50 foi marcado por acontecimentos fundamentais, inclusive para a presente economia brasileira. O petróleo que alavancou a fundação da Petrobrás e as minas do Quadrilátero Ferrífero são legados importantes deste período (BARRETO, 2002).

As etapas da mineração nacional colocam a atividade num patamar de extrema relevância pretérita e ainda prevalente na economia atual e na estruturação do país. Segundo Farias (2002), a promoção do bem-estar social e econômico, bem como da melhoria da qualidade de vida está diretamente associada à expansão minerária e à extração dos recursos do subsolo. Mota *et al.* (2017) relacionam a atividade minerária com o desenvolvimento de municípios que atuam no setor por meio do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), medida que determina o grau de desenvolvimento dos países e que, posteriormente foi adaptada para municípios (IDHM). Esse é o critério estabelecido pela ONU, e escolhido pelo autor para descrever a contribuição da atividade minerária ao desenvolvimento regional.

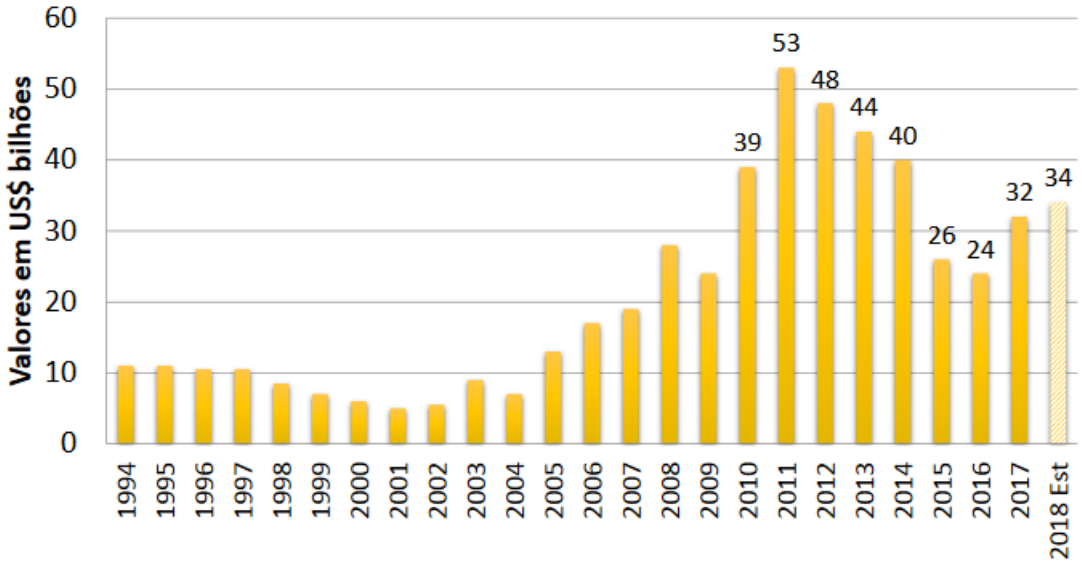
Segundo o inciso IX do artigo 20 da Constituição Federal de 1988, “São bens da União: [...] IX - os recursos minerais, inclusive os do subsolo” (BRASIL, 1988). Além disso, o mesmo artigo 20, § 1º, estabelece que:

> É assegurada, nos termos da lei, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, bem como a órgãos da administração direta da União, participação no resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica e de outros recursos minerais no respectivo território, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, ou compensação financeira por essa exploração (BRASIL, 1988, Art. 20 § 1º).

Posteriormente a Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989 passou a instituir o recolhimento da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) em seus termos (BRASIL, 1989). Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM), o valor arrecadado pela compensação financeira supracitada no ano de 2018 foi cerca de 3,03 bilhões de reais (BRASIL, 2018).

Portanto, devido às características específicas da pátria e a grande diversidade de produtos provenientes da indústria mineral, o negócio é amplamente responsável por superávits na balança comercial brasileira. Em decorrência de um subsolo rico e constituído por minérios de classe mundial, ou seja, de excelência, bem como das dimensões continentais do país, a mineração representa de 3% a 5% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO 2013, 2018). O Brasil é extremamente competitivo no mercado mundial, atingindo em 2017 volume de exportação superior a 403 milhões de toneladas de bens minerais (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2018). Essa ampla disponibilidade de recursos atrelada ao perfil desenvolvimentista nacional promovem o crescimento da Produção mineral brasileira, apesar de oscilações pontuais ocasionadas por períodos marcados por graves crises econômicas em diversos segmentos comerciais como pode ser observado no Gráfico 1**.**

Gráfico 1 – Produção Mineral Brasileira (PMB)



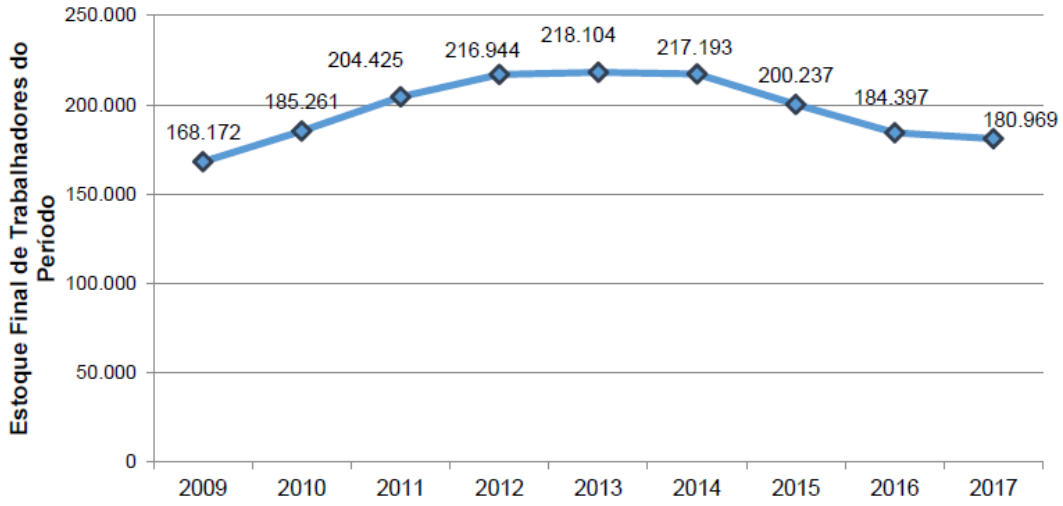
Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2018.

Valores exclusivos da Indústria Extrativa Mineral, não inclui Petróleo e Gás.
A PMB é a soma de todos os bens minerais produzidos no país calculados em bilhões de dólares, metodologia IBRAM.

Além do grande destaque na geração de recursos financeiros pelas indústrias minerais, limitações encontradas nos processos de exploração justificam a constante demanda por mão de obra altamente qualificada, bem como a adoção de técnicas atualizadas com frequência nas estratégias envolvidas no negócio. No ano de 2017, O setor mineral foi responsável pela geração de 180 mil empregos diretos e mais de dois milhões indiretos (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2018).

O Gráfico 2 a seguir descreve a série histórica referente aos empregos gerados pelo setor minerário desde o ano de 2009.

Gráfico 2 - Empregos Diretos do Setor Mineral no Brasil por Ano



Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2018.

Foi descrito por Mota *et al.* (2017) que a média dos valores de IDHM (2010) para os municípios mineiros e paraenses que desenvolvem práticas de extrativismo mineral foi de 0,731 e 0,670, respectivamente. No mesmo período, a média brasileira do IDHM foi de 0,659. Adicionalmente, a Tabela 1 apresenta o IDHM de municípios com destaque no cenário da mineração nacional, comparando o Índice desses municípios ao IDHM médio do estado em que estão localizados.

Tabela 1 – IDMH dos municípios e médio de estados atuantes na extração mineral

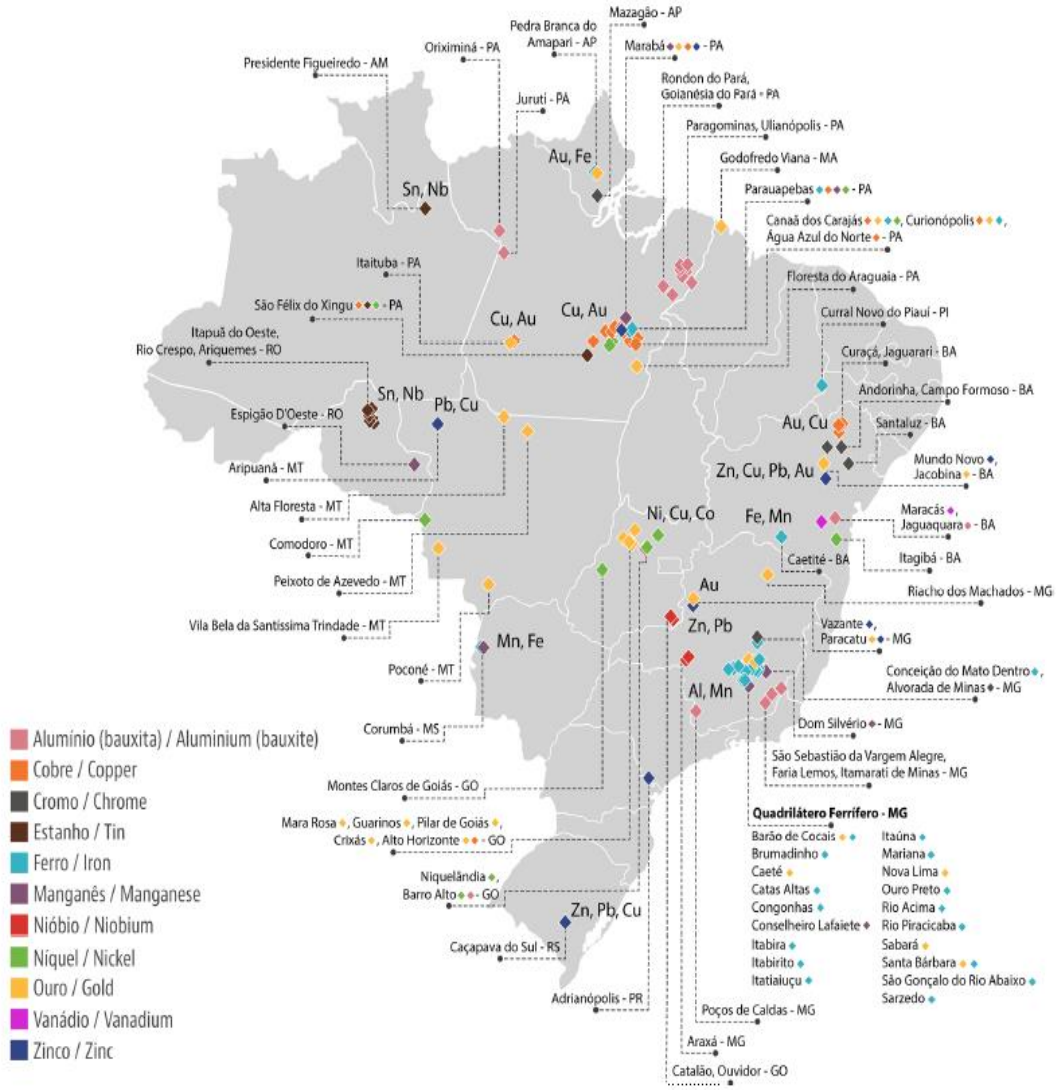
MUNICÍPIO	IDHM	ESTADO	IDHM MÉDIO DO ESTADO
CANAÃ DOS CARAJÁS	0,673	PA	0,646
CRICIÚMA	0,788	SC	0,774
NOVA LIMA	0,813	MG	0,731

Fonte: Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas – PNUD (2013).

É imprescindível destacar que, em todos os casos descritos na Tabela 1**,** o IDHM supera a média estadual, mesmo quando os estados de referência apresentam valores considerados altos para o índice (entre 0,700 e 0,799).

Dados do ministério da economia referentes ao ano de 2018 classificam minérios de ferro e seus concentrados na terceira colocação do *ranking* de principais produtos exportados pelo Brasil. A participação de 8,43% nas exportações totais do país no ano foi responsável pela geração de US$20.215,66, referentes às 389.807.191 toneladas do produto exportadas. Outros produtos cuja base é a extração mineral encontram-se, também, em colocações relevantes no *ranking* de principais produtos exportados. Os minérios de cobre (23º) e os minérios de manganês e seus concentrados (57º) são, respectivamente, os produtos da atividade minerária que, após os minérios de ferro e seus concentrados, representam exportações mais expressivas. Além dos recursos descritos acima, o Brasil conta com diversas reservas de minerais distintos (BRASIL, 2018). Na Figura 4 estão dispostas as principais reservas minerais no território nacional até o ano de 2017.

Figura 4 - Localização das principais reservas minerais brasileiras de alumínio, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel, ouro, vanádio e zinco



Fonte: BRASIL – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (2018)

As reservas de seu território proporcionam ao Brasil uma colocação entre os seis mais significantes países minerais do planeta, conferindo também às empresas nacionais patamares de excelência mundial e representatividade no mercado estrangeiro (BARRETO, 2002). Neste sentido, a expansão dos complexos minerários e a intensificação dos processos extrativistas são, não somente reflexos marcantes da história do país, mas também expectativas para panoramas futuros.

Como consequência da expansão de produção supracitada, de forma geral, a magnitude e a frequência dos impactos ambientais ocasionados pelas atividades minerárias escalaram significativamente levando em consideração, especialmente, o

volume de estéreis movimentados, a quantidade de rejeitos produzidos e a extensão das áreas perturbadas pelo extrativismo mineral (FERNANDES, 2007). A relação entre a disponibilidade finita dos minerais que, comparados à escala temporal relativa da humanidade, não são renováveis, pressiona cada vez mais o setor dependente desses insumos, exigindo práticas mais sustentáveis que não comprometam oportunidades e demandas futuras (WORRALL, 2009).

2.2 Impactos ambientais advindos da mineração

De acordo com a Resolução do CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986, impacto ambiental é:

> Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a fauna e a flora; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais. (BRASIL, 1986, Art. 1º).

Devido à diversidade e significância dos impactos ambientais associados à atividade minerária, é usual que, na literatura, estas externalidades estejam descritas de acordo com o meio afetado (DIAS, 2001). No presente trabalho adotou-se, inicialmente, a metodologia tradicional de apresentação, diferenciando os impactos descritos segundo os meios físico, biótico e antrópico para, subsequentemente, avaliar suas associações, resultando naqueles impactos cuja análise tem maior relevância.

2.2.1 Impactos no meio físico

Para Mechi e Sanches (2010) e Farias (2002), parte majoritária das atividades necessárias para implantação e operação de um empreendimento minerário demanda desmatamento e remoção da camada superficial dos solos, modificando as características geomorfológicas locais, além de intensificar a degradação de áreas. Alterações em relevos e coberturas vegetais naturais provocam adversidades ainda mais significativas que a descaracterização paisagística da área impactada.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2005) descreve o quão influentes a topografia e o relevo podem ser no escoamento superficial de determinada região. A declividade é propriedade significativa no perfil de velocidade do escoamento pluvial que, por sua vez, é protagonista na magnificação dos processos erosivos. A exposição do solo também o torna mais suscetível às ações de outras intempéries como a ação do vento e a incidência de radiação solar. O intemperismo é responsável pela transformação das rochas em materiais soltos, de alguns minerais provenientes das rochas em argila e pela translocação de materiais entre os distintos horizontes do solo (LEPSCH, 2002). As alterações nas propriedades originais dos solos proporcionam características instáveis para a nova cobertura, propiciando deslizamentos de terra e lixiviação de materiais, resultando na intensificação de processos de assoreamento dos corpos hídricos.

Resguardadas pelo artigo 20, inciso X da constituição federal, “as cavidades naturais subterrâneas e os sítios arqueológicos e pré-históricos” são abrigo de ecossistemas únicos, complexos e altamente frágeis, apresentando diversas variabilidades quanto à morfologia, mineralogia e microclima específicos (MIRANDA, 2012). Sua conservação é, portanto, de profunda relevância, tanto para as gerações presentes quanto para as futuras. De acordo com Brasil (1989): “Art. 251 – A exploração de recursos hídricos e minerais do Estado não poderá comprometer os patrimônios natural e cultural, sob pena de responsabilidade, na forma da lei. ” Por sua vez, a Lei Estadual n. 11.726, de 30 de dezembro de 1994, dispõe sobre a política cultural do Estado de Minas Gerais e institui que:

> Art. 13 - Os bens e sítios arqueológicos, as cavidades naturais subterrâneas e os depósitos fossilíferos sujeitam-se à guarda e proteção do Estado, que as exercerá em colaboração com a comunidade.
> § 1º - O dever de proteção estende-se às áreas de entorno, até o limite necessário à preservação do equilíbrio ambiental, dos ecossistemas e do fluxo das águas e à manutenção da harmonia da paisagem local (MINAS GERAIS, 1994, Art. 13, §1º).

Tais dispositivos legais exibem a grande relevância conferida, não somente às áreas que abrigam os acessos às cavidades, mas também às suas adjacências e, consequentemente determinam as práticas de proteção que devem ser adotadas em áreas limítrofes estabelecidas para conservação destes ecossistemas.

Como já descrito, as atividades do setor minerário estão amplamente associadas às modificações drásticas nas propriedades do terreno da área explorada. Essa característica coloca as regiões de ocorrência de patrimônio espeleológico na categoria de vulnerável aos aspectos dos empreendimentos em análise.

Além dos impactos descritos acima, Paiva (2006) destaca a disposição indevida de rejeitos, usualmente associada às práticas sem controle da atividade minerária, como o principal fator causador de alterações nas propriedades do solo. A destinação dos rejeitos em pilhas aloca sedimentos repletos de compostos químicos e solos com características distintas daquelas encontradas na área de disposição. Essas alterações na superfície do solo também impactam drasticamente na dinâmica hidrológica local.

Dias (2001) coloca, entre os fatores mais impactados pelas atividades minerárias, os recursos hídricos. Os efluentes que podem ser originários do próprio mineral extraído, a introdução de químicos em etapas de tratamento, ou mesmo a lixiviação de taludes desmatados são responsáveis pela contaminação da água subterrânea ou superficial local. Essas atividades frequentes no princípio das operações de lavra exercem grande influência nas propriedades físico-químicas do solo, interferindo na dinâmica de escoamento da água pluvial. Para Pinto *et al.* (2004), o uso impróprio dos solos combinado às técnicas de desmatamento em larga escala são os protagonistas na degradação da qualidade e da quantidade da água disponível nas bacias hidrográficas. É imprescindível pensar na associação dos fatores do meio abiótico e biótico, especialmente considerando as áreas vegetadas como regiões de extrema relevância para a recarga da bacia hidrográfica em que estão inseridas. Assim sendo, deve ser fortemente considerada a vulnerabilidade dos fatores de vegetação e corpos hídricos relevantes nas áreas pretendidas para a implantação e operação de empreendimentos minerários.

2.2.2 Impactos no meio biótico

A biota é extremamente dependente dos fatores abióticos. A integridade do ecossistema com relação à qualidade dos recursos hídricos, dos solos e do ar é fundamental para a manutenção da biodiversidade. A associação feita por De Mello

et al. (2014) consideram a drenagem ácida como um dos subprodutos da mineração mais graves em relação à sua interação e impacto ambiental. Seu potencial de reduzir os valores de pH da água a torna imprópria para consumo e para as outras atividades da biota aquática. Para Enríquez *et al.* (2011), os danos provocados no meio biótico estão associados às emissões de líquidos contaminantes, às detonações de explosivos e ao tráfego e operação de maquinário que promovem o afugentamento da fauna devido aos ruídos envolvidos nos processos.

As rotas utilizadas pela fauna podem ainda ser drasticamente modificadas e, inclusive, inutilizadas devido à sua descaracterização. Bond (2008) estabelece o grande impacto gerado por empreendimentos lineares como rodovias e ferrovias em suas adjacências. O volume de tráfego tem impactos diretos tais como o atropelamento da fauna, o transporte da biota exótica e nativa e a fragmentação de habitat originalmente conectados. As rotas utilizadas pela fauna podem ainda ser drasticamente modificadas e, inclusive, inutilizadas devido à sua descaracterização. Bond (2008) estabelece o grande impacto gerado por empreendimentos lineares como rodovias e ferrovias em suas adjacências. O volume de tráfego tem impactos diretos tais como o atropelamento da fauna, o transporte da biota exótica e nativa e a fragmentação de habitat originalmente conectados.

Enríquez *et al.* (2011) traçam um panorama sistêmico descrevendo a relação direta existente entre maiores valores de indicadores de desmatamento em municípios mineradores. O desmate associado à atividade mineradora usualmente ocorre em regiões de alto valor biológico e alta biodiversidade. A mineração atuante em boa parte do Quadrilátero Ferrífero ocupa áreas onde, anteriormente à instalação dos empreendimentos, originalmente havia cobertura vegetal característica do bioma Mata Atlântica.

Os fatores descritos são, usualmente, responsáveis por tenderem as composições florística e faunística ao declínio. A diversidade de espécies, especialmente aquelas sensíveis, é reduzida drasticamente com a intensificação da interação antrópica. A diversidade da fauna e da flora nas áreas afetadas são, portanto, fatores de importante análise para os empreendedores do setor minerário.

2.2.3 Impactos no meio antrópico

Pontes *et al.* (2013) diagnosticam impactos positivos e negativos na questão antrópica. Os positivos, como já descrito pelo presente trabalho, usualmente estão associados à geração de renda, elevação nas questões que tangem ao desenvolvimento humano, como tecnologia, escolaridade e renda *per capita*, o desenvolvimento tecnológico, a promoção da arrecadação de impostos a serem investidos localmente e o aumento da disponibilidade empregatícia.

Quanto aos impactos negativos, Viana (2012) retrata a ótica de representantes de comunidades vizinhas a empreendimentos minerários, alertando que as maiores perturbações provocadas pela mineração são oriundas de sólidos suspensos e poeira ocasionados pelo trânsito de veículos, os ruídos provenientes das explosões e a má gestão de recursos hídricos, gerando poluição. Os rios desempenham papel fundamental no desenrolar da vida do ser humano. Terras em climas mais úmidos são buscadas pela espécie humana desde os primórdios (FERNANDES, 2015). Dessa forma, os impactos no meio físico já descritos acima têm relação direta com a questão antrópica.

A realocação involuntária da população para implantação de estruturas necessárias para a lavra e ou para a logística associada ao processo também é uma questão importante. Tonietto e Silva (2011) valoram e descrevem as influências negativas das atividades minerárias, concluindo que a legislação brasileira atual é falha em alguns aspectos e, permite, que algumas empresas atuem de forma negligente frente a fatores sociais e ambientais. Os recursos gerados pela atividade minerária, embora muitas vezes elevados, não retornam, ou retornam de forma acanhada para a população local se comparados à gravidade dos impactos provocados nas áreas exploradas. Pode-se destacar ainda que a atividade minerária e a geração dos recursos são temporárias enquanto os impactos gerados tendem a ser permanentes.

2.2.4 Impactos ambientais de elevada significância

Embora ocorram com frequência discutível, os impactos ambientais associados a acidentes provocados pela atividade minerária tendem a atingir proporções catastróficas ou desastrosas (LOPES, 2016). Segundo a organização Pan-americana da saúde e o ministério da saúde, desastres são eventos que ocasionam: “uma séria interrupção do funcionamento normal de uma comunidade ou sociedade, afetando seu cotidiano”, além de “perdas materiais e econômicas, assim como danos ambientais e à saúde das populações, através de agravos e doenças que podem resultar em óbitos imediatos e posteriores [...]”. Podendo também interferir com “[...] a capacidade de uma comunidade ou sociedade afetada em lidar com a situação utilizando seus próprios recursos, podendo resultar na ampliação das perdas e danos ambientais e na saúde para além dos limites do lugar em que o evento ocorreu” (OPAS,2014, p. 9). Desastres provocadas pelo rompimento de barragens projetadas com a finalidade de conter rejeitos da mineração tornaram-se notícias recorrentes na última década. Em período inferior a quatro anos, o Brasil sediou a ruptura de duas estruturas responsáveis por protagonizar dois dos maiores prejuízos em esfera ambiental e socioeconômica na história da Nação.

O primeiro desastre, ocorrido no dia 05/11/2015 no município de Mariana em Minas Gerais, envolveu a quantidade aproximada de 34 milhões de metros cúbicos de lama contendo rejeitos oriundos da mineração. Uma grande onda de lama percorreu boa parte da bacia hidrográfica, comprometendo diversos corpos hídricos nas adjacências, além de provocar mortes, desalojamento populacional, destruição da infraestrutura pública e privada, interrupção na atividade hidrelétrica e no abastecimento público local. Causou ainda a destruição de áreas de preservação permanente (APPs) e de vegetações remanescentes do bioma denominado Mata Atlântica, mortandade de fauna aquática e terrestre, comprometimento das atividades pesqueira e turística locais, perda e fragmentação de habitat, perda e redução na disponibilidade dos serviços ecossistêmicos (BRASIL, 2015).

Os impactos ambientais provocados pelo rompimento da barragem da Samarco em Mariana descritos por Freitas *et al.* (2016) são divididos segundo sua escala, sendo microrregionais aqueles com grande efeito destrutivo local e macrorregionais aqueles abrangentes, ao longo de mais de 570 km da calha do Rio Doce. A extensão considerável do avanço da lama na calha do Rio Doce foi responsável pela drástica mudança nas características físicas e bióticas da região que, até a atualidade, exibe

grande dificuldade de se recuperar, especialmente nos aspectos ambiental e socioeconômico.

O dia 25/01/2019 ficará marcado na história devido ao desastre decorrente em virtude do rompimento da Barragem I da mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, estado de Minas Gerais. Diversas vidas foram perdidas incluindo funcionários da empresa Vale, pessoas da comunidade e indivíduos da biota local. O rompimento da estrutura ocorreu às 12h28 do dia 25 de janeiro de 2019, fazendo com que os rejeitos retidos se deslocassem por aproximadamente 295 hectares (VALE, 2019). Os reflexos ainda perpetuam sobre a região afetada e, apesar das medidas de mitigação e controle dos impactos adotadas pela empresa responsável pela barragem, o cotidiano de todas as formas de vida presentes na área, bem como em suas adjacências, se distancia significativamente do habitual.

Em função da trágica sequência de ocorridos, foi possível observar uma maior rigidez na postura da Agência Nacional de Mineração (ANM), agente de fiscalização dos empreendimentos do setor mineral. De acordo com a ANM, foram demandadas para todas as operações com qualquer tipo de metodologia construtiva de barragem uma série de providências, atualizações, além de maior transparência acerca de dados relevantes para a segurança da sociedade e do meio ambiente em áreas que circundam tais estruturas passíveis de falhas (BRASIL, 2019).

Ainda Segundo a ANM, Minas Gerais abriga 12 das 19 barragens de rejeitos de minério classificadas como estruturas de alto risco (BRASIL, 2017). Esse dado eleva a preocupação e o entendimento de que o estado está sujeito à ocorrência de novos acidentes ocasionados pelo rompimento de barragens. Além disso, diversos outros aspectos associados a possíveis impactos ambientais provocados pela atividade minerária ocorrem por todo o país. O Quadro 2 a seguir sintetiza os principais impactos ambientais da mineração associados a seus respectivos aspectos, descritos nos estados de ocorrência por todas as regiões do território brasileiro.

Quadro 2 - Principais impactos ambientais da mineração associados a seus respectivos aspectos nos estados de ocorrência

Estado	Principais aspectos e impactos

MG	• Antigas barragens de contenção, poluição de águas superficiais • Rejeitos ricos em arsênio; aumento da turbidez • Mineração em áreas de cavernas com impactos no patrimônio espeleológico • Construção de estruturas de contenção de rejeitos instáveis cujo rompimento provoca impactos de magnitudes catastróficas
PA	• Utilização de mercúrio na concentração do ouro de forma inadequada; aumento da turbidez, principalmente na região de Tapajós
MT	• Emissão de mercúrio na queima de amálgama
SP	• Rejeitos ricos em arsênio • Produção de areia no Vale do Paraíba acarretando a destruição da mata ciliar, turbidez, conflitos com uso e ocupação do solo, acidentes nas rodovias causados pelo transporte • Produção de brita nas Regiões Metropolitanas acarretando: vibração, ruído, emissão de particulado, transporte, conflitos com uso e ocupação do solo • Mineração em áreas de cavernas com impactos no patrimônio espeleológico
BA	• Rejeitos ricos em arsênio
RJ	• Produção de areia em Itaguaí/Seropédica: contaminação do lençol freático, uso futuro da terra comprometido devido a criação desordenada de áreas alagadas • Produção de brita nas Regiões Metropolitanas acarretando: vibração, ruído, emissão de particulado, transporte, conflitos com uso e ocupação do solo
SC	• Contaminação das águas superficiais e subterrâneas pela drenagem ácida provenientes de antigos depósitos de rejeitos
PE	• Desmatamento da região do Araripe devido a utilização de lenha nos fornos de queima da gipsita
RO	• Destruição de Florestas e leitos de rios
MA	

Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – FARIAS (2002), adaptado.

Os dados exibidos no Quadro 2 corroboram com a ideia de que os empreendimentos minerários são responsáveis por uma vasta gama de aspectos tão variáveis quanto os impactos a eles associados. A grande vulnerabilidade de diferentes atributos do meio ambiente às atividades desenvolvidas em prol da extração mineral demonstra de forma inequívoca a real necessidade de avaliar e mapear as áreas mais sensíveis às práticas desenvolvidas pelas empresas atuantes do setor.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO METODOLÓGICA

As técnicas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizadas na detecção de áreas vulneráveis com relação aos atributos ambientais em processos de avaliação e estudos de impactos são ferramentas de uso cotidiano em diversos países. Na Irlanda, um país destaque no campo, esse tipo de prática é, não apenas incentivada, mas instruída por um guia elaborado pela Environmental Protection Agency (EPA), um órgão público independente responsável pelas questões ambientais do país (EPA, 2015).

Nesse contexto, Del Campo (2017) propõe uma metodologia que objetiva dar suporte ao processo de tomada de decisões nas análises ambientais, fornecendo argumentos para as partes interessadas quanto aos riscos assumidos por dado empreendimento. Com objetivo semelhante, o presente trabalho adota algumas características da metodologia descrita no referido artigo de 2017, adaptando os critérios para a realidade brasileira. Em sua proposta, Del Campo (2017) utiliza de uma gama de critérios que, para o presente trabalho seriam de difícil acesso devido à falta de informações como por exemplo a vulnerabilidade dos aquíferos de dada região, a qualidade dos corpos hídricos locais e o inventário florestal das regiões em análise. Apesar de muitas vezes disponíveis para a região sudeste, a carência de dados acerca desses critérios para outros estados na região norte e nordeste do país, por exemplo, impedem sua aplicação na presente análise.

Acredita-se que, por tratar de um país de dimensões significativamente inferiores, se comparada ao Brasil, além da menor biodiversidade de espécies, a elaboração e o processamento dos dados descritos acima para as condições estrangeiras é mais simples.

Liao *et al.* (2013) também estabelecem metodologia semelhante. Embora nessa proposta seja dado enfoque também a indicadores de vulnerabilidade ecológica, os atributos relevantes em análise não são associados a impactos da atividade minerária.

Nesse tipo de metodologia, as camadas sobrepostas referentes aos critérios descritos recebem um valor numérico, geralmente representando de baixas a elevadas intensidades, de acordo com o que se pretende representar. A escala

definida para essa representação é distinta para cada artigo, podendo contar com análises diferenciadas, de acordo com seus objetivos. Shen *et al.* (2013), por exemplo, adotaram o método multicritério de tomada de decisão (AHP) para definir e quantificar os pesos envolvidos em sua metodologia.

O método multicritério de tomada de decisão (AHP), extremamente explorado na atualidade, assim como no presente trabalho, foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1980 e auxilia em processos de tomada de decisão (ROSA *et al.* 2015). O processo adotado ao executar essa metodologia tem como fundamento a estruturação de um modelo de comparação de critérios de maneira binária para, subsequentemente, expandir o peso das ponderações paritárias para todo o universo de atributos selecionados de forma matricial (SAATY, 2008). As comparações são feitas numericamente por meio da atribuição de valores que representam a dominância de determinado aspecto sobre outro, sendo habitualmente atribuídos valores de 1 (dominado) a 9 (dominante).

A padronização metodológica para o mapeamento de vulnerabilidade ambiental existe para certos tipos de empreendimento. Petersen *et al.* (2002), propõe um guia de elaboração de mapas de sensibilidade para passivos ocasionados pelo derramamento de petróleo. Devido à inexistência de material semelhante específico para o setor minerário, foram transpostas para o presente trabalho características descritas no guia para o mapeamento de vulnerabilidades ambientais referentes a vazamentos de substâncias oleosas.

4 METODOLOGIA

Assim como nos trabalhos descritos na revisão bibliográfica, optou-se por associar a cada camada sobreposta por técnicas de overlay do software ArcGIS uma nota de acordo com a vulnerabilidade potencial de cada aspecto. Notas (N) foram associadas a cada subcategoria representada no campo relevante das tabelas de atributos conexas às camadas reunidas. Para padronizar as análises e, inicialmente, não priorizar um atributo com relação ao outro, optou-se pela atribuição das notas zero (0) um (1), dois (2) e três (3) de acordo com as informações relevantes descritas pelas fontes dos dados.

Em seguida, optou-se pela atribuição de pesos (P) a cada atributo. Esses pesos são o resultado da ponderação dos atributos segundo o método multicritério de tomada de decisão (AHP) de acordo com comparações binárias quanto à dominância entre os distintos atributos com relação à biodiversidade como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Valores associados aos atributos em comparação pareada do método AHP

Grau de dominância	Descrição
1	Sem dominância – os dois atributos têm a mesma relevância
3	Dominância moderada – um atributo é ligeiramente dominante
5	Dominância clara – um atributo é claramente dominante
7	Dominância alta – um atributo é muito dominante
9	Dominância extrema – um atributo é extremamente dominante

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Adotando as considerações supracitadas, foi elaborada uma planilha pelo editor de planilhas Excel que representasse de forma sistemática a comparação das sete camadas disponíveis adotando o que foi proposto por Saaty (1991) e aplicado por Shen *et al.* (2014), Dias (2014) e Liao *et al.* (2013). A planilha representada pela Quadro 4 expressa como foi construída a matriz que subsequentemente seria normalizada e resultaria nos coeficientes denominados no presente trabalho como pesos.

Quadro 4 - Planilha para comparação de critérios de acordo com o método AHP

Camadas	1.Patrimônio espeleológico	2.Key Biodiversity Areas	3. Áreas Prioritárias Ministério do Meio Ambiente	4. Espécies Ameaçadas	5. Áreas de Proteção Relevante	6. Hotspots de Biodiversidade	7. WWF Terrestrial Ecoregions of the World (TEOW)
1.Patrimônio espeleológico							
2.Key Biodiversity Areas							
3. Áreas Prioritárias Ministério do Meio Ambiente							
4. Espécies Ameaçadas							
5. Áreas de Proteção Relevante							
6. Hotspots de Biodiversidade							
7. WWF Terrestrial Ecoregions of the World (TEOW)							

Fonte: o autor.

É importante ressaltar que a análise comparativa desses atributos distintos é, por conseguinte, subjetiva. A incumbência de se estabelecer a hierarquia de relevância dos sete (7) atributos descritos com relação à vulnerabilidade em biodiversidade quanto às atividades minerárias podem tornar a presente análise contingente de acordo com o responsável por executar as ponderações, bem como pelos atributos selecionados.

Uma vez atribuídos os pesos a cada camada e as notas a cada subcategoria disposta nas distintas tabelas de atributos, elaborou-se a fórmula responsável por associar ambos os aspectos em cada localidade do território nacional. O resultado foi a Equação 1:

$$\text{Vulnerabilidade em biodiversidade} = \sum_{i=1}^{7} Ni \times Pi \qquad \text{(Equação 1)}$$

Sendo i o índice referente a cada camada representada no Quadro 4 pelos números sequenciais compreendidos entre um (1) e sete (7), N o valor da nota associada a cada subcategoria dessas camadas e P o peso de cada camada de acordo com sua dominância definida pelo método AHP.

Algumas dificuldades encontradas por esse tipo de metodologia estão relacionadas à necessidade de dados previamente estabelecidos para que seja possível realizar a sobreposição e interação das informações. Os dados referentes à

fauna Brasileira e sua respectiva classificação de acordo com as categorias da IUCN (Vulnerável, ameaçado e crítica) representam certa fragilidade por se tratar de um país com elevado número de espécies endêmicas nem sempre descritas ou classificadas nos bancos de dados da organização.

Por meio da associação de dados secundários, buscou-se estabelecer classificações de áreas sensíveis aos distintos aspectos inerentes à mineração, para que estes atributos fossem levados em consideração nos atuais processos de tomada de decisão do setor.

4.1 Seleção e processamento das camadas

É de suma importância notar que cada uma das sete camadas descritas pelas alíneas sequenciais compreendidas no intervalo alfabético de a) a g) do presente tópico possuíam informações independentes entre si. As camadas têm origens distintas e apresentam dados relevantes para o tema particular sob enfoque individual e particular. A fim de normalizar a disponibilidade e/ou a qualidade dos atributos descritos e, visando unificar os sete atributos em uma mesma escala de valores, atribuiu-se para a presente análise os valores zero (0), um (1), dois (2) e três (3), quando aplicável, para ausência, baixa disponibilidade, média disponibilidade e alta disponibilidade do atributo em análise, respectivamente.

Dessa forma, inicialmente, todos os atributos foram avaliados em escalas comuns, sendo distinguidos conforme sua relevância somente após a efetuação do produto das notas (N) e os pesos (P), sendo esses os coeficientes responsáveis pela hierarquização da significância das camadas.

a) Patrimônio espeleológico

Os dados referentes ao patrimônio espeleológico nacional foram obtidos a partir da base desenvolvida e disponibilizada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. O Mapa de Potencialidade de Cavernas no Brasil foi apresentado na Revista Brasileira de Espeleologia – RBEsp (JANSEN, 2012), e o arquivo em formato *shapefile* encontra-se disponível no site do instituto.

O campo utilizado na tabela de atributos dessa camada é constituído pelo grau de potencialidade de ocorrência de cavernas segundo a distinção litológica do território nacional descrita no Quadro 5.

Quadro 5 - grau de potencialidade de ocorrência de cavernas no brasil de acordo com a litologia

Litotipo	Grau de Potencialidade	Notas associadas na tabela de atributos
Calcário, Dolomito, Evaporito, Metacalcário, Formação ferrífera bandada, Itabirito e jaspilito	Muito alto	3
Calcrete, Cabonatito, Mármore e Marga	Alto	3
Arenito, Conglomerado, Filito, Folhelho, Fosforito, Guauvaca, Metaconglomerado, Metanelito, Matassilito, Micaxisto, Milonito, Quartzito, Pelito, Riolito, Ritmito, Rocha calci-silicática, Siltito e Xisto	Médio	2
Anortosito, Arcóseo, Augengnaisse, Basalto, Chanockito, Diabasio, Diamictito, Enderbito, Gabro, Gnaisse, Granito, Granitóide, Granodiorito, Hornfels, Kinzigito, Komatito, Laterita, Metachert, Migmatito, Monzogranito, Olivina, Gabro, Ortoanfibolito, Sienito, Sienogranito, Tonalito, Trondhjemito, entre outros litotipos	Baixo	1
Aluvião, Areia, Argila, Cascalho, Lamito, Linhito, Turfa e outros sedimentos	Ocorrência Improvável	0

Fonte: adaptado de Jansen *et al*. (2012).

Para adotar uma postura conservadora e padronizar as notas associadas às subdivisões, da mesma forma que em outras camadas com três subcategorias, considerou-se que tanto para o grau de potencialidade “alto” quanto para o “muito alto” seria atribuída a nota três (3).

b) Key Biodiversity Areas

A base de dados das KBA apresenta informações elaboradas pela BirdLife International, uma parceria de ONGS globais conservacionistas cujo intuito é a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais. Essa base registra áreas de importância regional e global para ecossistemas críticos e para a manutenção da biodiversidade (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2019).

Não foi utilizado nenhum campo específico da tabela de atributos dessa camada para designar sua nota associada. Por não haver distinção entre as áreas dispostas na tabela de atributos, adotou-se o valor zero (0) para ausência e três (3) para a presença de áreas consideradas como fundamentais para biodiversidade (KBAs), conferindo à análise caráter mais conservador.

c) *Hotspots* de Biodiversidade

Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF) é um programa global que visa resguardar a biodiversidade mundial e os ecossistemas ricos em biodiversidade fundamentais para a humanidade.

No intuito de possibilitar a conservação destas áreas de tamanha importância, foram estabelecidos por todo o globo as regiões mais ricas e denominadas *hotspots* de biodiversidade. Para que determinada área seja considerada um *hotspot* de biodiversidade, é necessária a detenção de pelo menos 1.500 espécies endêmicas de plantas vasculares. Além disso, a área deve ter sofrido redução em 70% de sua cobertura vegetal natural (CEPF, 2016).

Analogamente à camada anterior, essa tabela de atributos distingue apenas a ausência ou presença de áreas consideradas como *hotspots* no território nacional, portanto, associou-se as notas zero (0) e três (3) respectivamente conferindo à análise caráter mais conservador.

d) WWF Terrestrial Ecoregions of the World (TEOW)

A *World Wildlife Fund* (WWF), organização que atua em prol da conservação da biodiversidade mundial, estabeleceu, por meio de análises e classificações de espécies, a base de dados denominada *Terrestrial Ecoregions of the World* (TEOW). Trata-se da ilustração regionalizada da biodiversidade terrestre mundial. O mapa representa a dispersão das diversas espécies terrestres e marinhas em todo o território mundial, detalhando, com isso, as áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (OLSON *et al.*, 2001).

Analogamente às camadas anteriores, essa tabela de atributos distingue apenas a ausência ou presença de áreas consideradas como *Terrestrial Ecoregions of the World* (TEOW) no território nacional, portanto, associou-se as notas zero (0) e três (3) respectivamente conferindo à análise caráter mais conservador.

e) Áreas Prioritárias Ministério do Meio Ambiente

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) mapeia o território nacional periodicamente segundo a “Avaliação e Identificação das Áreas Prioritárias para a Conservação dos Biomas Brasileiros”. O Decreto 5.092, de 21 de maio de 2004, incumbiu ao Ministério do Meio Ambiente a definição de critérios para identificação de áreas prioritárias para a para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade. Utilizando-se de procedimentos computacionais, são combinados os valores, resultando num mapa de áreas prioritárias, ou seja, de maior interesse para a conservação (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

O campo utilizado na tabela de atributos dessa camada é constituído pelo grau de importância das diversas áreas mapeadas, agrupando-as entre “alta”, “muito alta”, e “extremamente alta” cujas notas atribuídas foram um (1), dois (2) e três (3) respectivamente.

f) Espécies Ameaçadas

A International Union for Conservation of Nature é uma união composta por organizações da sociedade civil e o governo que fornece conhecimento e recursos para proporcionar a associação do desenvolvimento econômico e a conservação da natureza (IUCN). A IUCN desenvolve e disponibiliza dados de localização e dos *status* de conservação das espécies de animais, fungos e plantas já avaliados em todo o planeta. Trata-se, portanto, de um importante indicador de biodiversidade e, discutivelmente, um dos catálogos mais completos da fauna e flora globais (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE, 2019).

Adotou-se que as espécies classificadas pela instituição como “criticamente ameaçadas” corresponderiam à nota três (3), as espécies ameaçadas corresponderiam à nota dois (2) e as espécies “vulneráveis” corresponderiam à nota um (1).

Ao associar a base de dados de espécies ameaçadas aos pesos um (1), dois (2) e três (3) respectivamente segundo sua relevância, pesos inferiores foram tratados como excludentes no caso de sobreposição da área por valor superior referente a essa mesma categoria. No caso da presença de espécies criticamente ameaçadas em determinada área, por exemplo, a nota atribuída a esta área foi três (3),

independentemente de, na mesma região, terem sido registradas espécies ameaçadas e ou vulneráveis. De forma análoga, áreas que abriguem espécies ameaçadas e espécies vulneráveis, concomitantemente, recebam a nota dois (2).

g) Áreas de Proteção Relevante

World Database on Protected Areas (WDPA) é a fonte de informações utilizada no presente trabalho para o mapeamento das áreas de proteção relevantes no território mundial. Trata-se de um banco de dados desenvolvido pelas Nações Unidas em conjunto com a *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) cujas atualizações são mensais. As áreas representadas por polígonos são divididas em Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Estação Ecológica, Floresta Nacional, Monumento Natural, Parque Nacional, Refúgio de Vida Silvestre, Reserva Biológica, Reserva de Desenvolvimento Sustentável, Reserva Extrativista, Reserva Indígena, Reserva Particular do Patrimônio Natural, *World Heritage Site* e Sítios *Ramsar* (PROTECTED PLANET, 2019).

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) instituído pela Lei n. 9.985/2000 dispõe no Art. 7º a divisão entre Unidades de Proteção Integral, contemplando Estações Ecológicas, Reservas Biológicas, Parques Nacionais, Monumentos Naturais e Refúgios de Vida Silvestre, além das Unidades de Uso Sustentável que por sua vez contemplam Áreas de Proteção Ambiental, Áreas de Relevante Interesse Ecológico, Florestas Nacionais, Reservas Extrativistas, Reservas de Fauna, Reservas de Desenvolvimento Sustentável e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (BRASIL, 2000).

Essa divisão restringe o espectro de atividades que podem ser realizadas nas distintas unidades de acordo com sua categoria. Unidades de Proteção Integral são, portanto, mais restritivas, ou mais prístinas, enquanto Unidades de Uso Sustentável abrangem maior grau de possibilidades e flexibilidade de uso e ocupação do solo. Esse foi o critério adotado para a atribuição de notas da camada em análise. Como a maioria das subdivisões presentes na presente tabela de atributos enquadravam-se nos grupos descritos pelo SNUC, adotou-se nota um (1) para áreas que abrangessem Unidades de Uso Sustentável e nota três (3) para áreas que abrangessem Unidades de Proteção Integral.

As lacunas da camada de Áreas de Proteção Relevante provocadas pelo não enquadramento de algumas de suas subcategorias nos grupos do SNUC, ou seja, áreas que abrangem Reservas Indígenas, *World Heritage Sites* e Sítios *Ramsar*, foram sanadas de acordo com alguns critérios estabelecidos pelo autor do presente trabalho conforme descrito a seguir.

De acordo com os artigos Art. 15. da lei que instituiu o SNUC:

> A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000, Art. 15).

Por conseguinte, por apresentar características não obstantes das dispostas no artigo supracitado, as áreas que abrangem Reservas Indígenas, embora não contempladas na Lei n. 9.985/2000, foram aqui tratadas da mesma forma que as Unidades de Uso Sustentável, ou seja, associadas à nota um (1).

Segundo o Art. 13. Da lei que instituiu o SNUC,

> O Refúgio de Vida Silvestre tem como objetivo proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória (BRASIL, 2000, Art. 13).

Essa descrição, portanto, se assemelha muito às características atribuídas às áreas definidas como Sítios *Ramsar.* A convenção das áreas alagadas, zonas úmidas, ou convenção de Ramsar é um tratado intergovernamental cujo intuito é a preservação e uso consciente das áreas alagadas e seus recursos. A convenção foi firmada no Irã em 1971 e, atualmente, boa parte dos países membros das Nações Unidas são signatários do referido tratado. Os 2.200 sitios Ramsar ao redor do planeta representam extremo valor ecológico para suas adjacências (RAMSAR CONVENTION, 2019). Consequentemente, para o presente trabalho, os Sítios *Ramsar* foram associados à nota três (3).

Por fim, as áreas tratadas como *World Heritage Sites* são representadas na presente camada por apenas seis (6) categorias, sendo elas a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA), O Complexo de Conservação da Amazônia Central, as

Áreas Protegidas do Cerrado: Parques Nacionais da Chapada dos Veadeiros e das Emas, a Costa do Descobrimento: Reservas de Mata Atlântica, o Parque Nacional do Iguaçu e O Complexo de Preservação do Pantanal. Por se tratarem de áreas extensas que abrangem reservas biológicas e parques nacionais, associou-se para esta subcategoria a nota três (3).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao executar a metodologia AHP referente aos sete (7) atributos supracitados, obteve-se a matriz de interação representada pela Tabela 2. A Tabela 2 expressa a dominância de um atributo em relação a outro em vinte e uma (21) comparações binárias, isto é, par a par. Os dados são expressos em números decimais uma vez que representam a razão entre os graus de dominância associado ao atributo descrito nas linhas (numerador) e o grau de dominância dos atributos descrito nas colunas (denominador), levando em consideração o modelo apresentado no Quadro 3.

A interpretação dos dados contidos na Tabela 2 a seguir remete, portanto, que valores maiores que um (1) representam a dominância do atributo descrito na linha em relação ao atributo descrito na coluna para aquela comparação específica. Valores inferiores a zero (0) representam, por sua vez, que os atributos descritos nas colunas são os dominantes em relação às linhas parelhas. Valores iguais a um (1), por fim, representam a equivalência entre o atributo da linha e o atributo da coluna, sem que exista, portanto, dominância entre eles.

Tabela 2 – Comparação par a par das variáveis, com foco em vulnerabilidades à biodiversidade

Camadas	1.Patrimônio espeleológico	2.Key Biodiversity Areas	3. Áreas Prioritárias Ministério do Meio Ambiente	4. Espécies Ameaçadas	5. Áreas de Proteção Relevante	6. Hotspots de Biodiversidade	7. WWF Terrestrial Ecoregions of the World (TEOW)
1.Patrimônio espeleológico	1,00	7,00	3,00	3,00	1,00	3,00	9,00
2.Key Biodiversity Areas	0,14	1,00	0,20	0,20	0,20	0,33	1,00
3. Áreas Prioritárias Ministério do Meio Ambiente	0,33	5,00	1,00	0,33	0,33	0,33	5,00
4. Espécies Ameaçadas	0,33	5,00	3,00	1,00	1,00	3,00	9,00
5. Áreas de Proteção Relevante	1,00	5,00	3,00	1,00	1,00	3,00	7,00
6. Hotspots de Biodiversidade	0,33	3,00	3,00	0,33	0,33	1,00	3,00
7. WWF Terrestrial Ecoregions of the World (TEOW)	0,11	1,00	0,20	0,11	0,14	0,33	1,00

Fonte: o autor.

O cálculo dos autovetores, conforme descrito pela metodologia desenvolvida por Saaty (1991) e posteriormente determinantes para a atribuição do peso de cada variável analisada, resultou nos valores representados na Tabela 3.

Tabela 3 – Autovetores associados a cada camada

Camadas	Autovetores
1. Patrimônio espeleológico	0,33
2.Key Biodiversity Areas	0,03
3.Hotspots de Biodiversidade	0,11
4.WWWF Terrestrial Ecoregions os the World (TEOW)	0,03
5.Áreas Prioritárias Ministério do Meio Ambiente	0,10
6.Espécies Ameaçadas	0,21
7.Áreas de Proteção Relevante	0,23

Fonte: o autor.

Para validar a consistência das comparações pareadas é necessário calcular a razão de consistência associada aos autovetores encontrados. Após realizar os cálculos descritos na metodologia AHP, foi possível constatar que a razão de consistência (CR) aferida para a presente análise equivalia a 6,52%. Portanto, a consistência da aplicação metodológica está atestada pelo valor da razão de consistência (CR), inferior aos 10% recomendados pela metodologia proposta por Saaty (2008).

Adotando, portanto, os autovetores descritos cuja confiabilidade já fora atestada, a Equação 1 que determina o valor adimensional que representa a vulnerabilidade das áreas quanto a sua biodiversidade considerando as atividades minerárias foi:

$$VB = 0{,}33 * NPE + 0{,}03 * NKBA + 0{,}11 * NHB + 0{,}03 * NTEOW + 0{,}10 * NAP + 0{,}21 * NEA + 0{,}23 * NAPR$$

Sendo:

a) VB a vulnerabilidade em biodiversidade;
b) NPE a nota atribuída ao grau de potencialidade de ocorrência de patrimônio espeleológico descrito por JANSEN (2012);
c) NKBA a nota atribuída às Key Biodiversity Areas (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2019);
d) NHB a nota atribuída aos Hotspots de Biodiversidade (CEPF, 2016);
e) NTEOW a nota atribuída às Terrestrial Ecoregions of the World (OLSON *et al.*, 2001);
f) NAP a nota atribuída às áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade do Ministério do Meio Ambiente (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019);
g) NEA a nota atribuída à ocorrência de espécies ameaçadas (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE, 2019);
h) NAPR a nota atribuída às áreas de proteção relevante (PROTECTED PLANET, 2019).

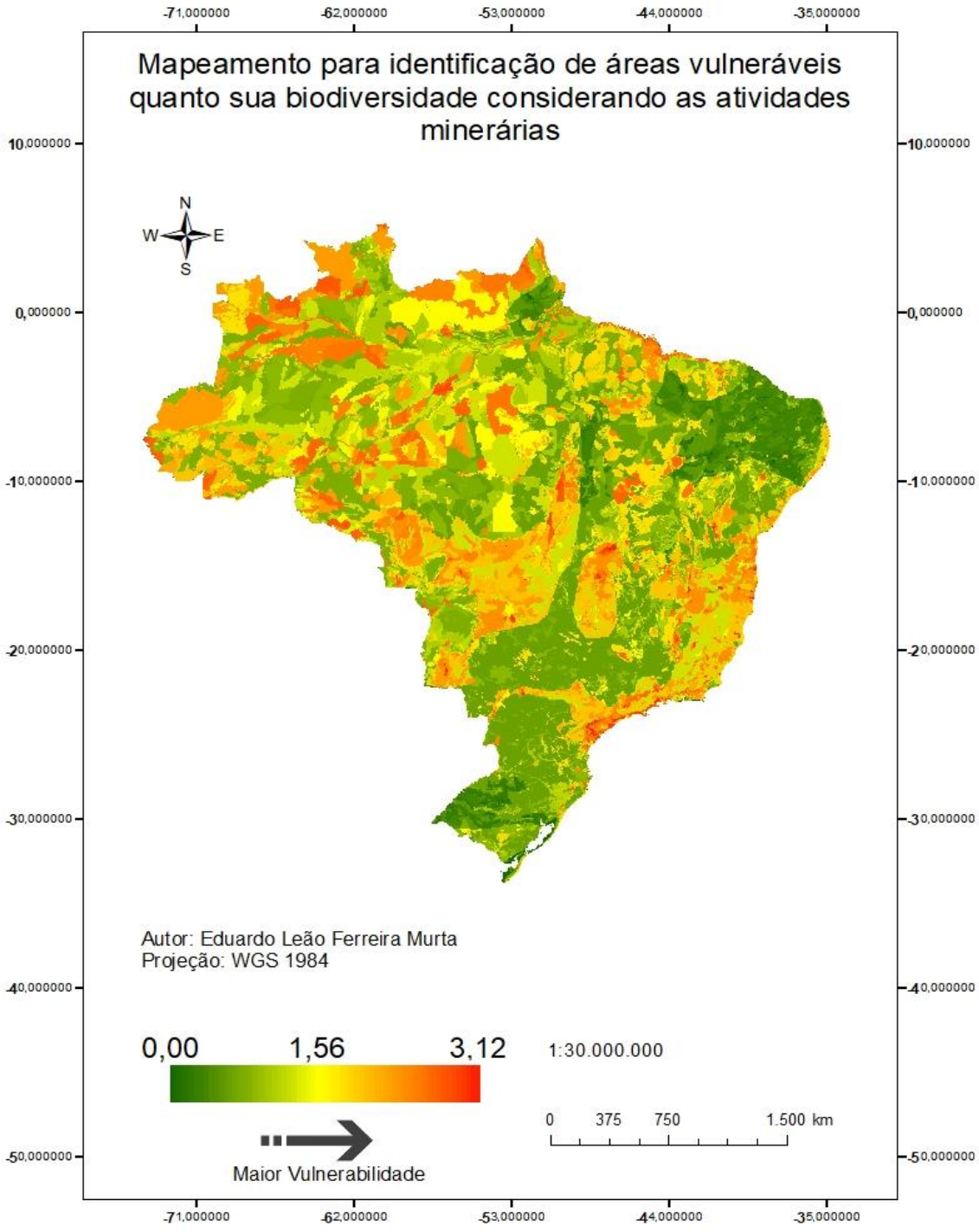
A partir dessa equação notou-se que as camadas selecionadas com maiores relevâncias associadas foram: a que representa os patrimônios espeleológicos; a que representa as áreas de proteção relevante e a que representa as espécies ameaçadas, respectivamente. Isso pode ser atribuído à elevada interferência dos aspectos associados à atividade minerária nesses atributos, justificando inclusive a elaboração de legislações específicas que buscam resguardar essas áreas.

Ao atribuir os valores mínimos, ou seja, zero (0), para todas as notas associadas aos atributos selecionados, é possível definir o limite inferior da equação que representa a vulnerabilidade em biodiversidade para cada região. O limite inferior aferido foi zero (0). De maneira análoga, ao atribuir os valores máximos, ou seja, três (3), para todas as notas associadas aos atributos selecionados, é possível definir o limite superior da mesma equação cujo valor equivale a três virgula doze (3,12).

Após efetuar os cálculos descritos foi possível ilustrar graficamente o comparativo entre áreas do território nacional quanto a sua vulnerabilidade em

biodiversidade advindas dos processos de extração mineral. Conforme exibido no Mapa 1, os resultados encontrados foram valores adimensionais compreendidos entre zero (0) e três, vírgula, doze (3,12). Sua representatividade envolve a vulnerabilidade de cada área conforme as considerações da presente metodologia. O valor zero (0) foi, portanto, atribuído à mínima vulnerabilidade e, analogamente, o valor três, vírgula, doze (3,12) atribuído à máxima.

Mapa 1 – Mapeamento de Vulnerabilidades da Biodiversidade nas Atividades Minerárias



Fonte: o autor

Conforme descrito em etapas preliminares do trabalho, devido à conhecida e valorosa biodiversidade presente nos estados ocupados pela floresta amazônica e pela mata atlântica, esperava-se encontrar maiores valores associados a essas áreas referentes aos critérios relacionados. Em contraponto, a expectativa para as regiões altamente urbanizadas com elevada atividade antrópica foi de valores inferiores de vulnerabilidade da biodiversidade, uma vez que os atributos mapeados no presente projeto já não estariam fortemente presentes devido à sua degradação prévia promovida por fenômenos como a formação das cidades, a conurbação, a instalação de empreendimentos diversos e até mesmo à própria extração mineral já existente.

Confirmando as expectativas supracitadas, ao assinalar aleatoriamente na tabela de atributos áreas que representassem o cume da tabela que elencava os valores de vulnerabilidade de maneira decrescente de cima para baixo, foi possível verificar áreas tidas como referência devido ao seu valor biológico e elevada biodiversidade.

O Parque Nacional Serra da Bodoquena, por exemplo, foi uma unidade de conservação contemplada com maior magnitude de vulnerabilidade em biodiversidade associada. Segundo dados do Instituto Chico Mendes de Conservação – ICMBIO (2018), O Parque é uma área de cerca de 77.000 hectares em Bonito – MS que abrange o bioma Cerrado e, consequentemente, abriga espécies ameaçadas como a Onça-pintada (*Panthera onca*) e a Onça-parda (*Puma concolor capricornensis*), constituintes dos topos das cadeias alimentares em seus *habitat* naturais.

Outro exemplo selecionado aleatoriamente foi o Parque Nacional do Pau Brasil. A poligonal está associada no mapa à máxima vulnerabilidade em biodiversidade e, após pesquisa de dados secundários, constatou-se a real relevância da área para a manutenção da biodiversidade nacional. A área por abriga cerca de 362 espécies de aves, esse valor equivale a mais de 40% da avifauna presente no estado da Bahia, cuja expressividade no tema encontra-se entre as maiores do Brasil. Entre diversas espécies endêmicas da Mata Atlântica e, consequentemente, restritas, ameaçadas de extinção presentes no parque, destaca-se a Harpia - *Harpia harpyja* - (ICMBIO, 2017).

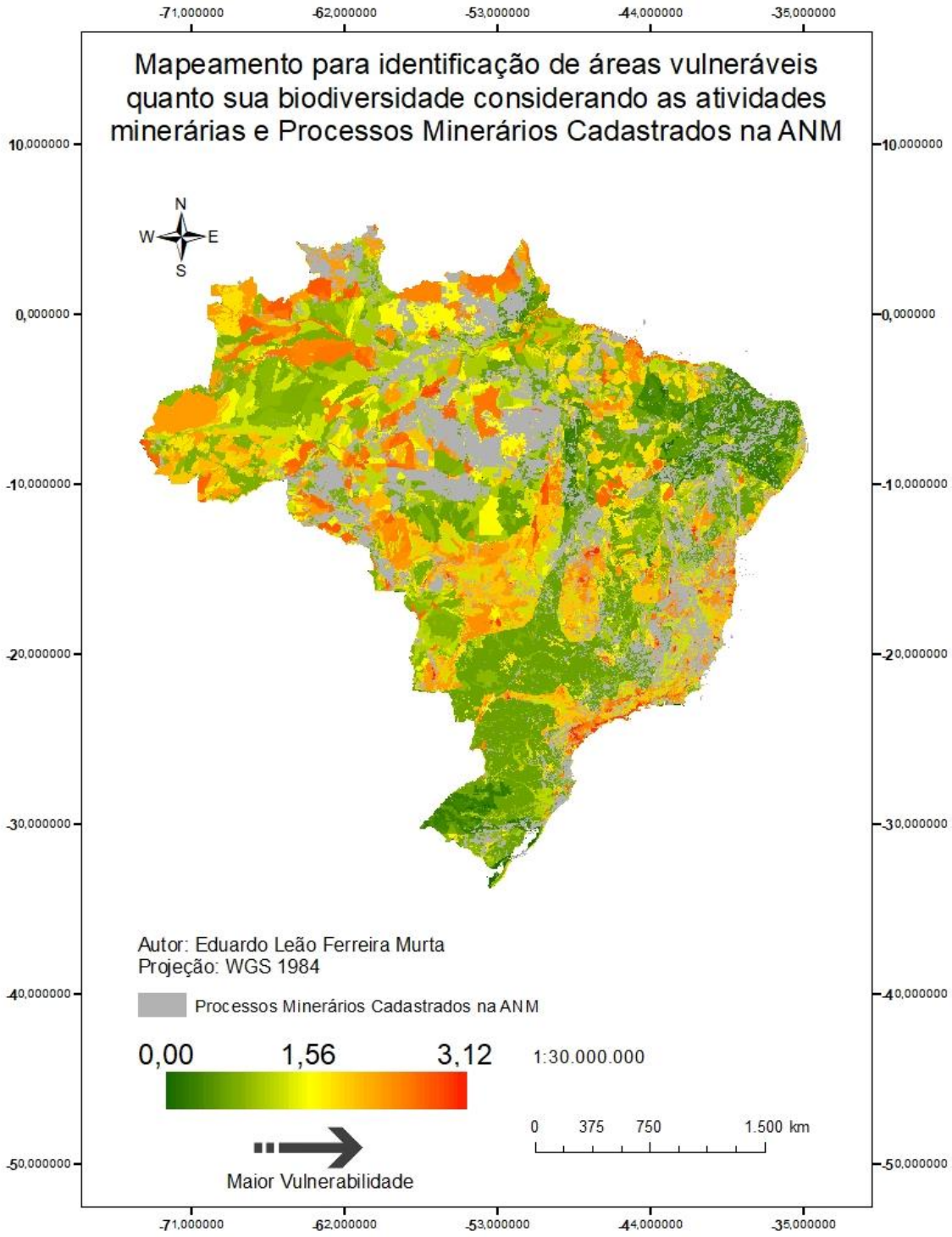
Visando colocar em pauta uma relação entre os resultados do presente trabalho com a espacialização dos empreendimentos do setor mineral registrados até o momento de sua elaboração, foram extraídos dados do Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SIGMINE, disponibilizado pela Agência Nacional de Mineração. As informações georreferenciadas provenientes da base de dados dos servidores da ANM são atualizadas diariamente e sua sobreposição com o Mapa 1 permite que sejam situados os principais processos minerários no território nacional (BRASIL, 2019). Após confrontar a localização dos empreendimentos registrados no sistema com a vulnerabilidade em biodiversidade associada à mineração na área ocupada por eles, encontrou-se os resultados descritos pelo Mapa 2 a seguir.

O Mapa 1 dividiu o território nacional em duzentas e onze (211) áreas representadas por valores compreendidos no intervalo de zero (0) a três virgula doze (3,12). A mediana dessa amostra é, portanto, o valor um virgula cinquenta (1,50), sendo os valores compreendidos entre um virgula cinquenta e um (1,51) e três virgula doze (3,12) a metade maior do espaço amostral.

Áreas associadas a valores que superam a mediana da amostra são, consequentemente, associadas a aglomeração dos atributos sensíveis aqui descritos. Estabelecer essas áreas é extremamente relevante para uma análise prévia da instalação das estruturas necessárias para a operação dos empreendimentos minerários. Uma vez mapeadas regiões críticas, ou com elevados valores de vulnerabilidade mediante a presente metodologia, é possível julgar, mediante análise mais aprofundada de um corpo técnico hábil, a viabilidade da adoção de medidas que proponham alternativas locacionais para a infraestrutura de determinado projeto.

O Mapa 2 distribui os polígonos que representam as áreas ocupadas por Processos Minerários Cadastrados na Agência Nacional de Mineração dispostos sob o Mapa 1. O comparativo entre os dois mapas produzidos pelo autor do presente trabalho ilustra a relação entre as áreas de maior vulnerabilidade e aquelas ocupadas pelos empreendimentos minerários.

Mapa 2 – Mapeamento para identificação de áreas vulneráveis quanto sua biodiversidade considerando as atividades minerárias e Processos Minerários Cadastrados na ANM

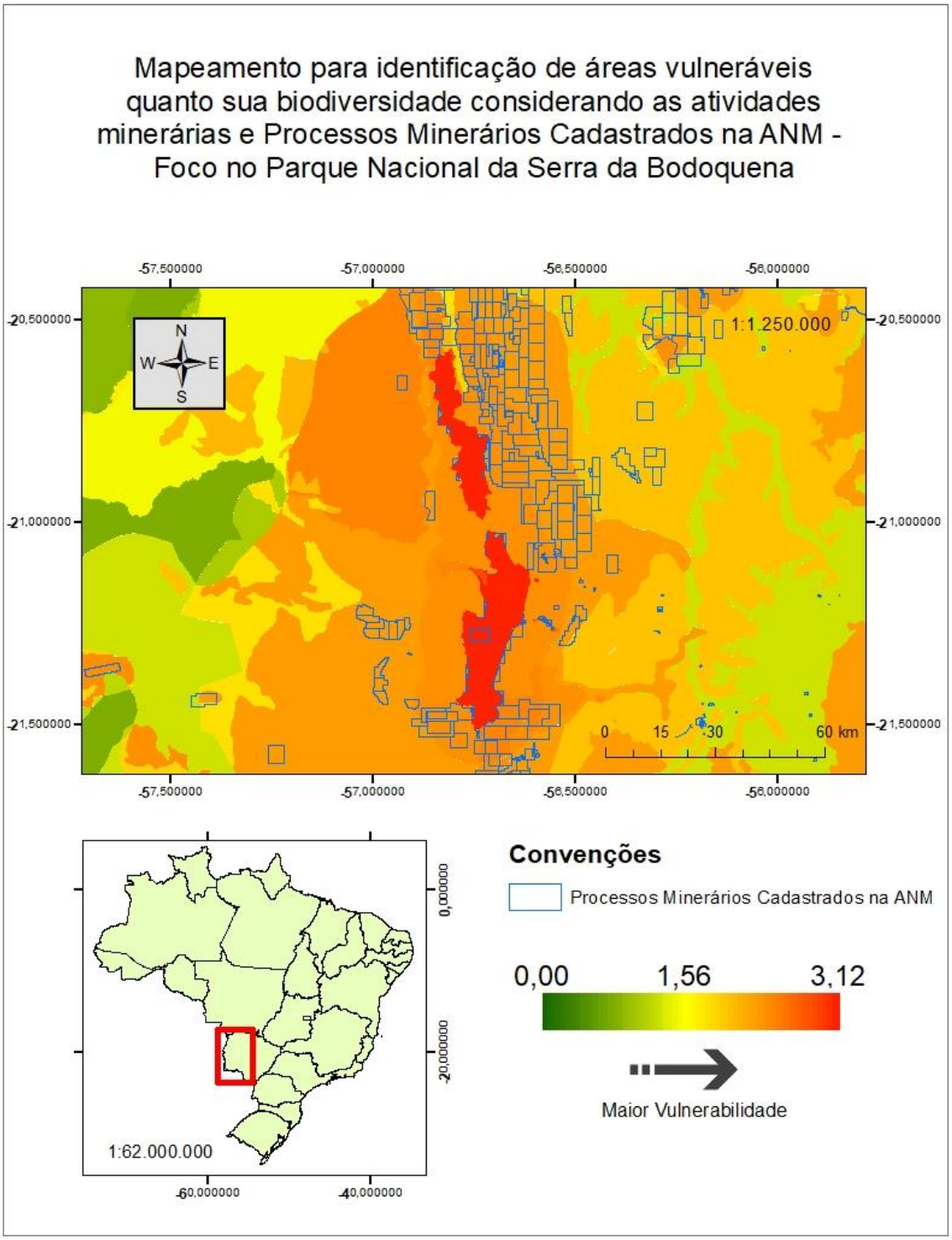


Fonte: o autor

Para avaliar a pressão já exercida por empreendimentos minerários em regiões aqui classificadas como de elevada vulnerabilidade, isto é, cujo valor de vulnerabilidade em biodiversidade associado para a presente análise seja máximo,

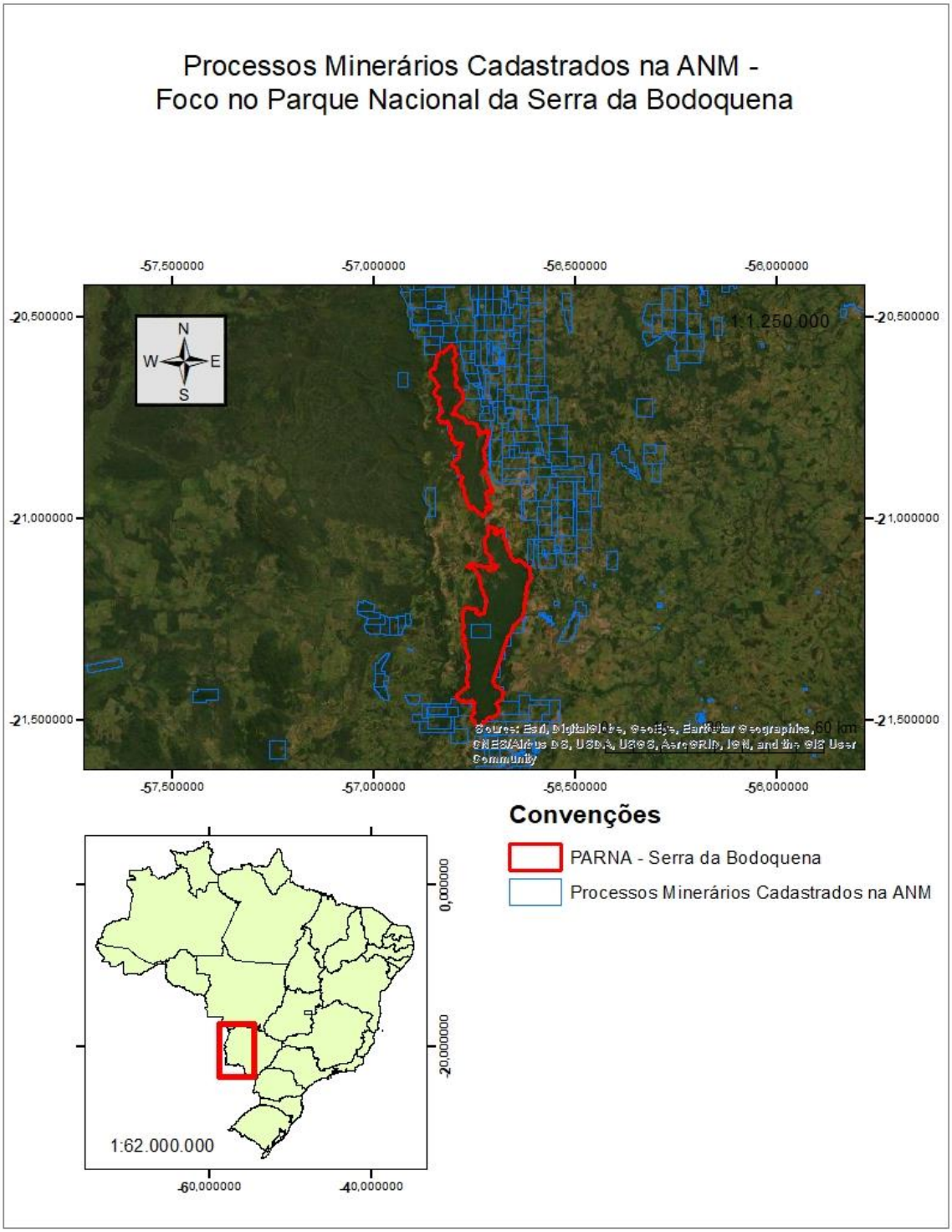
optou-se por representar os dados descritos no Mapa 2 dando enfoque nessas áreas críticas.

Mapa 3 – Mapeamento para identificação de áreas vulneráveis quanto sua biodiversidade considerando as atividades minerárias e Processos Minerários Cadastrados na ANM - Foco no Parque Nacional da Serra da Bodoquena



Fonte: o autor

Mapa 4 – Mapeamento para identificação de áreas vulneráveis quanto sua biodiversidade considerando as atividades minerárias e Processos Minerários Cadastrados na ANM - Foco no Parque Nacional da Serra da Bodoquena



Fonte: o autor

Os dados apresentados pelo Mapa 3 e Mapa 4 ilustram o interesse claro das companhias do setor minerário em explorar áreas de elevada vulnerabilidade,

inclusive em Parques Nacionais e regiões limítrofes, conforme exibido no Mapa 4. As áreas com elevado valor de vulnerabilidade associado na presente análise são de extremo interesse para conservação da biodiversidade e, devido aos diversos impactos adversos nos atributos ambientais elencados no presente trabalho, é importante ater a ação das mineradoras indeferindo requerimentos de pesquisa nessas regiões relevantes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a elaboração do presente trabalho, foi possível constatar as áreas cuja conservação mostra-se prioritária. Espera-se, portanto, a adoção e a proposição de medidas, esforços e práticas por parte dos setores público e privado com vistas a evitar, mitigar e compensar possíveis impactos que por ventura venham a suceder nas regiões associadas a maiores valores de vulnerabilidade, primando inicialmente por alternativas locacionais que conservem essas áreas.

Conforme demonstrado, a metodologia apresentada considerou sete grupos de atributos julgados relevantes, embora em etapas posteriores, ou estudos complementares futuros, seja possível adotar prática semelhante analisando características distintas, outros atributos disponíveis, ou mesmo outras regiões para a análise.

É extremamente relevante a ressalva de que a metodologia proposta não substitui as análises aprofundadas que compõem um Estudo de Impacto Ambiental, entretanto seu caráter relativamente rápido e de baixo custo a constituem uma ferramenta complementar eficiente, capaz de identificar previamente riscos assumidos por um projeto, uma vez definida sua área de influência.

A metodologia desenvolvida no presente trabalho foi, desde o princípio, formulada para atender a demandas preliminares de um projeto, subsidiando tecnicamente a tomada de decisão e o processo de discussão pelo corpo técnico responsável em etapas iniciais.

De acordo com os dados obtidos, as áreas representadas por elevados valores de vulnerabilidade comumente foram associadas à presença de espécies chave para a dinâmica da cadeia alimentar local após análise de dados secundários. Além disso, as espécies que, segundo esses dados, habitam as poligonais selecionadas aleatoriamente ressaltadas no tópico dos resultados, por se tratar de representantes do topo das cadeias alimentares, são icônicas e profundamente relevantes pelo papel indicador de qualidade e integridade dos ecossistemas. As condições de sobrevivência desses indivíduos são extremamente restritas devido à sua grande dependência em fatores associados a todos os níveis tróficos da cadeia alimentar (WWF, 2010).

Ainda em concordância com expectativas prévias à execução do presente trabalho, foi possível observar a tendência de os empreendimentos minerários alocarem-se em áreas associadas a maiores valores de vulnerabilidade. Essa convergência se dá devido à maior facilidade de obter licenças e, consequentemente, explorar em regiões remotas. O desenvolvimento e a implementação dos grandes empreendimentos minerários são historicamente acompanhados pela posterior criação de centros urbanos nos arredores (IBGE, 2010).

Uma vez que se conhece a disposição dos atributos aos quais a operação de extrativismo mineral oferece riscos, é possível adotar a melhor conduta frente às estratégias de mitigação de impacto já existentes. Uma outra opção é a avaliação da viabilidade de alternativas locacionais para um projeto que influencie negativamente, de forma drástica, os atributos de profunda relevância disponíveis na região.

Propõe-se no presente trabalho a sobreposição das áreas de influência dos empreendimentos em mapeamentos de vulnerabilidade como o da presente análise, antes mesmo do requerimento de pesquisa mineral por parte do empreendedor. Práticas nesse sentido, visando identificar áreas importantes para a conservação são extremamente bem vistas por *stakeholders* externos como credores e investidores, elevando, inclusive, o valor de mercado das companhias que as promovem.

A presente metodologia pode, ainda, ser associada a diversos outros tipos de análises como, por exemplo, a valoração de áreas segundo suas características ambientais. Avanços no presente estudo podem, possivelmente, incluir a valoração dos atributos sob enfoque, uma vez que se tenha determinado um empreendimento e assim restringido a análise a escalas menores. Provido de informações como as áreas ocupação e de interferência das infraestruturas de dado negócio, até empreendimentos menos significativos, ou de menor escala do setor minerário podem ser contemplados pela presente metodologia. Uma vez combinadas práticas de valoração desses recursos ambientais passiveis de sofrerem impacto, é possível aferir, mesmo que por meio de estimativas, o montante adequado para uma compensação por parte daquela companhia.

Combinar as práticas de valoração com a presente metodologia pode ser estratégia eficaz para a manutenção da biodiversidade e da sustentabilidade de áreas ocupadas pelo setor minerário ao identificar áreas cada vez mais adequadas para a

compensação e manutenção desses aspectos, distribuídos na mesma bacia hidrográfica de qualquer negócio passível de impactar os atributos abordados no presente trabalho.

7 CONCLUSÃO

Conforme proposto por Liao *et al.* (2013), uma vez ciente das áreas propostas para a exploração mineral e de suas características de acordo com os resultados de determinada metodologia de mapeamento de áreas relevantes, ou vulneráveis é possível colocar em prática otimizações e ajustes para a implantação do projeto. Por se tratar de um mapeamento com escala reduzida, ou seja, abrangendo todo o território nacional, o Mapa 1 e os arquivos em formato *shapefile* associados a ele têm o potencial de orientar a etapa de projetos dos empreendimentos minerários desenvolvidos no território brasileiro, visando a conservação dos sete (7) atributos discutidos aqui.

Dias (2014) demonstra em seu trabalho a eficácia da metodologia AHP na tomada de decisão para hierarquização de atributos a fim de mapear a vulnerabilidade ambiental. Atestado, também no presente trabalho, o método simplifica consideravelmente a tomada de decisão e a comparação de atributos a princípio distintos, tornando as análises mais concretas, uma vez executadas de forma paritária.

Reitera-se, portanto, no presente trabalho a necessidade salientada por Dias (2014), de que técnicas comuns adotadas nesse trabalho de conclusão de curso e na elaboração de seu artigo sejam difundidas não somente no meio acadêmico, mas também em projetos de interesse público e privado. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) mostra-se, uma vez mais, ferramenta imprescindível para o julgamento, a seleção e o armazenamento dos dados necessários para a elaboração de mapas, sendo nesse caso o Mapa 1 e o Mapa 2, produtos fundamentais para discussão da proposta metodológica sob enfoque.

Por fim, conclui-se que é extremamente vantajoso para o setor mineral identificar e promover a elaboração de novas metodologias que proporcionem a identificação de atributos ameaçados por suas atividades e aspectos. A definição desses atributos sensíveis, localizados nas áreas de influência dos empreendimentos, em estágios iniciais dos projetos, possibilita a deliberação, embasada em dados, acerca do melhor plano de ação, considerando os riscos enfrentados e medidas a serem adotadas pelos responsáveis pela administração e gestão ambiental do negócio.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. R; OLIVIERI, R. D.; FERNANDES, F. R. C. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente. In: FERNANDES, F. R. C; ALAMINO, R. C. J; ARAUJO, E. **Recursos minerais e a comunidade: impactos humanos, socioambientais e econômicos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. Disponível em: http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/Texto.aspx?p=7&s=1. Acesso em 04 maio 2019

BARRETO, M. L. (2002). **Mineração e desenvolvimento sustentável**: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEMIMCT. Disponível em: http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000729.pdf. Acesso em: 06 jul. 2019

BOND, A. R.;JONES, D. N. (2008). Temporal trends in use of fauna-friendly underpasses and overpasses. Wildlife Research 35, 103–112.
Corporação Financeira Internacional Política sobre Sustentabilidade Socioambiental 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/29468039_Temporal_trends_in_use_of_fauna-friendly_underpasses_and_overpasses. Acesso em 15 maio 2019

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Anuário Mineral Brasileiro Principais Substâncias Metálicas 2018.** 2018. Disponível em: http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro. Acesso em: 14 out. 2019.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Arrecadação CFEM.** 2019. Disponível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem.aspx. Acesso em: 08 nov. 2019.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO**: DATA BASE DEZEMBRO/2016. 2017. Disponível em: http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS_2016%20_FINAL%2006-01-2017.pdf. Acesso em: 28 jun. 2019.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Comunicado**. 2019. Disponível em: http://www.anm.gov.br/noticias/comunicado. Acesso em: 28 jun. 2019.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SIGMINE.** 2019. Disponível em: http://www.anm.gov.br/assuntos/ao-minerador/sigmine. Acesso em: 17 out. 2019.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 1 jan. 2019.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **História:** Itabirito. 2010. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itabirito/historico. Acesso em: 17 out. 2019.

BRASIL. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONCERVAÇÃO. (Org.). **Unidades Abertas a Visitação:** Parque Nacional do Pau Brasil. 2017. http://www.icmbio.gov.br/portal/visitacao1/unidades-abertas-a-visitacao/9053-parque-nacional-do-pau-brasil. Acesso em: 17 out. 2019.

BRASIL. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONCERVAÇÃO. (Org.). **Unidades de Conservação - Cerrado:** Parna da Serra da Bodoquena. 2018. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2082-parna-da-serra-da-bodoquena>. Acesso em: 17 out. 2019.

BRASIL. **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. In: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Minas Gerais, 2015. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf. Acesso em: 07 de mar. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.985** de 18 de julho de 2000. Regulamenta o artigo 225 § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm. Acesso em: 08 jul. 2019.

BRASIL. **Lei n.7.990,** de 28 de dezembro de 1989. Institui, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataformas continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências.

(Art. 21, XIX da CF). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 dez. 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7990.htm. Acesso em: 25 set. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA ECONOMIA. . **Comex Vis: Países Parceiros**: Exportações, Importações e Balança Comercial - Parceiro: China. 2018. Disponível em: http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-pais. Acesso em: 7 jun. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. 2019. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/134-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods. Acesso em: 04 jun. 2019.

BRASIL. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. 2013. Disponível em: http://www.atlasbrasil.org.br/2013/. Acesso em: 04 maio 2019.

BIRDLIFE INTERNATIONAL. **World Database of Key Biodiversity Areas**. 2019. Disponível em: http://www.keybiodiversityareas.org/about. Acesso em: 04 jul. 2019.

CORPORAÇÃO FINANCEIRA INTERNACIONAL (IFC). **Notas de Orientação da Corporação Financeira Internacional** : Padrões de Desempenho sobre Sustentabilidade Socioambiental. 2012. Disponível em: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/5ed69b17-abf2-4a2f-a557-9f6720be8094/GN_Portuguese_2012_Full-Document.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mS3ewaf. Acesso em: 04 jun. 2019.

CRITICAL ECOSYSTEM PARTNERSHIP FUND (CEPF). **Biodiversity hotspots defined**. 2016. Disponível em: https://www.cepf.net/our-work/biodiversity-hotspots/hotspots-defined. Acesso em: 01 nov. 2019.

DEL CAMPO, A. G. Mapping environmental sensitivity: A systematic online approach to support environmental assessment and planning**. Environmental Impact Assessment Review**, v. 66, p: 86-98, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/254458404_GIS_in_Environmental_Assessment_A_Review_of_Current_Issues_and_Future_Needs. Acesso: 12 jul. 2019.

DE MELLO, J. WV; DUARTE, H. A.; LADEIRA, Ana Cláudia Q. Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina. **Cadernos Temáticos de Química Nova na**

Escola, v. 8, p. 24-29, 2014. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/06-CTN4.pdf. Acesso em: 05 jul. 2019.

DIAS, E. G. C.S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no estado de São Paulo**: a etapa de acompanhamento. São Paulo, 2001. 283p. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-23052001-171051/publico/Elviradias.pdf. Acesso em: 05 jul.2019.

DIAS, V. S. B.; DA SILVA, A. B. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico serra das onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6, n. 66/6, 2014. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44719/0. Acesso em: 08 jun 2019

DEPARTAMANETO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (Brasil). **MANUAL DE HIDROLOGIA BÁSICA PARA ESTRUTURAS DE DRENAGEM**. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf. Acesso em: 01 jun. 2019.

ENRÍQUEZ, M. A. R.; FERNANDES, F. R. C.; ALAMINO, R. C. J. A mineração das grandes minas e as dimensões da sustentabilidade. IN: FERNANDES, F. R. C.; ENRÍQUEZ, M. A. R; ALAMINO, R. C. J. (orgs). **Recursos naturais e sustentabilidade natural***.* Grande Minas. v.1. Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/Texto.aspx?p=6&s=6. Acesso em:01 ago. 2019

EPA, 2015. GISEA Manual: Improving the Evidence Base in SEA. **Environmental Protection Agency,** Ireland. Disponível em: https://www.epa.ie/pubs/advice/ea/ GISEA%20Manual%20Updated%202015.pdf. Acesso em 23 set. 2019

FARIAS, C. E. G. (2002). — Mineração e o Meio Ambiente no Brasil. **Relatório Preparado para o CGEE. PNUD** – Contrato 2002/001604. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/mineracao_e_meio_ambiente_no_brasil_1022.pdf/e86e431e-1a03-48d0-9a6e-98655ea257b6?version=1.0. Acesso em 12 jul. 2019.

FERNANDES, R.C. (org.). **Tendências Tecnológicas Brasil 2015**: Geociências e Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.380 p. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/526. Acesso em 23 jul. 2019.

FREITAS, C. M.; SILVA, M. A.; MENEZES, F. C. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 25-30, 2016. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252016000300010. Acesso em: 12 jul. 2019.

FURTADO, J.; URIAS, E. **Recursos naturais e desenvolvimento: estudos sobre o potencial dinamizador da mineração na economia brasileira.** IBRAM-Instituto Brasileiro de Mineração, 2013. Disponível em: http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005249.pdf. Acesso em: 06 jun 2019.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE (GRI) (Estados Unidos). **GRI's History**. 2019. Disponível em: https://www.globalreporting.org/information/about-gri/gri-history/Pages/GRI's%20history.aspx. Acesso em: 04 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. In: _____. **Gestão para a sustentabilidade na mineração: 20 anos de história**. Brasília: IBRAM, 2013. Disponível em: http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004089.pdf. Acesso em: 23 set. 2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Relatório Anual de Atividades Minerárias (julho de 2017/ junho 2018)**. Brasília, 2018. Disponível em: http://portaldamineracao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o_Relat%C3%B3rioAnual_vers%C3%A3oweb.pdf. Acesso em 23 set. 2019

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN) 2019. ***The IUCN Red List of Threatened Species****. Version 2019-2*. Disponível em: http://www.iucnredlist.org. Acesso em 18 jul. 2019.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN) 2019. ***Spatial Data & Mapping Resources****. Version 2019-1*. Disponível em: https://www.iucnredlist.org/resources/grid/spatial-data. Acesso em 12 mar. 2019.

JANSEN, D.C; CAVALCANTI, L. F. LAMBLÉM, H. S. Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, Brasília, 2012, v. 2, n.1. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/RBEsp/article/view/255. Acesso em: 14 out. 2019

KUMAR, Pushpam. **The economics of ecosystems and biodiversity:** ecological and economic foundations**.** Routledge, 2012.

LEI, Kai; PAN, Huiyun; LIN, Chunye. A landscape approach towards ecological restoration and sustainable development of mining areas. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 90, p.320-325, maio 2016. Elsevier BV. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.080. Acesso em: 23 set. 2019

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. Disponível em: https://www.lojaofitexto.com.br/formacao-e-conservacao-dos-solos-2-ed-/p. Acesso em: 22 out. 2019.

LIAO, X.; LI, W.; HOU, J.. Application of GIS Based Ecological Vulnerability Evaluation in Environmental Impact Assessment of Master Plan of Coal Mining Area. **Procedia Environmental Sciences,** [s.l.], v. 18, p.271-276, 2013. Elsevier BV. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2013.04.035. Acesso em: 23 set. 2019.

LOPES, L. M.N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, v. 5, n. 1, p. 1, 2016.
Mapping environmental sensitivity: A systematic online approach to support environmental assessment and planning, Environmental Impact Assessment Review 66 (2017) 86–98. Disponível em: http://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla/article/view/11377. Acesso em: 23 jul. 2019.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. **Revista de Estudos Avançados,** v. 24, n. 68, São Paulo, mar. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000100016. Acesso em 13 mar. 2019.

MILANEZ, B. (2017). Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**. 16. 93-101. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317299752_Mineracao_ambiente_e_sociedade_impactos_complexos_e_simplificacao_da_legislacao. Acesso em: 16 de ago. 2019.

MINAS GERAIS. [Constituição (1989)]. **Constituição do Estado de Minas Gerais**. 21 set. 1989. Belo Horizonte: Assembléia Legislativa, 1989. 195p. Disponível em: https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=Con&num=1989&ano=1989. Acesso em: 05 mar. 2019

MINAS GERAIS. Lei nº 11.726, de 30 de dezembro de 1994. Dispõe sobre a política cultural do Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 30 dez. 1994.Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2292. Acesso em: 12 jul. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Responsabilidade Socioambiental:** Agenda 21 Global. 2019. Disponível em https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global. Acesso em: 01 mar. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade brasileira**. 2019. Disponível em: http://areasprioritarias.mma.gov.br/2-atualizacao-das-areas-prioritarias. Acesso em: 01 out. 2019.

MIRANDA, Marcos Paulo de Souza. Mineração em áreas de ocorrência de patrimônio espeleológico. **MPMG Jurídico**, 2012. Disponível em: https://aplicacao.mpmg.mp.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1089/9%20R%20MJ%20Patrimonio%20espeleologico%20-%20Marcos%20Paulo.pdf?sequence=1. Acesso em: 15 out. 2019

MORAES, K. G. **Obsolescência planejada e direito**: (In) Sustentabilidade do consumo à produção de resíduos. Porto Alegre: Editora Livraria do Advogado, 2015.

Mota J.; Nazário J.; Filipe S. J.; Siqueira J.; Moreira, P. Mining contribution to municipalities development. **J Environ Sci Eng,** 2017, B 6:436–442. Disponível em: http://davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/5a52cd80666ac.pdf. Acesso em: 12 mar. 2019

OLSON, D. M., DINERSTEIN, E., WIKRAMANAYAKE, E. D., BURGESS, N. D., POWELL, G. V. N., UNDERWOOD, E. C., D'AMICO, J. A., ITOUA, I., STRAND, H. E., MORRISON, J. C., LOUCKS, C. J., ALLNUTT, T. F., RICKETTS, T. H., KURA, Y., LAMOREUX, J. F., WETTENGEL, W. W., HEDAO, P., KASSEM, K. R. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. **Bioscience Journal**, 2001. Disponível em: https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world. Acesso em: 25 mar. 2019.

Organização Pan-Americana da Saúde; Ministério da Saúde. Desastres naturais e saúde no Brasil. Brasília: **Organização Pan-Americana da Saúde/Ministério da Saúde**; 2014. Disponível em: https://www.paho.org/bra/images/stories/GCC/desastresesaudebrasil_2edicao.pdf?ua=1. Acesso em: 23 jul. 2019.

PAIVA, C. T. **Proposta de metodologia para análise de passivos ambientais da atividade minerária**. Ministério de Minas e Energia - MME. 2006. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir934/RelatConsultoriaApresentaoMME_PassivosAmbientais.pdf. Acesso em: 15 mai. 2019.

PESSOA, Gerisval Alves. **Avaliação de projetos de mineração utilizando a teoria das opções reais em tempo discreto**: um estudo de caso. 2006. 174 fl. Dissertação (Mestrado em Gestão Empresarial) - Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/8706. Acesso em: 06 mar. 2019.

PINTO, L. V. A. *et al.* Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 197-206, 2004a. Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr65/cap19.pdf. Acesso em: 14 jul. 2019

PONTES, J. C.; DE FARIAS, M. S. S.; DE LIMA, V. L. A. Mineração e seus reflexos socioambientais: Estudo de Impactos de vizinhança (EIV) causados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos. **POLÊM!CA,** Rio de Janeiro., v. 12, n. 1, 2013, pp. 77-90. Disponível em: https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/5277. Acesso em 14 jul. 2019

PRADO Jr., C. **História Econômica do Brasil**. 43 ed. São Paulo: Brasiliense, 1998.

PROTECTED PLANET. **The World Database on Protected Areas**. 2019. Disponível em: https://stage.protectedplanet.net/c/world-database-on-protected-areas. Acesso em: 28 mar. 2019.

SAATY, T. **Método de Análise Hierárquica**. Makrom Books, São Paulo, 1991.

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008. Disponível em: http://www.rafikulislam.com/uploads/resourses/197245512559a37aadea6d.pdf. Acesso em: 12 jul 2019.

RAMSAR CONVENTION. **About the Ramsar Convention**. 2019. Disponível em: https://www.ramsar.org/. Acesso em: 01 jul. 2019.

REID, WALTER & MOONEY, HAROLD & CROPPER, A & CAPISTRANO, D & CARPENTER, STEPHEN & CHOPRA, KARTIK. (2005). **Millennium Ecosystem Assessment.** Ecosystems and human well-being: synthesis. Disponível em:

https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf. Acesso em: 18 fev. 2019.

ROSA, C. R. M.; STEINER, M. T. A.; COLMENERO, J. C. Utilização de processo de análise hierárquica para definição estrutural e operacional de centros de distribuição: uma aplicação a uma empresa do ramo alimentício. **Gestão e Produção**, v. 22, n. 4, p. 935-950, 2015.Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/gp/v22n4/0104-530X-gp-0104-530X986-13.pdf. Acesso: 12 jul. 2019.

SCOTTO, G. Estados Nacionais, Conflitos Ambientais e Mineração na América Latina. Equador: **Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales Letras Verdes**, v. 1, n. 14, p. 95-116, 2013. Disponível em: https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/xmlui/handle/10469/5972. Acesso em: 13 out. 2019.

SHEN, Lixin; MUDULI, Kamalakanta; BARVE, Akhilesh. Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach. **Resources Policy**, [s.l.], v. 46, p.15-26, dez. 2015. Elsevier BV. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.10.006. Acesso em: 23 set. 2019

SOUZA, J. C. **A manutenção produtiva total na indústria extrativa mineral**: a metodologia tpm como suporte de mudanças. 2001. 150f. Dissertação (mestrado em Engenharia pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC), Florianópolis, 2001. Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/30360582.pdf. Acesso em: 29 mar. 2019

TONIETTO, A.; SILVA, J. J. M. C. Valoração de danos nos casos de mineração de ferro no brasil. **Revista brasileira de criminalística**, v.1, n.1, pp. 31-38. 2011. Disponível em: http://rbc.org.br/ojs/index.php/rbc/article/download/15/pdf_5. Acesso em 12 jul. 2019

TOSATTO, P. **Geodiversidade do Brasil**: sobre a construção das geociências. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2005. Disponível em: http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/geodiversidade-do-brasil-sobre-a-construcao-das-geociencias/view. Acesso 22 abr. 2019.

United Nations (1993) Convention on biological diversity (with annexes). Concluded at Rio de Janeiro on 5 June 1992. **Treaty series**, n. 30619. Disponível em: https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf. Acesso em: 8 mar. 2019.

VALE S.A (Brasil) (Org.). **Relatório de Sustentabilidade 2018**. 2019. Disponível em: http://vale.com/rs2018. Acesso em: 28 jun. 2019.

VIANA, M. B. **Avaliando Minas**: índice de sustentabilidade da mineração (ISM). 2012. 372 fl. Tese de doutorado - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: http://www.cbd.int/convention/convention.shtml. Acesso em: 23 set. 2019
WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **Onça-pintada**. 2010. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/biodiversidade/especie_do_mes/janeiro_onca_pintada.cfm. Acesso em: 17 out. 2019.

WORRALL, Rhys *et al.* Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 17, n. 16, p.1426-1434, nov. 2009. Elsevier BV. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.013. Acesso em: 23 set. 2019