

**VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS DANOS À VEGETAÇÃO NATURAL
DECORRENTES DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS MINA
CÓRREGO DO FEIJÃO EM BRUMADINHO, MINAS GERAIS**

SHISNARA BRYESKA BARROS DA SILVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS DANOS À VEGETAÇÃO NATURAL
DECORRENTES DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS MINA
CÓRREGO DO FEIJÃO EM BRUMADINHO, MINAS GERAIS**

SHISNARA BRYESKA BARROS DA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
com apresentado ao Departamento de
Engenharia Florestal da Universidade de
Brasília, como parte das exigências para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza

Brasília-DF, 2020

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS DANOS À VEGETAÇÃO NATURAL
DECORRENTES DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS MINA
CÓRREGO DO FEIJÃO EM BRUMADINHO, MINAS GERAIS**

Estudante: Shisnara Bryeska Barros da Silva

Matrícula: 150052065

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza

Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza, EFL/FT/UnB

Orientador

Prof^aDr^aMaísa Santos Joaquim, FAV/GAN/UnB

Ms.C.Juliana Baldam Costa Neves Araújo, EFL/FT/UnB

Brasília-DF, 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que esteve comigo de todas as formas possíveis. A todas as pessoas que passaram por minha vida, contribuindo para o que eu sou hoje, e consequentemente, tendo influência na construção deste trabalho. A minha família que sempre foi meu ponto de apoio, um lugar seguro e de suporte incondicional para mim. Meu pai Marcos Aurélio, que sempre acreditou mais em mim do que eu mesma, não hesitando em recarregar minhas energias com otimismo e piadas de humor duvidoso, minha mãe Adriana, que com sua força de vontade me inspira todos os dias a me esforçar mais em cada objetivo que traço, minha avó Creuza, que me ensinou sobre amor genuíno desde meu nascimento e minha irmã Ohana, que me faz querer ser o melhor exemplo possível e uma fonte de segurança da mesma forma que meus pais são para mim.

Agradeço meus amigos da UnB, Débora, Mariana, Matheus, Raquel e Thais. Em momentos onde eu literalmente não conseguia respirar de maneira apropriada, vocês estavam ao meu lado. Essa jornada de vários anos teria sido muito mais complicada sem vocês em cada trabalho, estudo de provas e crises eventuais. Obrigada por terem sido os amigos não sentimentais mais responsáveis pelos bons sentimentos que experimentei na Universidade. Agradeço também aos meus amigos de fora do meio acadêmico, cada um que ocupa um espaço no meu coração merece um agradecimento neste trabalho. Beatriz, Clara e Iris, vocês estiveram especialmente próximas nos últimos anos, me ajudaram a me encontrar em vários aspectos e a me sentir melhor em minha própria pele, eu nunca vou poder agradecer o suficiente por isso. Alice, e Bea novamente, por ajudarem na revisão deste trabalho, obrigada por isso, eu não conseguiria sozinha.

Agradeço ao meu orientador Álvaro Nogueira de Souza, que primeiramente possibilitou a oportunidade de desenvolver este estudo e foi fundamental em cada etapa dele, além de ajudar em meu desenvolvimento acadêmico e profissional. As participantes da banca avaliadora, Prof^a Maísa e Juliana Araújo, por cada conselho precioso e pela disponibilidade de participar desse momento tão importante. A todos os professores que tive na UnB, que compartilharam conhecimentos e abriram portas onde eu costumava enxergar paredes.

À Universidade de Brasília e a cada pessoa que torna possível o ensino público transformador de realidades.

RESUMO

No dia 25 de Janeiro de 2019, em Brumadinho, cidade da região metropolitana de Belo Horizonte, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos Mina Córrego do Feijão, associada à mineradora Vale S.A. Devido ao rompimento foram despejados cerca de 13 milhões de m³ de rejeitos de minério de ferro que atingiram aproximadamente 300 hectares de terra, causando impactos em âmbito ambiental, social e econômico. Da área atingida, foram danificados 150,97 hectares de vegetação natural do bioma Mata Atlântica. Considerando sua importância ecossistêmica e o fato de que o bioma é considerado um *hotspot* mundial com prioridade para conservação, este estudo buscou fazer uma estimativa do valor econômico dos danos causados a ele. A valoração econômica ambiental é uma ferramenta promissora na responsabilização e quantificação de danos ambientais, porém, seu caráter multidisciplinar e o grande número de variáveis a serem consideradas em cada caso, tornam difícil a adoção de uma metodologia padrão, sendo necessária a busca pelos melhores métodos de valoração de acordo com o caso. Neste trabalho foi adotada metodologia proposta pela NBR 14653, onde o Valor do Recurso Ambiental é dado pelo somatório do Valor de uso Direto, Valor de uso indireto, Valor de opção e Valor de existência. Para a determinação do valor de existência foi utilizado o método de valoração de contingência e para o valor de uso direto, indireto e de opção, foi utilizado o método de capitalização de renda. Após todas as estimativas, chegou-se ao montante de R\$39.306.763,72, valor que pode ser utilizado como base para estudos mais aprofundados dos danos causados pelo desastre.

Palavras-chave: Valoração Ambiental. Brumadinho. Danos Ambientais. Capitalização de Renda.

ABSTRACT

On January 25, 2019, in the town of Brumadinho, in the metropolitan area of Belo Horizonte, the tailings dam of the iron mine, Mina Córrego do Feijão, operated by Vale S/A collapsed. The mud wave produced by the dam failure, estimated at 13 million cubic meters of ore tailing, reached approximately 300 hectares of land, causing environmental, social and economic impacts. From the affected area, 150.97 hectares of natural vegetation from the Atlantic Forest biome were damaged. Taking into account its ecosystemic importance and the fact that the biome is considered a global biodiversity hotspot and an high-priority area for habitat protection and conservation, this study sought to estimate the economic value of the damage caused on the forest cover. The environmental economic valuation is a promising tool in the accountability and quantification of environmental damage, however, its multidisciplinary character and the large number of variables to be considered in each case, make it difficult to adopt a standard methodology, requiring the search for the best valuation methodology according to the case. In this work, the methodology proposed by NBR 14653 was adopted, where the Total Economic Value (TEV), was determined by the sum of the Direct Use Value, Indirect Use Value, Option Value and Existence Value. For the determination of the Existence Value, the Contingent Valuation Method (CVM) was used, while for the Direct, Indirect and Option use value, the Income Capitalization Approach was used. The final amount, after combining all estimates, was R\$ 39,306,763.72, which can be used as a basis for further studies of the damage caused by the disaster.

Keywords: Environmental Valuation. Brumadinho. Environmental Damage. Income Capitalization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Mina Córrego do Feijão e das áreas atingidas pelo rompimento.

Figura 2. Esquema de funcionamento de barragem à montante.

Figura 3. Áreas de preservação permanente e vegetação nativa atingidas pelo rompimento da Barragem I.

Figura 4. Métodos de valoração ambiental

Figura 5. Espalhamento do rejeito até a confluência com o Rio Paraopeba.

Figura 6. Área coberta pelos rejeitos e cobertura original das terras anteriormente.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dispositivos legais relacionados à gestão da segurança de barragens de rejeitos de Âmbito Federal.

Tabela 2. Dispositivos legais relacionados à gestão da segurança de barragens de rejeitos de Âmbito Estadual.

Tabela 3. Valores para floresta tropicais.

Tabela 4. Classes de uso do solo anteriores ao rompimento da barragem.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANM Agência Nacional de Mineração

CENIMA Centro Nacional de Monitoramento e Informações Ambientais

CMDRS Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural

DAP Disposição a Pagar

DAC Disposição a Aceitar a Compensação

DITR Declaração do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural

DNPM Departamento Nacional de Produção Mineral

EMATER Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural

IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPC Índice Nacional de Preços ao Consumidor

MAPBIOMAS Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil

MG Minas Gerais

NBR Norma Brasileira Registrada

PNSB Política Nacional de Segurança de Barragens

QF Quadrilátero Ferrífero

SIGMB Sistema Integrado de Gestão de Barragens

SNISB Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

VTN Valor de Terra Nua

VERA Valoração econômica do recurso ambiental

VP Valor Presente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 JUSTIFICATIVA.....	12
3 OBJETIVO.....	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1 CARACTERIZAÇÃO DE BRUMADINHO, MINAS GERAIS	14
4.2 BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE ATIVIDADE MINERÁRIA.....	15
4.2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL.....	15
4.2.2 BARRAGEM MINA CÓRREGO DO FEIJÃO – BRUMADINHO	19
4.3 MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO	23
4.4 VALORAÇÃO ECONÔMICA DE RECURSOS E DANOS AMBIENTAIS	27
4.4.1 VALORAÇÃO ECONÔMICA AMBIENTAL	27
4.4.2 VALORAÇÃO DE DANOS AMBIENTAIS	29
4.4.3 MÉTODOS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL.....	30
4.4.4 MÉTODO DA CAPITALIZAÇÃO DA RENDA.....	32
5 MATERIAIS E MÉTODOS	34
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	34
5.2 VALORAÇÃO DOS RECURSOS AMBIENTAIS.....	35
5.3 CAPITALIZAÇÃO DA RENDA	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1 ATRIBUIÇÃO DE VALOR A DANOS AMBIENTAIS	39
6.2 VALOR ECONÔMICO DO RECURSO AMBIENTAL	40
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

O progresso tecnológico e industrial pelo qual a sociedade passou nas últimas décadas aconteceu de maneira tão intensa e rápida que não produziu somente riquezas, mas também, riscos sociais e ambientais (ENGELMANN; BERWIG; WITTCKIND, 2017). Por seu caráter econômico, o uso dos recursos naturais sempre foi alvo de debate entre a sociedade. A necessidade de utilizar tais recursos, tendo-se preocupação com os possíveis danos decorrentes da forma de exploração adotada, e os demais impactos ambientais, intensificou ainda mais a discussão (POTT, 2017).

A degradação ambiental como consequência da ação humana e da forma que se construiu socialmente, tornando-se dependente desta exploração, gera um conflito de interesses. O constante embate e trade off entre a necessidade de produzir e a de preservar, contribui para que o meio ambiente seja foco de grandes debates, tornando-se uma questão social, capaz de firmar ou quebrar acordos políticos. Sendo assim, a questão ambiental não se trata apenas dos danos ambientais, ela pode gerar crises econômicas e desequilíbrio social (ALMEIDA; PREMEBIDA, 2014).

No dia 25 de janeiro de 2019, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos da mina Córrego do Feijão, associada à mineradora Vale S.A. A barragem se encontrava na cidade de Brumadinho, região metropolitana de Belo Horizonte. Os rejeitos atingiram uma grande área, incluindo vegetação nativa e rios. No local atingido era possível encontrar florestas em avançado estado de sucessão ecológica, além de outros estágios sucessionais, pastagens, ambientes de caráter pantanoso, moradias e áreas de desenvolvimento agrícola (PEREIRA; CRUZ; GUIMARÃES, 2019).

De acordo com estimativas preliminares realizadas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Informações Ambientais (Cenima) do IBAMA, foram atingidos 70,65 hectares de Áreas de Preservação Permanente e 133,27 hectares de vegetação nativa de Mata Atlântica (IBAMA, 2019). Dada sua composição, os rejeitos podem ser classificados como tóxicos, além de impossibilitarem a regeneração natural da área devido à formação de crosta rígida e espessa. Os danos ambientais decorrentes do rompimento da barragem são de larga escala e mensuração complexa, devido ao fato dos impactos, abrangerem também o âmbito social e econômico, tornando a análise multidisciplinar (PEREIRA; CRUZ; GUIMARÃES, 2019).

O processo de mensuração e responsabilização de danos a bens ambientais, já citado, pode ser complexo e de difícil compreensão para a sociedade em geral, já que é necessário conhecimento de excelência para se compreender os diferentes impactos

relacionados a desastres, principalmente no que se refere aos de grandes proporções. Nesse contexto, a valoração econômica de danos ambientais surge como um instrumento de grande potencial por possibilitar a conversão de um problema multidisciplinar em uma única unidade de medida (FERREIRA, 2018).

No entanto, justamente por reunir variáveis multidisciplinares, a valoração monetária de um dano ambiental caracteriza-se como uma ciência complexa e minuciosa, isso se vê refletido na grande quantidade de métodos existentes para se fazer essa estimativa, e que ainda assim, muitas vezes não conseguem abarcar o valor integral dos danos ambientais ocorridos (MAGLIANO, 2019). Levantar estimativas de preço para bens ambientais exige estudo e análise caso a caso, muitas vezes com o uso de combinação de métodos, para obtenção de resultados fidedignos e bem embasados (KLOTZ, 2016).

Mesmo diante das dificuldades, a valoração de danos ambientais se mostra como uma ferramenta importante na gestão ambiental, principalmente no que se trata da responsabilização de agentes causadores de impactos ambientais (CONSTANTINO et al., 2018). Desastres como Bhopal (1984), Chernobyl (1986), Golfo do México (2010), Fukushima (2011), Mariana (2015), e obviamente, Brumadinho (2019), justificam a necessidade do desenvolvimento de instrumentos para prevenção e mensuração de danos ambientais, como a valoração econômica (ENGELMANN; BERWIG; WITTCKIND, 2017).

2 JUSTIFICATIVA

A Constituição Federal do Brasil de 1988 têm um artigo todo dedicado ao meio ambiente e aos deveres e direitos da sociedade nesse aspecto (BRASIL, 1988). Em seu caput podemos ler:

Art. 225. 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.

No Brasil, a necessidade de manter o meio ambiente em condições plenas e garantir que ele seja capaz de manter-se dessa forma, tanto no presente, quanto para gerações futuras é, não só informalmente ético, mas também, uma questão que possui respaldo constitucional, tornando-se imprescindível (MAGLIANO, 2019). Seguindo a determinação Constitucional, a Lei de Crimes Ambientais (Lei Federal 9.605, de 12 de

fevereiro de 1998) estabelece as sanções administrativas e penais para condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (BRASIL, 1998). Em seu artigo 19, determina:

Art. 19. A perícia de constatação do dano ambiental, sempre que possível, fixará o montante do prejuízo causado para efeitos de prestação de fiança e cálculo de multa.

Estabelecendo legislativamente, a valoração monetária como um instrumento eficiente na gestão ambiental. Mesmo que nem todos os danos se incluam na modalidade citada no artigo, a valoração se mostra como uma medida efetiva para a proteção dos serviços ecossistêmicos. No entanto, os métodos pelos quais ela deve ser feita, ainda são de difícil determinação, migrando entre a ciência ambiental e econômica, exigindo conhecimento técnico em economia ambiental (MAGLIANO, 2013).

Constantino et al. (2018) ao realizar levantamento de trabalhos envolvendo valoração econômica ambiental, apontou a escassez de trabalhos utilizando metodologia condizente com as condições do Brasil, o autor salienta que trabalhos a respeito do tema baseiam-se em publicações estrangeiras. Magliano (2019) evidência o despreparo de órgãos públicos brasileiros em relação ao tema e o fato de que as valorações definidas por estes baseiam-se em acordos e não em metodologias. Há a necessidade de elaboração de mais trabalhos e a exploração de metodologias adaptadas a realidade brasileira que possam ser tomados como base para decisões em ocorrências futuras (KLOTZ, 2016).

Para combater o uso indiscriminado dos recursos ambientais sem uma gestão de riscos adequada, é necessário que a responsabilização por desastres já ocorridos seja mais eficiente e rígida. Considerando que o aspecto econômico tem grande influência na tomada de decisões dentro de empreendimentos de pequeno e grande porte, a valoração se enquadra como uma boa forma de inspirar maior cuidado por parte de agentes causadores de danos ambientais (CONSTANTINO et al., 2018).

O rompimento da Barragem B1 em Brumadinho, Minas Gerais, causou impactos em âmbito ambiental, social e econômico, ao despejar cerca de 13 milhões de m³ de rejeitos de minério de ferro, afetando diretamente área de aproximadamente 300 hectares. Os rejeitos ainda se derramaram no Rio Paraopeba, sendo carregados por grande extensão de área ainda difícil medição (PEREIRA; CRUZ; GUIMARÃES, 2019).

A mensuração dos danos causados por esse desastre é importante em todos os âmbitos, para que seja possível a responsabilização dos agentes causadores, além disso, estudos que investiguem os impactos socioambientais e econômicos são importantes para se traçar estratégias de mitigação (PEREIRA; CRUZ; GUIMARÃES, 2019). Tratando-se da valoração dos danos à vegetação natural, é imprescindível que métodos para sua estimação sejam desenvolvidos a fim de se compensar a perda de biodiversidade e serviços ambientais (MAGLIANO, 2019).

3 OBJETIVO

Considerando os danos causados pelo rompimento da mina de rejeitos Córrego do Feijão em Brumadinho, Minas Gerais. Este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para valorar os danos à vegetação natural ocorridos após o desastre.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DE BRUMADINHO, MINAS GERAIS

Brumadinho faz parte da Região Metropolitana de Minas Gerais, segundo o último censo realizado pelo IBGE, a cidade possui população de 33.937 pessoas com área de 639,434 Km² (IBGE, 2020). Ela está inserida na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, com notável riqueza hídrica, e faz parte da área que forma o Quadrilátero Ferrífero, apresentando como principais atividades econômicas a mineração, agropecuária em pequenas propriedades rurais e o turismo (IANNELLI; RIGOLETTO, 2020).

O relevo predominante da área situa-se entre 700 e 1100 metros de altitude. A região se encontra no Bioma Mata Atlântica, tendo cobertura vegetal predominante de Floresta Estacional Semidecidual, caracterizada por árvores de tronco fino e porte médio, perda de folhas, matas de galeria circundando nascentes e cursos de água, além de grande diversidade de espécies (IANNELLI; RIGOLETTO, 2020). A Mata Atlântica é uma das maiores florestas tropicais do planeta, por sua alta biodiversidade e grande grau de ameaça ao qual está exposta, é considerada um *hotspot* mundial, ou seja, trata-se de uma área prioritária de conservação (LORENZONI-PASCHOA et al., 2019).

O Bioma brasileiro que mais sofreu com o desmatamento ao longo do tempo, foi a Mata Atlântica, em consequência de se encontrar em áreas com intensa

urbanização e produção agropecuária. A fragmentação ocorrida no bioma é tão intensa que dos remanescentes florestais, mais de 80% possuem áreas menores que 50 hectares. Tal realidade intensifica ainda mais a gravidade do desastre ocorrido na Barragem Mina Córrego do Feijão, pois este afetou drasticamente um bioma prioritário de conservação (TORRES, 2017).

O uso do solo de Brumadinho é definido pelo Plano Diretor Municipal observando-se as leis ambientais. No município podem ser encontradas várias unidades de conservação como Áreas de Proteção Ambiental, Áreas de Proteção Especial, Reservas Particulares do Patrimônio Natural e o Parque Estadual Serra do Rola-Moça, terceiro maior parque de preservação em área urbana existente no Brasil (IANNELLI; RIGOLETTO, 2020).

4.2 BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE ATIVIDADE MINERÁRIA

4.2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL

A mineração tem como objetivo a exploração de recursos minerais de caráter que possibilite o aproveitamento econômico, ela abarca uma série de atividades compreendendo desde os estudos, extração, até transformação destes recursos em produtos que sejam absorvidos pelo mercado. Em sua maioria, trata-se de elementos encontrados na natureza em forma de jazidas ou reservas, que são esgotáveis e não renováveis a partir de ações humanas (IBRAM, 2016; THOMÉ, 2019). É chamado de rejeito de minério o resíduo descartado após os processos de beneficiamento de minérios, que envolvem moagem de material, adição de água e produtos químicos (DE ANDRADE, 2018).

Em resposta ao avanço tecnológico da mineração, que a cada dia possibilita a retirada de materiais de interesse de substâncias com menor teor mineral, há também o aumento na quantidade de rejeitos e a necessidade de se buscar formas para lidar com estes. Os rejeitos que antes poderiam ser descartados diretamente na natureza alcançaram um volume muito alto para que esta fosse a postura adotada pelos agentes mineradores, os obrigando a realocar esses materiais em locais teoricamente apropriados (IBRAM, 2016).

Nesse cenário houve a adoção das barragens de contenção, onde aconteceria a deposição dos rejeitos, de forma que ficassem contidos longe do ambiente natural e da população, devido a sua composição muitas vezes tóxica (DE ANDRADE, 2018). A construção de barramentos para conter resíduos de minérios, possuía vantagem em questão de custo-benefício, porém os riscos ligados a estabilidade acabaram se mostrando altos e casos de rompimento não foram raros, principalmente levando em consideração o histórico de como ocorreu a adoção deles inicialmente (COTA et al., 2019).

Por muito tempo o caráter das atividades minerárias foi rudimentar, o que propiciava a desconsideração dos possíveis impactos ambientais decorrentes desta, dado o baixo nível de perturbação que poderia causar (THOMÉ, 2019). As barragens inicialmente eram construídas considerando poucas variáveis, algumas nem chegaram a ser devidamente projetadas, sendo ignorados os pormenores que têm influência sobre elas (IBRAM, 2016).

Essa postura aos poucos foi se modificando, tanto pelo maior entendimento quanto as barragens em si, quanto pelo fato de que ao longo do tempo, devido às maiores demandas, elas aumentaram em grau de complexidade exigindo estudos específicos para garantir sua estabilidade e segurança. Mesmo com isso, ainda ocorreram vários incidentes relacionados às barragens. A aplicação inadequada dos métodos estudados, projetos realizados com base em dados inconsistentes e monitoramento defectivo, foram algumas das variáveis identificadas como possíveis causadoras de falhas (IBRAM, 2016).

Segundo De Andrade (2018, p.29) “as barragens de rejeito podem apresentar expressivos danos potenciais em decorrência de seu rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento”. A atividade mineraria por completo, está sujeita a causar danos, na exploração das jazidas e no tratamento do minério, por exemplo, a exploração hídrica faz parte de toda a operação, contribuindo para processos de degradação e até rarefação. Além disso, é evidente que os impactos ambientais causados pela mineração acontecem tanto diretamente, quanto indiretamente (COTA et al, 2019).

Estudos apontam que os danos causados pela atividade de mineração não ficam apenas resguardados as áreas fisicamente afetada, eles podem se expandir para aspectos sociais, ambientais e econômicos em escalas variáveis (DE ANDRADE, 2018). A intensidade e proporção das atividades minerárias atualmente, faz com que seus impactos ambientais, por exemplo, sejam amplos, sendo relacionados à modificação de

habitats, possíveis danos a biodiversidade, poluição de águas, alteração topográfica, entre outros. Dessa forma, com o avanço das tecnologias e capacidade de produção maximizada, a posição que negligenciava os impactos da atividade de mineração precisou ser revisada e adaptada (IBRAM, 2016; THOMÉ, 2019).

Essa necessidade se intensificou ainda mais com a ocorrência de desastres de cunho ambiental, ligados direta ou indiretamente às barragens de contenção de rejeitos. Engelmann, Berwig e Wittckind (2017, p. 295), evidenciam esse fato ao afirmarem que a sociedade tem se exposto a grandes riscos tecnológicos sem o devido gerenciamento, desastres como Bhopal (1984), Chernobyl (1986), Golfo do México (2010), Fukushima (2011) e Mariana (2015), deixam essa realidade muito clara. Todos os exemplos citados são frutos de alguma forma de produção em massa, que devido ao gerenciamento de riscos defectivo acabou culminando em um desastre de impactos de grande escala.

Desastres antropogênicos, relacionados à gestão de tecnologias, possuem a particularidade de oferecerem a possibilidade de um maior controle prévio, contanto que exista regulamentação e monitoramento em relação à gestão de riscos (ENGELMANN; BERWIG; WITTCKIND, 2017). Considerando a complexidade e periculosidade com relação à geração e contenção de rejeitos de mineração, foi desenvolvida no Brasil uma série de dispositivos legais a respeito das obrigações e procedimentos necessários na gestão de barragens de rejeitos, em âmbito federal e em alguns casos até estadual. (IBRAM, 2016)

A Lei 12.334 de 20 de Setembro de 2010 definiu que o antigo DNPM, atual Agência Nacional de Mineração (ANM), é responsável pela fiscalização das barragens para contenção de rejeitos minerais, ela também estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) e o Sistema Integrado de Gestão de Barragens (SIGBM).

Na Tabela 1, encontram-se outros dispositivos legais relacionados à gestão da segurança de barragens de rejeitos, de âmbito federal.

Tabela 1. Dispositivos legais relacionados à gestão da segurança de barragens de rejeitos de Âmbito Federal.

ÂMBITO FEDERAL	ESPECIFICAÇÕES
01. Lei Federal nº 12.305/2010 – 02/08/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, que apresenta o rejeito da mineração como uma categoria de resíduo (art.13, inciso I, “k”).
02. Lei Federal nº 12.334/2010 – 20/09/2010	Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.
03. Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional de Recursos Hídricos – Resolução nº 143, de 10 de julho de	Estabelece diretrizes para implantação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.
05. Portaria DNPM nº 416, de 03 de setembro de 2012	Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração conforme a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens.

Fonte: Adaptado de IBRAM (2016).

Alguns estados tiveram necessidade de desenvolver regulamentação específica, de forma que na Tabela 2, encontram-se os dispositivos legais, relacionados à gestão da segurança de barragens de rejeitos, de âmbito estadual.

Tabela 2. Dispositivos legais relacionados à gestão da segurança de barragens de rejeitos de Âmbito Estadual.

ÂMBITO ESTADUAL	ESPECIFICAÇÕES
Estado de Minas Gerais	Define os requisitos legais da Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17 de dezembro de 2002 e da Deliberação Normativa COPAM nº 87, de 17 de junho de 2005 e Deliberação Normativa COPAM nº 124, de 09 de outubro de 2008 que dispõem sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais de mineração.
Decreto nº 46.933, de 2 de maio de 2016	Institui a Auditoria Técnica Extraordinária de Segurança de Barragem e dá outras providências.
Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2372, de 06 de maio de 2016	Estabelece diretrizes para realização da auditoria extraordinária de segurança de barragens de rejeito com alteamento para montante e para a emissão da correspondente Declaração Extraordinária de Condição de Estabilidade de que trata o Decreto nº 46.993 de 02 de maio de 2016 e dá outras providências

Fonte: Adaptado de IBRAM (2016).

Dentro dos deveres impostos por estas leis, é citado que o empreendedor é responsável por elaborar e monitorar um Plano de Segurança da Barragem, além de ter esquematizadas as possíveis áreas atingidas em caso de rompimento (SILVA, 2019). Apesar do desenvolvimento de tais dispositivos e o fortalecimento da legislação e fiscalização ambiental em geral, a realidade brasileira continua sendo preocupante em níveis alarmantes. Os sucessivos desastres ocorridos nos últimos anos e a grande proporção de empreendimentos em situação de risco atualmente são evidências desse fato (BRASIL, 2019b).

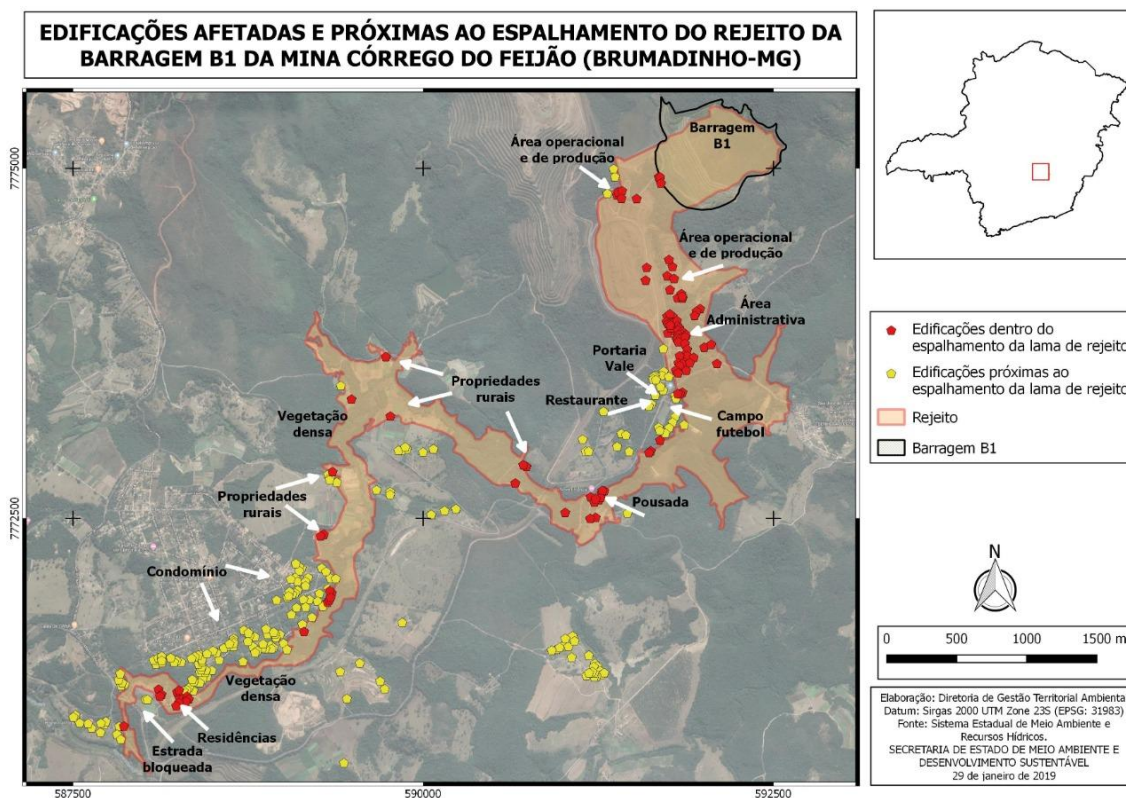
Apenas 442 barragens de mineração estão inseridas na PNSB o que representa 51,82 % das 853 barragens existentes no país, sendo que, 121 destas apresentam risco alto ou médio (ANM, 2020). Além dos problemas com as barragens em operação, ainda existe a realidade preocupante de barragens desativadas que foram abandonadas sem nenhum tipo de monitoramento ou gestão de riscos, que poderiam ser caracterizadas como uma bomba relógio, considerando o risco iminente que oferecem. Empresas mineradoras se beneficiam dos lucros e socializam os prejuízos, deixando evidente o lapso em relação à assunção de responsabilidades de agentes causadores de impactos ambientais (THOMÉ, 2019).

4.2.2 BARRAGEM MINA CÓRREGO DO FEIJÃO – BRUMADINHO

Em Minas Gerais desde o século XVII, no início da exploração aurífera no Brasil, até hoje, a mineração se caracteriza como um importante setor econômico. No Quadrilátero Ferrífero (QF), encontram-se as maiores concentrações de minério, principalmente ferro (COTA et al, 2019). De aproximadamente 7.200 km² de extensão do QF, estima-se que 90,8 km² são constituídos de formações ferríferas. Brumadinho é uma das várias cidades inseridas no perímetro, ela se encontra na região metropolitana de Belo Horizonte, possuindo aproximadamente 39 mil habitantes (COELHO et al, 2017).

Considerando seu potencial na produção de minério de ferro, a cidade é alvo de empreendimentos da área, dentre eles se encontra a barragem de rejeitos da mina Córrego do Feijão, que no dia 25 de Janeiro de 2019, se rompeu (FIGURA 1), despejando cerca de 13 milhões de m³ de rejeitos de minério de ferro (PEREIRA; CRUZ; GUIMARÃES, 2019), o rompimento causou 259 mortes e o desaparecimento de 11 pessoas, além de causar danos sociais, econômicos e ambientais de larga escala. (LINHARES, 2020).

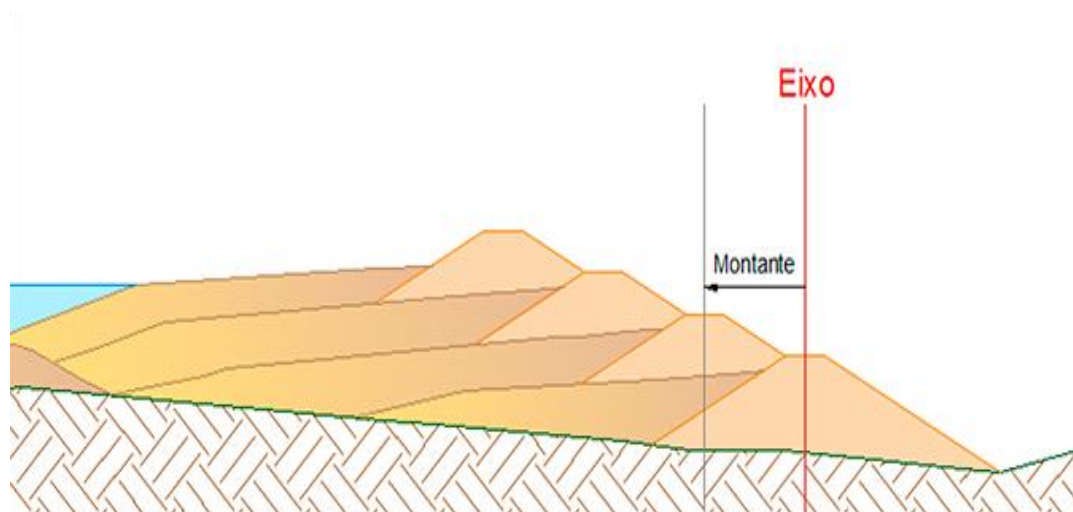
Figura 1. Localização da Mina Córrego do Feijão e das áreas atingidas pelo rompimento.



Fonte: SEMAD (2019).

A barragem Mina Córrego do Feijão se trata de um complexo com 13 estruturas para disposição de rejeitos, regulação de vazão e retenção de sedimentos. Ela foi construída a partir de 1976 pela Ferteco, empresa adquirida pela Vale S.A, devido a isso, existe pouca documentação referente aos projetos de construção do empreendimento (BRASIL, 2019b). O tipo de barramento utilizado é de alteamento à montante (FIGURA 2), caracterizado por se tratar de diques “rio acima”, implantados sucessivamente sobre os próprios rejeitos depositados, que apesar de mais barato, oferece mais riscos. Na barragem B1 de Brumadinho, foram feitos dez alteamentos (BRASIL, 2019b).

Figura 2. Esquema de funcionamento de barragem à montante.



Fonte: VALE (2020).

A barragem estava há três anos sem receber rejeitos minerais e passava por monitoramentos periodicamente (SILVA, 2019). Porém, conforme o parecer 007-2019 da Agência Nacional de Mineração, foram encontradas informações inconsistentes quanto a Barragem I que não teriam sido formalmente reportadas à Agência, de acordo com o determinado pelas normas que regem a mineração no Brasil.

Na análise do Relatório de Revisões Periódicas de Segurança de Barragens e o Relatório de Segurança Regular realizados no ano de 2018, foi concluído que as constatações a respeito da estabilidade da barragem foram baseadas em dados subjetivos devido à falta de informações consistentes, principalmente no que se trata das primeiras etapas construtivas. A empresa de consultoria responsável por elaborar os relatórios foi omissa no sentido de não exigir todos os testes e ensaios necessários para que a confiabilidade dos resultados fosse maximizada, principalmente quanto à estabilidade em situação não-drenada (BRASIL, 2019).

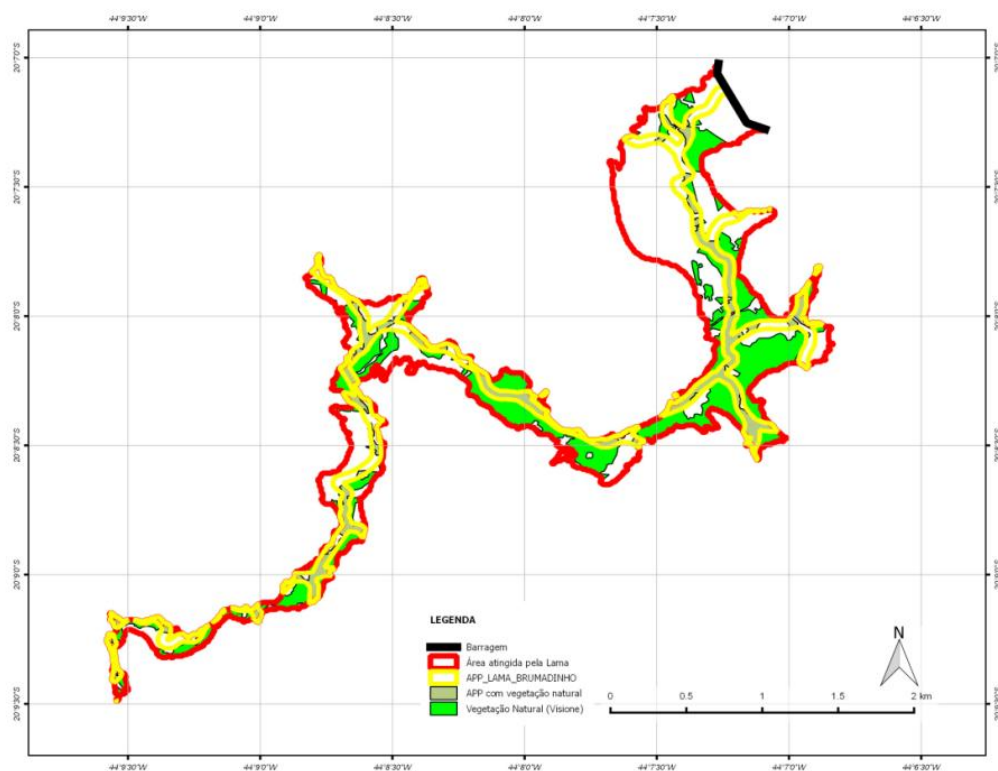
Foi constatada a existência de lençóis no reservatório da Barragem I que possivelmente indicavam a dificuldade na drenagem natural do local, sendo que, todos os materiais depositados na área ao longo do tempo teriam dificuldade para se dispersar. Essa condição pode contribuir para a formação de camadas com estabilidades diferentes e variação na umidade entre estas camadas, o que não estava previsto no projeto original do empreendimento (BRASIL, 2019). Convém frisar, que não foi incluída no SIGBM qualquer informação indicativa de risco de rompimento, pela sociedade empresarial Vale S.A., chegando, inclusive, a enviar uma declaração da condição de estabilidade da

Barragem I, entregue no sistema SIGBM em 26 de Setembro de 2018, que atestava a estabilidade da barragem e a classificação de risco como baixa (BRASIL, 2019b).

A empresa nem mesmo se atentou para os riscos que corriam os próprios funcionários. A localização das áreas administrativas ficava muito próxima da barragem (FIGURA 1), aproximadamente 1km, diretamente a jusante da Barragem I, na linha dos rejeitos, de forma que essas áreas foram atingidas poucos segundos após o rompimento (SEMA, 2019). O estimado é que no momento do acidente houvesse no local 613 trabalhadores da própria empresa e 28 terceirizados (BRASIL, 2019b).

Os rejeitos atingiram aproximadamente 300 ha de terra que circundavam o leito do rio Paraopeba, afetando edificações familiares, corporativas, áreas de atividade agrícola, vias de circulação (PEREIRA; CRUZ; GUIMARÃES, 2019), parte da comunidade Vila Ferteco e a Pousada Nova Estância que recebia um fluxo considerável de turistas (SILVA, 2019). Em análise realizada da barragem da Mina Córrego do Feijão até a confluência com o rio Paraopeba, realizada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Informações Ambientais (Cenima) do IBAMA, foram atingidos 70,65 hectares de Áreas de Preservação Permanente (Figura 3) e 133,27 hectares de vegetação nativa de Mata Atlântica (IBAMA, 2019).

Figura 3. Áreas de preservação permanente e vegetação nativa atingidas pelo rompimento da Barragem I.



Fonte: IBAMA (2019).

Segundo Pereira, Cruz e Guimarães (2019), 65% da vegetação do local estava conservada e cerca de 26% estava em estágio intermediário de conservação. Considerando que a presença de metais pesados e minério fino nos rejeitos gerados no QF apresentam alto potencial de contaminação, toda essa vegetação em estado avançado de desenvolvimento foi completamente comprometida, incluindo a biodiversidade existente nela.

Além dos danos ambientais, a comunidade circundante ao desastre também foi drasticamente afetada, com perda de moradias e propriedades inteiras, além da infraestrutura e áreas de trabalho (BRASIL, 2019b). Em comparação com os habituais latossolos e cambissolos predominantes na região, o solo da área atingida era relativamente mais fértil e propício para agricultura de maneira que uma extensão considerável de agricultura anual foi atingida pelos rejeitos (PEREIRA; CRUZ; GUIMARÃES, 2019).

Povos como a comunidade indígena Pataxó Hã-hã-hãe que vive as margens do Rio Paraopeba e tirava boa parte do sustento do rio, além de outras atividades como recreação, são um exemplo da proporção que tal acontecimento chegou. A ligação dos povos Pataxó Hã-hã-hãe com a água, não está apenas relacionada a perda material, se trata de uma questão cultural e até religiosa da qual o dano não pode ser mensurado (SILVA, 2019). O desastre de Brumadinho, seguindo o ocorrido em Mariana no ano de 2015, causou danos imensuráveis em âmbito ambiental, econômico e social, porém, mesmo diante da dificuldade em estimar essas perdas é necessário que elas sejam apontadas a fim de possibilitar a responsabilização dos responsáveis de maneira justa (BRASIL, 2019b).

4.3 MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO

A cobertura do solo pode ser caracterizada como a camada bio(física) que cobre a superfície terrestre, compreendendo também a camada sub superficial logo abaixo. Dessa forma, a cobertura do solo compreende a topografia, biota, vegetação, água superficial e subterrânea, o próprio solo, e ainda, qualquer edificação construída por humanos que esteja estabelecida no determinado local. Já o uso, tem a ver com os objetivos pelos quais os seres humanos utilizam a cobertura do solo, sendo, portanto, resultado de aspectos socioeconômicos, culturais, políticos e as demais questões ligadas ao interesse humano (CARVAJAL;PABON, 2016).

Diversos serviços ecossistêmicos essenciais para interesses do homem estão ligados a saúde do solo e sua conservação. A manutenção desse funcionamento depende do equilíbrio entre diversos fatores, mudanças externas, obviamente, causam distúrbios nesse equilíbrio, afetando a manutenção da prestação desses serviços (DA SILVA, 2020). A detecção, monitoramento e estudo dessas alterações, são essenciais para entender a dinâmica de como os fenômenos de mudança no uso e cobertura do solo ocorrem, tanto com relação ao caráter antrópico, quanto ao natural desse processo (RIEDEL; DEMARCHI; PISANI, 2016).

As mudanças que ocorrem no uso do solo podem ser classificadas segundo a intensidade da ação humana no local, compreendendo desde o uso para culturas agrícolas de baixo impacto, até a total modificação em grandes metrópoles ou em empreendimentos de grande porte como usinas hidrelétricas, que dependem do alagamento de grandes áreas para garantir sua geração de energia. Essas transformações acontecem de formas diferentes de acordo com a parte do mundo que é analisada, tanto em relação à porção de terra dedicada a cada tipo de uso, quanto à quantidade de tempo que este uso é adotado (CARVAJAL;PABON, 2016).

A cobertura terrestre pode sofrer alterações decorrentes de ações diretas ou indiretas, sendo que as indiretas são resultado de uma série de variáveis de diferentes escalas e níveis de influência, um exemplo seriam as mudanças ocasionadas pela variação climática que é decorrente de uma série de fatores locais e mundiais. Conjuntamente, é importante destacar que a cobertura do solo está passível de sofrer dois processos, a própria modificação que não altera sua classificação geral, apesar de afetar seu caráter, e a conversão que trata-se da mudança total da cobertura, sendo esta substituída por outra (CARVAJAL;PABON, 2016).

Existe quase um processo sequencial para as transições, segundo Carvajal e Pabon (2016), há primeiramente a transformação inicial da vegetação, passando para a agricultura de subsistência até alcançar a agricultura intensiva, por fim, chegando ao que temos em centros urbanos. Nem todas as mudanças ocorrem de forma linear, podendo transitar entre os estados ou pular fases segundo as necessidades e interesse da população em questão ou até mesmo podem ser resultado de ocorrências não intencionais como no caso de desastres ambientais decorrentes de ações humanas ou naturais.

Mudanças de uso e cobertura do solo possuem capacidade de interferir drasticamente no funcionamento de ecossistemas e na biodiversidade do planeta. Essa

interferência pode ser visualizada em inúmeros fenômenos ambientais, como fatores climáticos de diferentes escalas, alterações no balanço hídrico e balanço energético, fragmentação de habitats, conservação de espécies (RIEDEL; DEMARCHI; PISANI, 2016). Também é evidente a importância da saúde do solo em aspectos mais diretamente ligados a ele, a partir da ciclagem de nutrientes, decomposição e demais processos que ocorrem no solo, é garantido o fornecimento de água, alimento e commodities em geral. Porém, a eficiência desses processos depende da diversidade da biota, biomassa e manutenção da saúde do solo em geral (DA SILVA, 2020).

O uso intensivo do solo de maneira antinatural interfere física, química, e biologicamente em sua composição, reduzindo a biomassa e prejudicando a diversidade e abundância de biota existente nele. Consequentemente, como em um efeito cascata, todos os processos subsequentes são afetados (DA SILVA, 2020). Um dos serviços ecossistêmicos que mais sofrem com a mudança no uso e ocupação de solo, é o de polinização, sendo que as populações envolvidas neste serviço, em sua maioria, são sensíveis a mudanças bruscas de habitat. No Brasil, boa parte da produção agrícola depende de polinizadores silvestres e tem sido observado um declínio nas populações, ameaçando esta produtividade (BARBOSA, 2020).

Segundo Barbosa (2020), até 2030 a demanda por polinização em áreas de produção agrícola, aumentará em aproximadamente 40%, ao passo que, devido às mudanças de uso e ocupação de solo, a oferta de polinizadores nas diferentes classes, diminuirá em média 3%. Levando esses dados como ponto de referência para outros serviços ecossistêmicos, nos vemos na iminência de um colapso em relação à demanda e oferta de recursos naturais.

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil - MapBiomass (2020), se trata de uma iniciativa colaborativa entre especialistas de diversas áreas relacionadas aos sistemas de informações geográficas, uso da terra e biomassas. Através de classificadores automatizados, o projeto tem gerado séries históricas relacionadas ao uso e cobertura do solo no Brasil.

Segundo as estimativas do MapBiomass, de 1985 a 2019, o Brasil perdeu aproximadamente, apenas de vegetação nativa, cerca de 10,25% do território nacional, totalizando 87,2 milhões de hectares de áreas naturais extraviadas. Mais da metade dessa perda aconteceu no Bioma Amazônico, porém, em termos proporcionais, os resultados mais preocupantes ficaram com o Cerrado, tendo uma perda de 21,3%,

Pampa com 20%, e Pantanal, chegando a 12% de vegetação nativa perdida (Projeto MapBiomass, 2020).

Na Mata Atlântica, bioma historicamente superexplorado, as estimativas revelaram que a área de infraestrutura urbana cresceu 2,5 vezes no período estudado, chegando, portanto, a abrigar 57% das áreas urbanas do país. Além disso, o bioma ainda teve a área agrícola dobrada ao longo dos anos, o que reflete a realidade de todo o país. De modo geral, o setor agropecuário protagonizou boa parte das mudanças ocorridas no território brasileiro, sendo responsável por 90% das perdas de vegetação natural (Projeto MapBiomass, 2020).

Como citado, o setor agropecuário é responsável por grande parte das conversões de ecossistemas naturais. Porém, considerando que o agronegócio é responsável por cerca de 22% do PIB nacional (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2019), é inegável sua importância, no mínimo no que se refere ao aspecto econômico. O que precisa de adaptação é a maneira como essa produção ocorre, uma revisão de metodologias se vê como necessária para evitar que se chegue a um ponto em que o setor seja insustentável até para ele mesmo (CARLOS; CUNHA; PIRES, 2019).

Nem todas as mudanças de uso e ocupação do solo permitem algum tipo de aproveitamento ou revisão de métodos. Quando se trata de rejeitos de minério de ferro, por exemplo, a contaminação geoquímica afeta toda a biodiversidade existente na região atingida. Após o ressecamento, a camada rígida que se forma, impossibilita a regeneração do local (PEREIRA; CRUZ; GIMARÃES, 2019). A contaminação por rejeitos de minério de ferro pode ser classificada como um impacto de longo prazo, sua ação altera o pH do solo e o desestrutura. O rejeito, não possui matéria orgânica, chegando até mesmo a ser tóxico (DAS DORES, 2017).

Existe necessidade de maior controle e monitoramento no que diz respeito à ordenação do território brasileiro, porém, dificuldades em relação a sua grande extensão e até mesmo o histórico de como ele foi ocupado, dificultam esse controle. O processo de ordenação do território brasileiro, como um todo, foi permeado por conflitos econômicos e sociais, de maneira que conflitos fundiários são comuns (DA SILVA ANDRADE; ANDRADE, 2016).

Em meio a esse desordenamento e as relações repletas de hostilidade ao redor dele, a sustentabilidade ambiental por muito tempo nem mesmo foi considerada, e após o reconhecimento de sua importância, apenas se somou a mais um dos aspectos

conflituosos (DA SILVA ANDRADE; ANDRADE, 2016). Através de legislações ambientais como a Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais), busca-se normatizar e apontar delitos contra a ordenação do território com foco no aspecto ambiental (BRASIL, 1998).

4.4 VALORAÇÃO ECONÔMICA DE RECURSOS E DANOS AMBIENTAIS

4.4.1 VALORAÇÃO ECONÔMICA AMBIENTAL

Como sugerido pelo nome, valoração ambiental se trata justamente de determinar um valor econômico para um recurso ambiental, visando permitir a associação entre o bem ou serviço ambiental e outras variáveis econômicas. (FREEMAN; HERRIGES; KLING, 2014). Ela é constituída por um conjunto de métodos e técnicas, ainda em evolução, que possuem o intuito de chegar a esses valores da maneira mais íntegra possível. Usualmente os melhores resultados são encontrados quando vários métodos são utilizados em conjunto, devido às limitações de cada um deles em relação à complexidade desse tipo de valoração (CONSTANTINO et al, 2018).

Há a necessidade de ir além do valor intrínseco da natureza, lhe acrescentando um valor instrumental, sendo este, de dimensionamento mais palpável, oferecendo melhor base e justificativa para gestão ambiental (FREEMAN; HERRIGES; KLING, 2014). Questões de condicionamento impossível apenas através de critérios ambientais e ecológicos, por meio de indicadores socioeconômicos, podem ser mais bem explicadas, e isso apenas é praticável com a atribuição de valor econômico ambiental (ALVES, 2016).

De modo geral, é difícil a mensuração do valor e importância dos serviços ambientais, mesmo para profissionais e estudantes da área. Para um indivíduo fora desse meio, à compreensão da importância em manter o funcionamento equilibrado do meio ambiente pode ser mais obstruída ainda, de maneira que, usar uma variável mais palpável pode facilitar o entendimento (ALVES, 2016). A maior dificuldade no processo de encontrar esse valor econômico está talvez relacionada à necessidade de encontrar um valor monetário que seja suficiente para compensar o valor intrínseco, sem que este valor deixe de fazer sentido economicamente, se comparado a outros bens materiais (MAGLIANO, 2019).

O problema é que não existem “mercados aparentes” ou apenas “mercados muito imperfeitos”, para o estabelecimento de padrões de valoração, tornando a mensuração difícil e delicada (MAGLIANO, 2019). Alguns métodos chegam a utilizar mercados hipotéticos, simulando as condições existentes no mundo real, na busca por atribuir um valor justo ao bem ambiental, caso existisse um mercado real que o absorvesse (ALVES, 2016).

Vários tipos de valores podem ser atribuídos ao meio ambiente. O valor de uso direto se trata daquele dado a um recurso ambiental e os benefícios que ele proporciona, de forma direta. O valor de uso indireto está relacionado com o benefício advindo do serviço ecossistêmico adquirido a partir desse recurso ambiental. O valor de opção se trata daquele atribuído a benefícios que ainda não foram descobertos, que eventualmente poderiam ter uso, por exemplo, no desenvolvimento de novas tecnologias. Por fim, existe o valor de existência, que está associado a vínculos entre o meio ambiente e as pessoas, esse valor é baseado na necessidade em manter a existência do meio ambiente, sendo que essa necessidade, nesse caso, é motivada por questões altruístas, éticas, culturais ou morais (MPF, 2014).

Os métodos de valoração ambiental permitem estimativas de custos e benefícios diretos e indiretos tanto em relação a aspectos qualitativos quanto quantitativos dos bens e serviços ambientais (CONSTANTINO et al, 2018). Os benefícios obtidos por meio dos processos ocorridos no meio ambiente, que não fornecem bens físicos diretamente, são denominados serviços ecossistêmicos (FEARNSIDE, 2018). A maioria desses serviços não são quantificados ou até mesmo percebidos, por se tratar de bens comuns, mas têm importância significativa no bem estar humano e até em atividades economicamente produtivas, tornando possível uma estimativa da sua contribuição (RIBEIRO et al, 2015).

Ribeiro et al.(2015), estimou o ganho econômico decorrente da polinização por abelhas no estado de Goiás entre os anos de 2000 e 2012, chegando a um valor de 14,9 bilhões de reais, sendo portanto, cerca de 1 bilhão e 70 milhões de reais, por ano, tendo relação direta com o serviço ecossistêmico realizado pelas abelhas. Os autores ainda destacam que a estimativa foi feita de forma a subestimar os ganhos reais, além de apenas considerar o ganho quantitativo, sem levar em conta os benefícios qualitativos, os quais também poderiam ser mencionados em um estudo mais detalhado.

Os resultados encontrados no estado de Goiás são reflexos da realidade de culturas agrícolas em todo o mundo. Variadas espécies com seus diferentes

polinizadores, são dependentes deste serviço ecossistêmico. Giannini et al (2015), ao analisarem 141 culturas agrícolas, encontraram que 85 são dependentes de polinizadores, tendo 30% da produção total, devido a polinização, e, portanto, às condições ambientais que possibilitam sua perpetuação.

A polinização é apenas um dos muitos serviços ambientais, e mesmo que ainda não existam métodos totalmente precisos para sua valoração, existem muitos estudos e considerável avanço neste sentido (FEARNSIDE, 2018). Os bens e serviços dos ecossistemas terrestres estão passando por mudanças drásticas decorrentes da influência antrópica, a valoração econômica pode ser vista como uma forma de conscientização a respeito dessas mudanças (CONSTANTINO et al, 2018).

4.4.2 VALORAÇÃO DE DANOS AMBIENTAIS

Danos ambientais consistem em lesões que agredem a composição e funcionamento dos ecossistemas e sua biodiversidade, podendo afetar o meio ambiente química, física e biologicamente. Considerando que o meio ambiente é garantido como um bem de uso comum do qual depende a continuidade da vida na terra, há a necessidade de reparação desses danos (MAGLIANO, 2019). A reparação ocorrerá de acordo com a natureza da modificação sofrida, podendo ser dividida em três modalidades, reparação *ex situ*, reparação *in situ* e indenização pecuniária (ROQUETTE, 2019).

Na reparação *in situ* há a recuperação ou restauração do próprio local onde ocorreu o dano, se esta for impossibilitada por alguma questão, a recuperação será *ex situ*, ou seja, feita em outro ambiente de maneira equivalente ao dano ocorrido originalmente e quando nenhuma das duas opções é viável, ocorre a indenização pecuniária (ROQUETTE, 2019). Nesse contexto surge a necessidade de precificação do dano ambiental, que deverá atribuir um valor monetário equivalente ao dano ocorrido (MAGLIANO, 2013).

A valoração de danos ambientais, em comparação com a valoração dos recursos ambientais, apresenta maior quantidade de empecilhos. Apesar de estar de certa forma associada à valoração dos recursos e serviços ambientais, tendo de considerar as questões ecológicas, sociais, de valor espiritual e todas as outras variáveis envolvidas, os dois processos não são equivalentes (MPF, 2014). Além da dificuldade encontrada na própria valoração do recurso, a valoração dos danos ao meio ambiente, recebe ainda, o adendo relacionado ao tipo de dano e culpabilidade envolvida. Isso

acontece de tal forma que existe uma escassez de estudos conclusivos a respeito do tema (MAGLIANO, 2013).

Recentemente há uma dedicação maior da economia no sentido de dar valor a bens e serviços públicos, o mesmo acontece na questão ambiental, sendo discutidos vários métodos para fazê-lo e premissas para que estes gerem estimativas confiáveis. A eficácia dos métodos depende do cuidado com que são aplicados, do rigor quanto à metodologia, confiabilidade e disponibilidade dos dados utilizados. Para a valoração dos danos ambientais é necessário seguir a mesma linha de pensamento, para que ao final, o método seguido tenha uma base robusta e fundamentada (MAGLIANO, 2019).

A valoração monetária dos danos ambientais precisa ser feita de forma que as partes envolvidas, mesmo sem conhecimento técnico, consigam reconhecer a precisão do método utilizado. Este procedimento é passível de muitos questionamentos, quanto a teoria utilizada, técnica e até a própria forma de execução. Sendo necessária, portanto, meticulosidade metodológica, boas justificativas a respeito das conclusões encontradas e averiguação das limitações do método escolhido (MPF, 2014). Seguindo esses procedimentos é possível trabalhar com uma ferramenta de grande potencial para a gestão ambiental (ROQUETTE, 2019).

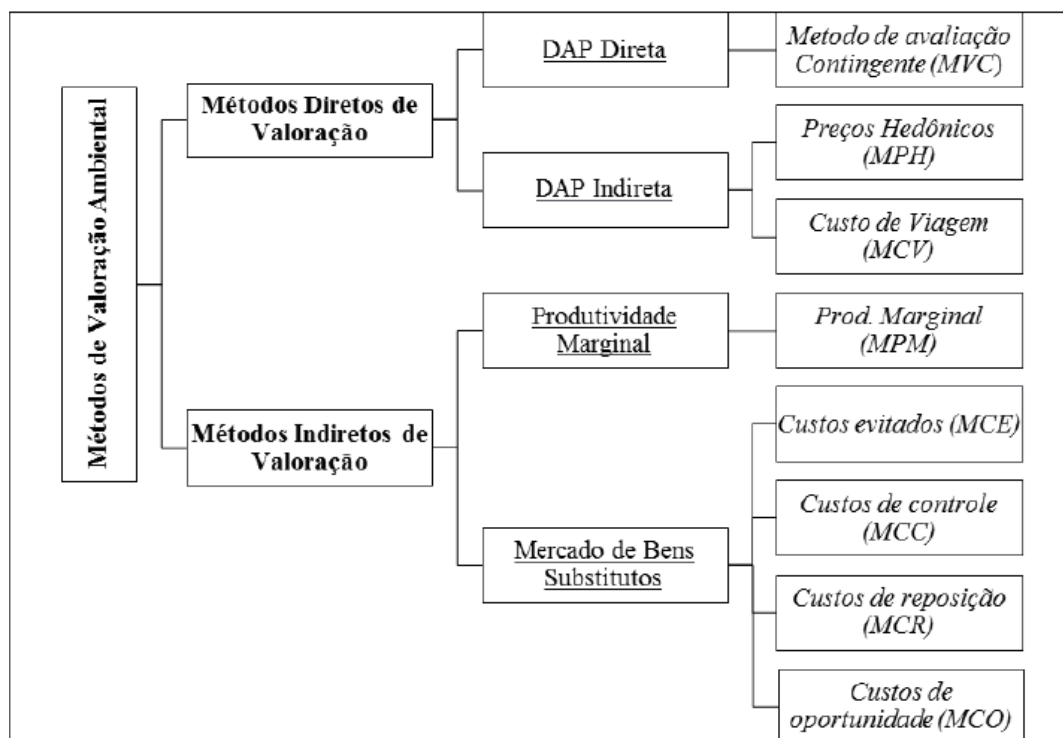
A atribuição de valor monetário para o dano ambiental é uma ferramenta especialmente interessante quando a situação não permite uma reparação efetiva do dano ambiental (ROQUETTE, 2019). Mesmo que muitos valores ambientais ainda não sejam devidamente mensurados, de forma que haja um consenso com relação ao valor que eles possuem, as decisões de políticas ambientais não podem ser postergadas devido a isso, assim, há necessidade de estudar e testar essa ferramenta de maneira que a valoração dos danos ambientais se torne mais robusta e embasada, alcançando todo seu potencial como artifício da gestão ambiental (MAGLIANO, 2019).

4.4.3 MÉTODOS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL

Os métodos de valoração podem ser divididos em diretos e indiretos. O método direto mensura o valor do bem ou serviço ambiental por meio de mercados hipotéticos ou bens complementares e tem relação com a disposição de pagamento das pessoas por aquele determinado bem ou serviço. Na valoração indireta busca-se simplificar e diminuir os custos para obtenção do valor, a estimativa é feita com relação ao valor de uso, sendo relacionada aos prejuízos aos produtos comercializáveis no mercado (KLOTZ, 2019).

Na Figura 4 é possível visualizar um esquema com os principais tipos de métodos diretos e indiretos e suas subdivisões:

Figura 4. Métodos de valoração ambiental



Fonte: Constantino et al. (2018)

Método de Valoração de Contingente – Leva em consideração a Disposição a Pagar (DAP) e, ou, a Disposição a Aceitar a Compensação (DAC) pela perda ou indisponibilidade do serviço ou bem, utiliza mercados hipotéticos para traçar as curvas de demanda do determinado bem ou serviço (MAGLIANO, 2019).

Preços Hedônicos – Valor implícito da utilidade de atributos ambientais, a partir do preço dos imóveis. Leva em consideração valores de uso direto e indireto ao se basear nas preferências reais dos imóveis (MAGLIANO, 2019).

Custo de Viagem – Valor baseado na procura por atividades recreativas em locais com patrimônio ambiental, baseado nos custos para se obter essa recreação. Ex: transporte, taxas, estadia, etc. (CONSTANTINO et al., 2018).

Produtividade Marginal – Baseado na variação de atividades econômicas em função das alterações de parâmetros ambientais (CONSTANTINO et al., 2018).

Custo Evitado – Valor estimado a partir do que é gasto para prevenção ou diminuição de danos ao meio ambiente (CONSTANTINO et al., 2018).

Custo de Controle – Estima o custo a partir do valor gasto no controle dos danos ambientais com objetivo de prevenir a perda de qualidade de recursos e bens ambientais (CONSTANTINO et al., 2018).

Custo de Reposição – Valor estimado a partir do custo para a reparação ou reposição de bens ou serviços ambientais que supostamente possam ser totalmente ressarcidos (MAGLIANO, 2019).

Custo de Oportunidade – Valor estimado a partir da perda de renda decorrente da necessidade de preservação e conservação dos recursos naturais (CONSTANTINO et al., 2018).

De acordo com Constantino et al. (2018), em análise de trabalhos realizados entre os anos de 2005 a 2015, o principal método utilizado foi o de Valoração Contingente, chegando a marca de 57,69% do total de pesquisas analisadas, e em 19,23%, os autores utilizaram mais de um método à fim de obter resultados mais abrangentes.

4.4.4 MÉTODO DA CAPITALIZAÇÃO DA RENDA

O método de capitalização de renda, também conhecido como método da renda, define o valor presente (VP) do bem, com base na sua renda líquida prevista. Trata-se de um método utilizado em avaliações de empreendimentos imobiliários como hotéis, shoppings e outros, porém, pode ser empregado em outros tipos de empreendimentos ou negócios (KLOTZ, 2016; ESPÍRITO SANTO, 2011).

A premissa do método de capitalização de renda é que o valor de um determinado bem é função de sua capacidade de gerar renda. Mesmo os bens que não podem ser reproduzidos ou são encontrados no mercado, como serviços ecossistêmicos, riosse jazidas, podem gerar renda, sendo, portanto, passíveis de serem avaliados segundo o método de capitalização de renda (FARIAS, 2018). A utilização do método depende da determinação da taxa de juros “i” e do período de capitalização “n” a ser considerado de acordo com o bem estudado.

De acordo com Klotz (2016), quando o número de períodos for finito e dado por “n” anos com renda anual “R”, o Valor Presente (VP) de uma renda futura é dado pela equação:

$$VP = R \left(\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} \right) \quad (1)$$

onde:

R = renda;

i = taxa de juros em decimal;

n = nº de períodos;

Quando o número de períodos tender ao infinito, o VP de uma renda constante no tempo será equivalente ao somatório de cada uma das rendas, podendo ser calculado pela equação:

$$VP = \frac{R}{i} \quad (2)$$

Roquete (2019) propôs metodologia para valoração dos danos Ambientais irreversíveis seguindo o princípio da capitalização de renda, mas além da renda considerou o custo de reposição de forma que obteve a seguinte equação:

$$VDAip = \frac{BF + CR}{i} \quad (3)$$

Em que:

VDAip = Valor dos Danos Ambientais irreversíveis e perpétuos (R\$.ha-1);

BF = Benefício Financeiro (R\$.ha-1);

CR = Custo de Restauração (R\$.ha-1);

i = Taxa de Juros (a.a.);

No cálculo do valor presente, a taxa de juros ou taxa de desconto é uma variável de extrema importância e de mensuração difícil, principalmente se tratando da valoração econômica de um bem em horizonte infinito, já que deixa de ser representativa das condições de mercado ao longo do tempo (FERREIRA, 2018). Na utilização do método de capitalização de renda para imóveis, são comuns taxas de juros variando entre 8,7% e 10% ao ano, já quando se trata da valoração de danos ambientais, é comum que se situe ao redor de 6% ao ano (KLOTZ, 2016).

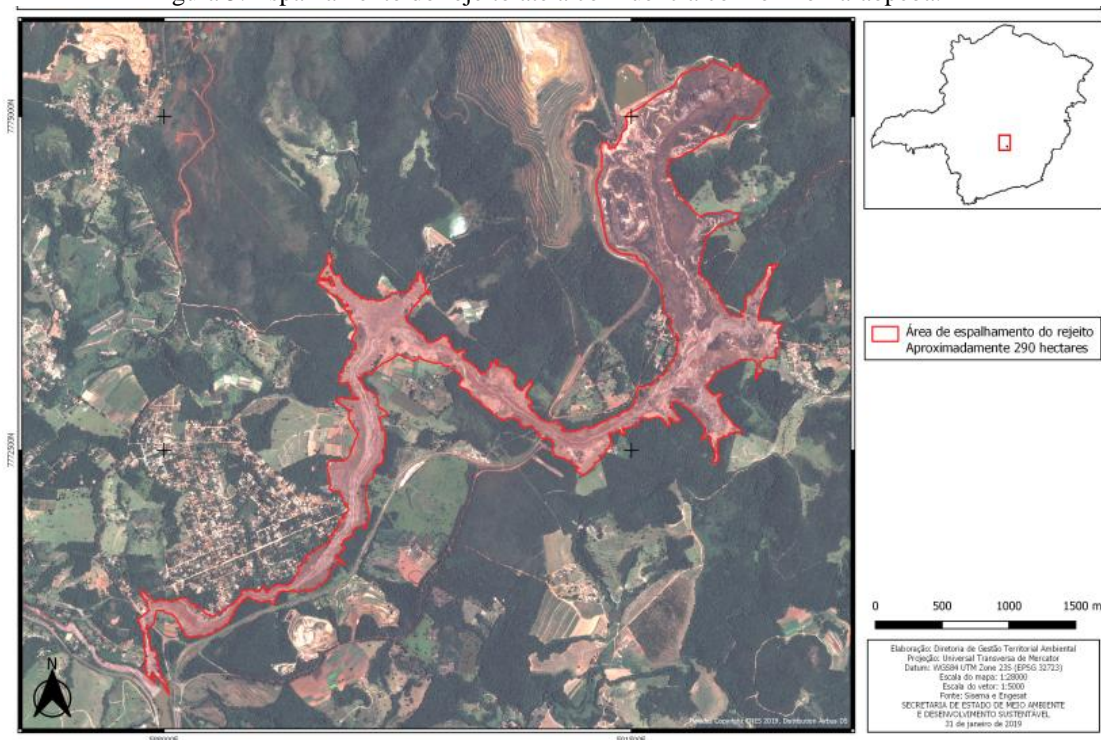
No caso da valoração ambiental, taxas de desconto muito altas subestimariam o valor dos serviços ambientais em longo prazo e taxas muito baixas colocam um peso muito grande às gerações futuras em detrimento das atuais. Quando os danos forem mais facilmente reversíveis ao longo do tempo há a recomendação do limite superior de 8% ao ano e no caso em que há incerteza de recuperação, o limite inferior aconselhável seria de 3% ao ano (INSTITUTOS LACTEC, 2018).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Com o rompimento da Barragem B1 da Mina Córrego do Feijão foram despejados 13 milhões de m³ de rejeitos de minério de ferro atingindo uma área de aproximadamente 300ha (Figura 5). Compreendendo a área atingida, foram afetados afluentes do Rio Paraopeba, parte do município de Brumadinho (MG), e pessoas que estavam próximas a área, chegando ao número de 270 fatalidades diretas (BRASIL, 2019b).

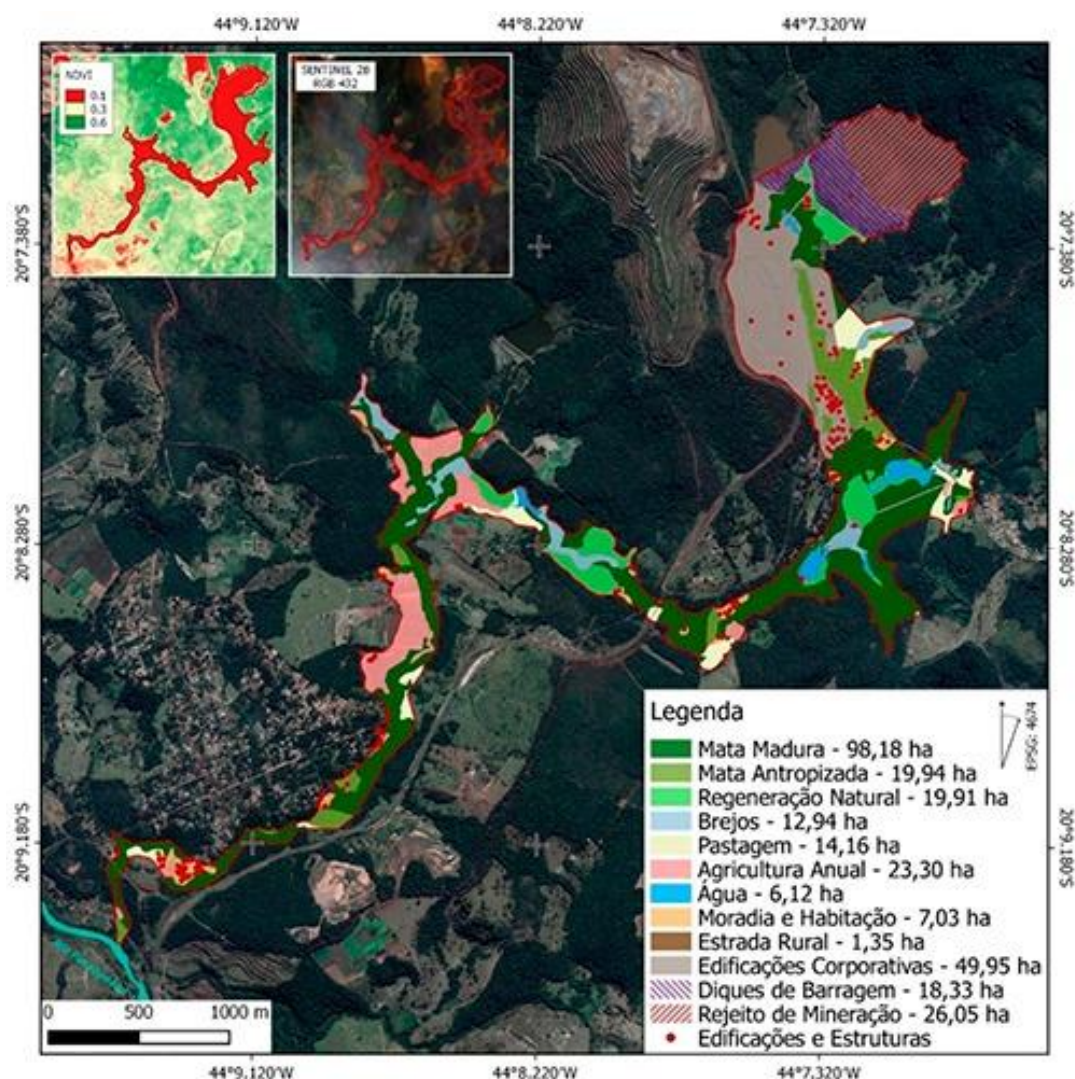
Figura 5. Espalhamento do rejeito até a confluência com o Rio Paraopeba.



Fonte: SEMAD (2019)

Como consequência, toda a superfície afetada pelos rejeitos tornou-se inutilizável por tempo indeterminado, perdendo suas funções e usos anteriores. Para a valoração dos danos a vegetação natural, pretendida neste trabalho, é necessário ter-se o conhecimento das classes de uso anteriores, sendo assim, serão utilizados como base os dados encontrados por Pereira, Cruz e Guimarães (2019) no artigo “Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra” que elaboraram mapa da cobertura original do local atingido (Figura 6).

Figura 6. Área coberta pelos rejeitos e cobertura original das terras anteriormente.



Fonte: Pereira; Cruz; Guimarães (2019)

Na publicação de Pereira Cruz e Guimarães (2019), os autores trabalharam através do Sistema de Informações Geográficas e imagens de satélites, de forma que foi possível fazer a identificação do que era encontrado na área antes desta ser atingida pelos rejeitos. Sendo oferecido o número de hectares perdidos para cada classe de uso identificada e o local onde se encontrava essa classe.

5.2 VALORAÇÃO DOS RECURSOS AMBIENTAIS

A fim de levantar uma estimativa do valor dos danos a vegetação de Mata Atlântica ocorridos, foi utilizado o método proposto pela NBR 14653 em sua Parte 6- Recursos naturais e Ambientais.

De acordo com a norma o valor econômico do recurso ambiental pode ser expresso por:

$$\text{VERA} = \text{VU} + \text{VE} \text{ ou } \text{VERA} = (\text{VUD} + \text{VUI} + \text{VO}) + \text{VE}$$

onde: VERA = valor econômico do recurso ambiental VUD = Valor de uso direto VUI = Valor de uso indireto VO = Valor de opção VE = Valor de existência.

De acordo com o Método de Valoração de Contingência, um dos mais utilizados em trabalhos acadêmicos a respeito de valoração ambiental, o valor de um bem pode ser mensurado a partir da disposição a pagar (DAP) e aceitar (DAA), mesmo que baseado em mercados hipotéticos (CONSTANTINO et al., 2018). Para a determinação do Valor de Existência, foi considerado o valor determinado pelo Valor de Terra Nua (VTN), estabelecido pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER- MG). O VTN se trata de um informativo de preços médios coletados anualmente nos municípios de Minas Gerais que são conveniados com a Empresa (EMATER-MG, 2018).

Os valores são estimados a partir de uma Comissão constituída de técnicos da EMATER-MG, Prefeitura Municipal, Sindicatos Rurais, Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural (CMDRS), Cooperativas, Representantes de Associações Comunitárias, Corretores de Imóveis, Imobiliárias, Lideranças Locais, Produtores Rurais, entre outros. Várias variáveis como aptidão agrícola, disponibilidade de água e fertilidade, são consideradas para o cálculo do preço, de forma que no VTN é considerado o valor venal do imóvel, sendo subtraídos valores de benfeitorias, investimentos necessários à produção, correções e culturas perenes (EMATER-MG, 2018).

Os Valores de Terra Nua são utilizados pela Receita Federal como referência na apresentação ou retificação da Declaração do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (DITR). Sendo inclusive, disponibilizado os VTN de vários estados do Brasil no site da Receita Federal, sendo estes informados diretamente pelos municípios ou pelos órgãos estaduais como no caso da EMATER-MG (RECEITA FEDERAL, 2019).

Os dados coletados correspondem ao ano de 2018 por este representar de maneira mais verossímil o valor da área antes do rompimento da Barragem B1, primeiramente considerando-se o menor lapso temporal já que o valor corresponde ao fim do ano de 2018, e o desastre ocorreu em Janeiro de 2019, e em uma segunda consideração, pelo fato de que os resultados do ano de 2019 sofreram influência do ocorrido, sendo assim, não correspondentes a uma valoração da área antes do desastre.

No ano citado o valor estimado para cada hectare de área com preservação de Fauna ou Flora, foi de R\$ 17.000,00 (EMATER-MG, 2018).

Para definição dos Valores de Uso Indireto, Direto e de Opção tomou-se por base publicação feita por Robert Costanza e outros autores, que em meados de 1990 fizeram uma estimativa do valor econômico da biosfera, para isso avaliaram diferentes tipos de serviços ambientais, incluindo os diferentes tipos de valores encontrados para eles, inclusive para Florestas Tropicais, na Tabela 3, são encontrados os valores determinados pelos autores, em dólares (Costanza et al., 1997).

Tabela 3. Valores para floresta tropicais.

Serviço	ValorUS\$ (ha/ano)
Regulação Climática	223
Regulação de distúrbios	5
Regulação de água	6
Suprimento de água	8
Controle de erosão	245
Formação de Solo	10
Reciclagem de nutrientes	922
Tratamento de rejeitos	87
Produção de alimentos	32
Matéria prima	315
Recursos genéticos	41
Recreação	112
Cultural	2
Total	2007

Fonte: Adaptado de Costanza et al.(1997)

No intuito de atualizar as estimativas encontradas neste primeiro estudo, foi realizada uma nova publicação Costanza et al. (2014), onde foram revisados os valores encontrados para os serviços ecossistêmicos dos ecossistemas florestais estudados, havendo a atualização para o ano de 2011. Dessa forma o valor para florestas tropicais que anteriormente estava em torno de U\$ 2.000,00 ha/ano foi atualizado para U\$5.382,00 ha/ano.

Visando atualizar os valores informados por Costanza et al. (2014) relativos ao ano de 2011, para o ano de 2019, primeiramente foi realizada a transformação para Real. Utilizando a cotação média de junho/2011 (R\$ 1,5879/U\$ 1,00), chegou-se ao

valor de R\$ 8.541,23 ha/ano. Foi optado o uso da cotação do ano no qual o estudo foi realizado, a fim de obter-se resultados mais condizentes, levando em conta que a flutuação cambial ao longo dos anos pode ser muito intensa.

Seguindo-se metodologia utilizada por Klotz (2016), para a atualização dos valores do ano de 2011, foi utilizado o Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC). No período de 01 de Julho de 2011 até o dia 24 de Janeiro de 2019, um dia antes do rompimento, houve variação de 52,52%. Considerando a variação do período, chegou-se no valor atualizado de R\$ 13.027, 08 ha-1.ano-1. A correção pelo INPC suaviza a correção dos valores encontrados por Costanza et al. (2014), além de ser uma representação mais fiel do ano referencial de 2011, do que a conversão direta pela cotação do dólar do ano de 2019.

5.3 CAPITALIZAÇÃO DA RENDA

Como os valores definidos por Costanza et al. (2014), tratam-se de rendas anuais fornecidas pelas Florestas Tropicais, há a necessidade de estimar as perdas sofridas ao longo do tempo. O método de Capitalização de Renda permite a definição de um valor presente, considerando essas rendas perdidas à longo prazo, devido à degradação da vegetação natural da área.

Os danos ocorridos em decorrência do rompimento da barragem deixaram a área atingida inutilizável por tempo indeterminado e a camada de rejeitos depositada no local tem a característica de formar crosta de difícil penetração impossibilitando a regeneração natural da área e dificultando medidas de recuperação primária (PEREIRA; CRUZ; GUIMARÃES, 2019). Em casos em que há essa dificuldade de recuperação, o valor a ser compensado deve ser incorporado na estimativa de valor da área (MAGLIANO, 2019).

Considerando-se todos esses pontos achou-se por bem a adoção da estimativa considerando-se horizontes infinitos para o cálculo do valor presente da vegetação nativa perdida na área atingida em Brumadinho, sendo assim, utilizada a equação (2):

$$VP = \frac{R}{i}$$

A taxa de juros ou taxa de retorno a ser adotada foi de 5% ao ano, levando em conta que Klotz (2016) aponta taxas próximas a 6% como as mais comuns em cálculos de danos ambientais e INSTITUTOS LACTEC (2018), sugerem o limite inferior de 3% ao ano para danos com incerteza de recuperação. Seguindo metodologia sugerida por Klotz (2016), o valor das áreas em regeneração natural foi dividido por dois, devido ao

fato de que os serviços prestados por elas apenas forneceriam a mesma renda oferecida pela floresta madura após um tempo “n”, a divisão por dois assume que o aumento dos valores dos serviços ambientais oferecidos pelas áreas em regeneração irá ocorrer linearmente ao longo do tempo.

Magliano (2019) evidencia que a valoração de danos ambientais por se tratar de uma ciência multidisciplinar e complexa, precisa ser adaptada segundo as particularidades dos casos avaliados, sendo sugerido que para uma melhor estimativa de valor há a necessidade do uso dos diferentes métodos de forma que os resultados possam ser representativos da realidade. Levando em conta todas as particularidades do objeto de estudo desse trabalho e a metodologia de valoração proposta pela NBR 14653- Parte 6, o valor atribuído para os danos a vegetação nativa da área atingida em Brumadinho seria igual ao somatório do valor de existência e do valor presente das rendas futuras.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ATRIBUIÇÃO DE VALOR A DANOS AMBIENTAIS

Em análise dos procedimentos realizados após o rompimento da Barragem de rejeitos de Fundão em Mariana, Minas Gerais, observou-se a inexperiência dos órgãos brasileiros na valoração econômica de danos ambientais. A responsabilização dos agentes poluidores se deu por meio de montantes financeiros negociados para a recuperação ambiental, sem um método definido ou estudo que possibilitasse a reparação integral dos danos ocorridos (MAGLIANO, 2019).

Tal fato pode ser reflexo do cenário científico, visto que as primeiras tentativas de valoração ambiental em publicações feitas no Brasil começaram por volta de 1980 e ainda atualmente, boa parte das fundamentações teóricas ainda precisam ser baseadas em estudos estrangeiros (CONSTANTINO et al., 2018). Existe uma grande variedade de métodos para a valoração econômica ambiental, todos possuindo vantagens e limitações distintas, tornando o processo de escolha dependente de uma série de fatores nem sempre de fácil percepção (ROQUETTE, 2019).

Nesse trabalho, para a caracterização da área foi utilizado o levantamento da vegetação da área realizado com o uso de ferramentas do sistema de informações geográficas, apesar de ser talvez a única forma de se ter uma proporção das classes de uso do solo anteriores ao desastre, tal metodologia apresenta erros em relação à composição e quantificação. Apesar do uso de modelos para mitigar as incertezas a

representação do meio físico, seja ele modificado ou natural, tem uma elevada complexidade principalmente quando o estudo exige nível de detalhamento muito grande (SIMÕES et al.,2016).

6.2 VALOR ECONÔMICO DO RECURSO AMBIENTAL

Na área atingida pelo rompimento, as classes de usos encontradas pelos autores Pereira; Cruz; Guimarães (2019), e os hectares perdidos para cada uma delas estão contidas na Tabela 4.

Tabela 4. Classes de uso do solo anteriores ao rompimento da barragem.

Classe de Uso	Hectares
Mata Madura	98,18
Mata Antropizada	19,94
Regeneração Natural	19,91
Brejos	12,94
Pastagem	14,16
Agricultura Anual	23,3
Água	6,12
Moradia e Habitação	7,03

Fonte: Adaptado de Pereira; Cruz; Guimarães (2019)

Somando-se as classes de Mata Atlântica chegamos a 150,97 hectares de vegetação natural perdida. No Brasil dado a sua importância, biodiversidade e situação ameaçada o bioma é protegido pela Lei 11428/06 | Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Sendo, portanto, um bem comum de importância priorizada.

Levando-se em conta o VTN multiplicado pelo número de hectares perdidos, obteve-se o valor de R\$ 2.566.490, sendo assim definido, o valor de existência da vegetação antes do rompimento. Para o cálculo dos serviços ambientais com valor determinado por Costanza et al. (2014), foi utilizado o método de capitalização de renda, adotando-se o horizonte infinito.

Considerando que a áreas em regeneração natural não oferecem serviços ambientais na mesma proporção que florestas maduras, então teoricamente, não ofereceriam a mesma renda que florestas em avançado estágio sucessional. Sua renda foi dividida por dois (KLOTZ, 2016), de maneira que o valor presente atribuído aos

19,91 hectares de regeneração natural foi de R\$ 2.593.691,6. As outras áreas de vegetação nativa, que somavam 131,06 ha, apenas foram inseridas na fórmula, gerando um valor de R\$34.146.582,1. Realizando-se a soma de todos os valores encontrados, chegou-se ao montante final de R\$39.306.763,72.

Klotz (2016), em estudo de caso realizado em Mata Atlântica no estado da Bahia, estimou o valor de 3,7 hectares de vegetação em R\$ 384.780,50, sendo equivalentes a R\$103.994,73 por hectare. Se esta estimativa fosse aplicada aos 150,97 hectares de vegetação perdida em Brumadinho chegar-se-ia ao resultado de R\$ 15.700.084,4, a diferença com os resultados encontrados nesse trabalho, se dá pelo fato de que Klotz não trabalhou com horizontes infinitos, definindo um tempo “n” em seus cálculos, equivalente ao tempo de recuperação da floresta, que no caso permitia essa inferência, além de que, a taxa de juros utilizada pelo autor foi de 5,43% ao ano.

Roquete (2019) ao propor metodologia para valoração de Danos Ambientais irreversíveis incluiu o Custo de Restauração como uma das variáveis a serem consideradas, sendo esta realizada diretamente na área afetada ou em área equivalente a ela. Neste trabalho não foram considerados os custos de restauração ambiental, a metodologia restringiu-se a valorar apenas os recursos perdidos, sendo assim, apenas uma parcela da compensação do desastre.

A transformação de impactos ambientais em unidade monetária pode subestimar os impactos futuros, pois ao longo do tempo é esperado que ocorra a diminuição da representatividade do valor monetário, as publicações de Costanza et al. (1994) e Costanza et al. (2014), onde o valor atribuído a florestas tropicais foi atualizado de U\$ 2.000,00 ha/ano para U\$ 5.382,00 ha/ano, podem ser usadas como exemplo dessa mudança ao longo do tempo. Mesmo utilizando-se taxas de juros mais baixas que valorizariam esses ganhos futuros, ainda permanece certa incerteza com relação à assertividade de tal método (FERREIRA, 2018).

Mesmo diante das dificuldades e incertezas quanto aos valores atribuídos, a valoração monetária, ainda é uma ferramenta vantajosa e de grande potencial na responsabilização de agentes causadores de impactos ambientais (ROQUETTE, 2019). Trabalhos como os de Soares, Diniz e Silva (2019) que valoraram os danos aos recursos hídricos decorrentes dos resíduos do rompimento da barragem de Brumadinho em R\$4.791.573,53 por dia, levando em conta a interrupção de captação de água no rio Paraobepa, corroboram para promover maior agilidade na tomada de medidas de recuperação, além de contextualizarem melhor a dimensão dos impactos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o rompimento da Barragem B1 da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho, Minas Gerais, foram perdidos 150,97 hectares de vegetação natural, do bioma Mata Atlântica. O valor atribuído aos danos à vegetação natural decorrentes do rompimento da barragem de rejeitos encontrado neste trabalho foi de R\$39.306.763,72. Mesmo com as incertezas decorrentes da dificuldade de mensurar impactos de tal nível e o uso de metodologia simplificada em relação à dimensão dos danos, os resultados encontrados servem de base para posteriores estudos.

O desastre ocorrido em Brumadinho teve grandes proporções em vários âmbitos ainda de difícil mensuração, estudos futuros são necessários tanto para contabilizar os danos causados por ele, quanto para evitar novos desastres em condições semelhantes. Também são necessários mais estudos a respeito da valoração de danos ambientais, a fim de encontrar os métodos mais simplificados e fidedignos de valoração, que permitam a utilização prática por órgãos ambientais e posterior responsabilização de agentes causadores de impactos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM) versão pública**. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/Estatistica>. Acesso em: set. 2020.

ALMEIDA, Jalcione; PREMEBIDA, Adriano. Histórico, relevância e explorações ontológicas da questão ambiental. **Sociologias**, Porto Alegre, v. 16, n. 35, p. 14-33, abr. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-45222014000100002&lng=en&nrm=iso. Acesso em: set. 2019. <https://doi.org/10.1590/S1517-45222014000100002>.

ALVES, William Ferreira. **Valoração ambiental da estação ecológica do Panga**. 2016. 142 f. Dissertação. (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17956>. Acesso em: set. 2020.

BARBOSA, Marcela de Matos et al. Future scenarios of land-use-cover effects on pollination supply and demand in São Paulo State, Brazil. **Biota Neotrop**, Campinas, v. 20, supl. 1, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S167606032020000500206&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 07 Set. 2020. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0906>.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Parecer técnico nº 07/2019**. Vistoria em barragem de mineração Vale S.A., Mina do Córrego do Feijão, Brumadinho/MG. Brasília: Agência Nacional de Mineração, 2019. Disponível em: <http://antigo.anm.gov.br/portal/parecer-007-2019-brumadinho-final/view>. Acesso em: mar. 2020

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Relatório Final da CPI**: rompimento da barragem de Brumadinho. Brasília, DF: Comissão Parlamentar de Inquéritos, 2019b. 2462 p. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/internet/comissoes/cpi/cpibruma/RelatorioFinal.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

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

BRASIL. **Lei Federal Nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em: set. 2019.

BRUMADINHO. Cidades. **IBGE**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/brumadinho/panorama>. Acesso em: out. 2020.

CARLOS, Sabrina de Matos; CUNHA, Dênis Antônio da; PIRES, Marcel Viana. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 57, n. 3, p. 455-

471, set. 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032019000300455&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 13 set. 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.187600>.

CARVAJAL, Andrés Felipe; PABON, José Daniel. Transformación de la superficie terrestre por la actividad humana y su relación con el cambio climático. **Soc. nat.**, Uberlândia, v. 28, n. 2, p. 185-198, ago. 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132016000200185&lng=en&nrm=isso. Acesso em: 11 Mar. 2020. <https://doi.org/10.1590/1982-451320160201>.

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA. (2019). **Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 13 set. 2020.

COELHO, Maurício Rizzato et al. Solos do quadrilátero ferrífero sob diferentes coberturas vegetais e materiais de origem. **EMBRAPA Solos**, Rio de Janeiro, n. 264, 130 p., 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172437/1/CNPS-BPD-264-2017.pdf>. Acesso em: set. 2020.

CONSTANTINO. M.; GRZEBIELUCKAS. C.; COSTA DOS SANTOS. J.; DA COSTA NASCIMENTO. A.; RIBEIRO. M. Valoração Atribuída aos Serviços Ambientais de Acordo com os Diferentes Métodos: um Estudo no Período de 2005 a 2015. **Desenvolvimento em Questão**, v. 16, n. 44, p. 168-191, 8 ago. 2018. Disponível em: <https://revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/6607>. Acesso em: set. 2020.

COSTANZA, R., d'Arge, R., de Groot, R. *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, n. 387, p. 253–260, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/387253a0>. Acesso em: dez. 2019.

COSTANZA, Robert et al. Changes in the global value of ecosystem services. **Global environmental change**, v. 26, p. 152-158, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378014000685>. Acesso em: dez. 2019.

COTA, G. E. M., ROSA, N. M. G., MENDES, I. A. S. & MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Aspectos legais da segurança de barragens de rejeito de minério: implicações para a qualidade ambiental e usos múltiplos da água no alto Rio das Velhas (MG). **GEOgraphia**, n. 21(45), p. 32-46. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/14478>. Acesso em: 09 set. 2020.

DAS DORES, N. C., & ZAGO, V. C. Crescimento de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) Em Rejeitos do Rompimento da Barragem de Fundão no Município de Mariana-MG. **ABES**, 2017. Disponível em: <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletosPDF/II-517.pdf>. Acesso em: 09 set. 2020.

DA SILVA, Juliane Vanessa Carneiro de Lima; CARES, Juvenil Enrique; ESTEVES, André Morgado. Uso do Solo e Variações Climáticas na Caatinga e Seus Efeitos Sobre a Comunidade de Nematoides. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 51-61, jun. 2020. ISSN 2448-2811. Disponível em: [http://www.ead.codai.ufrpe.br/index.php/apca/article /view/3475](http://www.ead.codai.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/3475). Acesso em: 09 set. 2020.

DA SILVA ANDRADE, H. H., & ANDRADE, J. D. A. M. Delitos contra a ordenação do território sob o foco da lei de crimes ambientais, doutrina e jurisprudência. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, n. 7, p. 49-60. Disponível em: [https://periodicos.unifap.br/index.php/ planeta/article/view/1698](https://periodicos.unifap.br/index.php/planeta/article/view/1698). Acesso em: 13 set. 2020.

ENGELMANN, W.; BERWIG, J. A.; WITTCKIND, E. V. O desastre de Bhopal: riscos e vulnerabilidades na transferência de tecnologias e o direito de saber. **Revista Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 14, n. 30, p. 293-316, set./dez. 2017. Disponível em: <http://revista.domholder.edu.br/index.php/veredas/article/view/1185> Acesso em: 16 Mar. 2020. doi <https://doi.org/10.18623/rvd.v14i30.1185>

ESPÍRITO SANTO (Estado). Secretaria de Gestão e Recursos Humanos. **Manual de Avaliação de Bens Imóveis do Estado do Espírito Santo**. Vitória: 2011. 80 p. Disponível em: <https://seger.es.gov.br/Media/seger/Bem%20Im%C3%B3vel%20Legisla%C3%A7%C3%A3o/MAV%20-%20MANUAL%20DE%20ORIENTA%C3%87%C3%95ES%20T%C3%89CNICAS%20DE%20AVALIA%C3%87%C3%95ES%20DE%20BENS%20DO%20ES.pdf>. Acesso em: out. 2020.

FARIAS, Douglas Tristão; AMADOR, AchlleyOrben. Avaliação de imóveis urbanos: comparativo de métodos avaliativos. **Engenharia Civil-Tubarão**, 2018. Disponível em: <http://www.riuni.unisul.br/handle/12345/5018>. Acesso em: out. 2020.

FEARNSSIDE. P. M. Valoração do estoque de serviços ambientais como estratégia de desenvolvimento no Estado do Amazonas. **Inclusão Social**, v. 12, n. 1, 13 nov. 2018. Disponível em: <http://revista.ibict.br/inclusao/article/view/4400> Acesso em: set.2020.

FERREIRA, Ilana Dalva; IMBROISI, Denise. A equidade intergeracional e a taxa de desconto em impactos ambientais de longo prazo. **Nova econ.**, Belo Horizonte, v. 28, n. 3, p. 913-942, dez. 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-63512018000300913&lng=en&nrm=iso. Acesso em: out. 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/2870>.

FREEMAN, A. M.; HERRIGES, J. A.; KLING, C. L. **The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods**. 3. ed., London: RFF Press, 2014.

GIANNINI, T. C.; CORDEIRO, G. D.; FREITAS, B. M.; SARAIVA, A. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, 2015.

IANNELLI, Claudia Maria; RIGOLETTO, Ivan De Paula. Brumadinho–Riscos, Impactos e Perspectivas Futuras. **Brumadinho: Da Ciência À Realidade**, p. 27. Disponível em: <http://200.144.93.233:8080/pergamumweb/vinculos/000077/00007776.pdf#page=29>. Acesso em: out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Gestão e manejo de rejeitos da mineração**. Brasília: IBRAM, 2016. 128 p. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

INSTITUTOS LACTEC. **Relatório Metodológico de Valoração Econômica e Identificação de Danos Ambientais**. Curitiba-PR, 2018. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/relatorios-lactec/lactecrelatorio-metodologico-de-valoracao-economica-e-de-identificacao-de-danos-ambienta>. Acesso em: out. 2020.

KLOTZ, Alexandre Otto. **Valoração de danos a ecossistemas florestais naturais em perícias criminais ambientais no estado da Bahia**. Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Perícias Criminais Ambientais, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/168009>. Acesso em: mar. 2020.

LINHARES, Carolina. Um ano após tragédia, bombeiros ainda peneiram lama em Brumadinho. **Folha de São Paulo**, 2020. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/01/um-ano-apos-tragedia-bombeiros-ainda-peneram-lama-em-brumadinho.shtml>. Acesso em: set. 2020.

LORENZONI-PASCHOA, Luciana de Souza et al. Estágio sucessional de uma floresta estacional semidecidual secundária com distintos históricos de uso do solo no sul do Espírito Santo. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 70, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-78602019000100227&lng=en&nrm=iso. Acesso em: out. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201970028>.

MAGLIANO, M. M. **Valoração econômica de danos ambientais**. (Tese de Doutorado em Ciências Florestais). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019, 183 p. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37179>. Acesso em: set. 2020.

MAGLIANO, M. M. **Valoração Econômica em Laudos Periciais de Crimes Contra o Meio Ambiente**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/130888>. Acesso em: dez. 2019.

MPF, M. P. F. **Valoração de danos em matéria de meio ambiente e patrimônio cultural**. Brasília: [s.n.] 2014. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/publicacoes/roteiros-da-4a-ccr/copy2_of_14_006_dia_mundial_do_meio_ambiente_2_Livreto_ONLINE_CCR4_101.pdf. Acesso em: set. 2019.

MARQUES, João Fernando. Custos da erosão do solo em razão dos seus efeitos internos e externos à área de produção agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 36, n. 1, p. 61-80, 2019. Disponível em: <https://www.revistasober.org/journal/resr/article/5da2a1e00e882523472371d3>. Acesso em: out. 2020.

PEREIRA, L.F.; CRUZ, G. de B.; GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem em Brumadinho, Brasil: uma análise baseada em mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 04, n. 02, p. 122-129, 2019.

PISANI, R. J.; DEMARCHI, J. C.; RIEDEL, P. S. Simulação de cenário prospectivo de mudanças no uso e cobertura da terra na sub-bacia do rio Capivara, Botucatu-SP, por meio de Modelagem Espacial Dinâmica. **Revista Cerrados**, v. 14, n. 2, p. 3-29, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312245715_Simulacao_de_cenario_prospectivo_de_mudancas_no_uso_e_cobertura_da_terra_na_sub-bacia_do_rio_Capivara_Botucatu_-_SP_por_meio_de_Modelagem_Espacial_Dinamica. Acesso em: 08 Set. 2020.

POTT, Crisla Maciel; ESTRELA, Carina Costa. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estud. av.**, São Paulo, v. 31, n. 89, p. 271-283, abr. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142017000100271&lng=en&nrm=iso. Acesso em: set. 2019. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>.

BRASIL perdeu área de vegetação nativa equivalente a 10% do território nacional entre 1985 e 2019. **Projeto Mapbiomas**, 2020. Acesso em: 07 Set. 2020 Disponível em: <https://mapbiomas.org/noticias>.

RIBEIRO et al. Valoração econômica da polinização por abelhas em culturas agrícolas no estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22, p. 2798. 2015.

ROMPIMENTO de barragem da Vale em Brumadinho (MG) destruiu 269,84 hectares. **IBAMA**, Brasília, 30 jan. 2019. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/noticias/730-2019/1881-rompimento-de-barragem-da-vale-em-brumadinho-mg-destruiu-269-84-hectares>. Acesso em: mar. 2020.

ROQUETTE, José Guilherme. Reparação de danos ambientais causados por desflorestamento na Amazônia: uma proposta metodológica. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 9, n. 3, 2019. Disponível em: <http://ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/7981> Acesso em: set. 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMAD). **Mapas de Espalhamento do Rejeito**. 2019. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/component/content/article/13informativo/3748-mapa-espalhamento-do-rejeito-27-de-janeiro->. Acesso em: set. 2020.

SILVA, A. A.; LUNAS, D. A. L.; BICALHO, P. S. DOS S.; MACIEL, R. M. T. O impacto do rompimento da barragem de Brumadinho na aldeia NaôXohã. **Sustentabilidade em Debate**, v. 10, n. 3, p. 179 - 211, 31 dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/24017#:~:text=A%20proposta%2C%20todavia%2C%20embasa%2D,se%20espalhou%20pelo%20Rio%20Paraopeba>. Acesso em: mar.2020.

SIMÕES, S. J.; GOMES, L.; MENDES, R.; MENDES, T. S. Sige Modelos de Escorregamentos: Avaliando Métodos para Reduzir as Incertezas de Dados de Solos e Precipitação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 9, 16 out. 2016. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44440>. Acesso em: out. 2020.

SOARES, Alexandra Fátima Saraiva; DINIZ, Paula Santana; DE MORAIS SILVA, Luís Fernando. Valoração dos Danos aos Recursos Hídricos Decorrentes dos Resíduos da Barragem de Mineração em Brumadinho-MG. **Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais**. 2019. Disponível em: [http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol 2019/VII-063.pdf](http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol%202019/VII-063.pdf). Acesso em: set. 2020.

THOMÉ, Romeu; RIBEIRO, Luiz Gustavo Gonçalves. A Descaracterização de Barragens de Rejeito eo Plano de Fechamento de Mina como Instrumentos de Mitigação de Riscos na Mineração. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, Belo Horizonte, v. 16, n. 35, p. 63-85, out. 2019. ISSN 21798699. Disponível em: <http://domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/1567/24785>. Acesso em: 16 Mar. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.18623/rvd.v16i35.1567>.

TORRES, Carlos Moreira Miquelino Eleto et al. Análise Fitossociológica e Valor de Importância em Carbono para uma Floresta Estacional Semidecidual. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v. 24, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872017000100177&lng=en&nrm=iso. Acesso em: out. 2020. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.099714>.

ENTENDA as barragens da Vale. **VALE**. Disponível em: http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/servicosparacomunidade/minasgerais/atualizacoes_brumadinho/paginas/entenda-as-barragens-da-vale.aspx. Acesso em: set. 2020.