



MARAISA DE PAULA SOUZA

**DESAFIOS DA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS
NA MINERAÇÃO**

**LAVRAS – MG
2021**

MARAISA DE PAULA SOUZA

**DESAFIOS DA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA
MINERAÇÃO**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Curso
de Engenharia Florestal, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 18 de junho de 2021.

Dra. Soraya Alvarenga Botelho UFLA.
Ma. Láysa Maria Ferreira Andrade UFLA.
Ma. Anatoly Queiroz Abreu Torres UFLA.
Ma. Matheus Santos Luz UFLA.

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Orientadora
Ma. Láysa Maria Ferreira Andrade
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2021**

RESUMO

A mineração é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento social e econômico do Brasil, caracterizando-se como indústria de base que contemplou 18.040 unidades de minas de diferentes matrizes operantes em todo o país em 2019. Trata-se de um setor de fundamental importância para os diversos setores da construção civil, indústria automotiva e inovação tecnológica. O minério de ferro constitui o produto mineral de maior representatividade e de valor de produção comercializado nas exportações brasileiras, principalmente para a China, Canadá e Alemanha, com valores de 68% das exportações de produtos de origem mineral, bem como de 72,8% no valor da produção mineral comercializada. Contudo, embora a cadeia de mineração de ferro resulte em impactos positivos, os efeitos da atividade ao meio ambiente constituem-se de fator chave na concepção de desenvolvimento sustentável e de cuidados com o meio ambiente e saúde humana requeridos atualmente por muitas nações importadoras, principalmente pela extensa degradação de áreas vegetadas, poluição de recursos hídricos e, principalmente, pelo grande volume de rejeitos produzidos, no qual dependem da metodologia de extração e da pureza do mineral. Assim, compreender a necessidade da recuperação das áreas degradadas pela atividade de mineração é uma condição imperativa para a adoção de medidas corretivas e mitigadoras para a busca pelo equilíbrio do ecossistema natural. A qualidade das atividades de recuperação da área está ligada ao planejamento de descomissionamento de estrutura e serviços da mineração, podendo a execução de tais atividades ser realizadas através de Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) e/ou Plano Ambiental de Fechamento de Mina (PAFEM). Neste contexto, este trabalho busca discutir a partir de uma ampla revisão literária, a importância do setor minerário frente aos impactos ambientais associados, bem como sua adaptação frente a evolução das legislações vigentes no contexto recuperação e gestão de áreas ambientalmente degradadas. Como resultado observa-se que os desafios do setor minerário vão muito além das questões ambientais, sendo uma discussão de interesse social e atemporal.

Palavras-chave: Legislações Vigentes. Mineração de ferro. Rejeito de mineração. PAFEM. PRAD.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANM	Agência Nacional de Mineração
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CF	Constituição Federal
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual De Política Ambiental
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DN	Deliberação Normativa
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
PAFEM	Plano Ambiental de Fechamento de Mina
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas degradadas
UFLA	Universidade Federal de Lavras

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	8
2.1. Objetivo geral	8
2.2. Objetivos específicos	8
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
3.1. Setor minerário e sua representatividade econômica.....	9
3.2. Impactos ambientais e a mineração	13
3.3. Minério de ferro no Brasil e no mundo	16
3.4. Reservas de minério de ferro no mundo	18
3.5. Características da lavra de ferro.....	21
3.6. Disposição de rejeitos de minério de ferro	23
3.7. Legislação aplicada à exploração minerária	27
3.8. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD	30
3.9. Plano Ambiental de Fechamento de Mina – PAFEM	34
3.10. Recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração.....	36
4. CONSIDERAÇÕES GERAIS	40
5. REFERÊNCIAS	

1. INTRODUÇÃO

Impactos ambientais recorrentes das atividades de mineração são amplamente estudados, uma vez que a extração de recursos naturais em escala industrial gera impactos sociais e ambientais significativos (KOWALSKA, 2014). Ainda segundo Kowalska (2014), o setor minerário exerce uma forte influência negativa sobre o ambiente natural e social, a mineração é um ramo da indústria que gera crescente controvérsia.

Por se tratar de uma atividade, em princípio, que resulta em altos impactos, constitui-se necessário que esta seja submetida a controles de qualidade ambiental, monitoramento e auditoria constantes requeridos pelos órgãos competentes. Tais condições não tornam imperativo a ilegalidade da mineração no Brasil, mas destaca uma atividade lícita que extrai recursos naturais com valor agregado e gera subprodutos com potenciais de contaminação e que necessitam de adequação ambiental. Recordando os termos do artigo 2º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, temos que:

“A PNMA tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições de desenvolvimento econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana [...].
“(Brasil, 2021).

No Brasil, o órgão regulador do setor minerário está a cargo da Agência Nacional de Mineração (ANM) – extinto DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) – criada através da Lei nº 13.575 de 26 de dezembro de 2017. Suas responsabilidades consistem em preparar as autorizações para a exploração dos minerais e de fiscalizar a atividade de mineração. No âmbito estadual, a responsabilidade pelo licenciamento ambiental das atividades com potencial impactante ao meio ambiente está a cargo do Conselho Nacional de Meio Ambiente – COPAM, sancionado pela Lei Estadual nº 7.772/1980 (MORAIS, M. F.; PACHECO, P. P.; RESENDE, T. M., 2008).

A Constituição Federal (CF) reconhece a importância da atividade minerária ao tratar amplamente de seus impactos, sejam eles positivos e negativos. Do ponto de vista ambiental, as únicas restrições com respaldo constitucional são: (1) ser praticada em áreas definidas como intocáveis e (2) ser realizada em áreas indígenas sem autorização do Congresso Nacional e sem que as comunidades indígenas sejam consultadas conforme o

parágrafo 3º. do artigo 231 da CF/88 (ARAÚJO. S.M.V.G., 2002; MACHADO. P.A.L., 2004; BRASIL, 2021).

Os tipos de minas existentes configuram-se como (1) subterrâneas, (2) a céu aberto e (3) mista que, direta ou indiretamente, distinguem entre si na capacidade de extração mineral e no investimento a ser empregado, sendo que estas representam, essencialmente, como lavra de depósito. Segundo Macêdo et al. (2001) a escolha do método de exploração tem como base o critério econômico, condição que reflete nas atividades e potencialidade das 18.040 minas contabilizadas no Brasil, a exemplo das pedreiras e os garimpos legais, destacando a mina a céu aberto com o maior número de unidades (IBRAM, 2020).

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2020), a mina a céu aberto caracteriza-se como a mais abundante no Brasil, com expressa condição de impactar fortemente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo devido a movimentação de grandes volumes de terra (BANNING et al., 2011; JOZEFOWSKA et al., 2017; LEWIS et al., 2010; SHEORAN et al., 2010;), implicando na remoção da camada superficial do solo e, conseqüentemente, promovendo potenciais impactos de curto, médio e longo prazo no desenvolvimento e uso futuro da terra (NGUGI, 2018). As características físico-químicas dos rejeitos produzidos nessas atividades conferem a esses materiais um caráter de contaminantes, sendo depositados no solo que se deslocam para a água e ar como poluentes (BATEN et al., 2018), o que fortalece a realização de estudos relacionados a alteração da qualidade ambiental e mitigação dessa atividade mineradora.

As mudanças causadas pela mineração afetam tanto as áreas mineradas como as áreas adjacentes, estando associadas às mudanças na paisagem local e à geração de grandes quantidades de resíduos e efluentes, uma vez que operações de lavra envolvem um consumo representativo de água. Além disso, impedem a restauração de ecossistemas preexistentes ou funcionais, uma vez que as propriedades essenciais dos solos originais não podem ser imediatas ou facilmente restabelecidas (NGUGI, 2018).

Por ser um tipo de uso temporário da terra, é difícil justamente prever seus impactos nos domínios temporal e espacial (ZHANG et al., 2017). Portanto, durante a elaboração de um projeto minerário, todas as etapas devem ser consideradas – desde a exploração até o encerramento das atividades operacionais. O planejamento de fechamento de mina, assim como as instalações necessárias para a exploração devem ser projetados ainda no papel, quando o empreendimento ainda está em processo de estudo (IBRAM, 2020).

Finalmente, ao tratarmos do planejamento de fechamento de mina, o cadenciamento das etapas é fundamental, sendo este um dos principais pilares para um planejamento efetivo das ações que vão sustentar progressivamente a redução dos passivos gerados pelas atividades de mineração, de maneira que o período pós fechamento das minas sejam um legado positivo e duradouro para a comunidade e traga um equilíbrio ao meio ambiente.

Ao longo deste trabalho se encontram os principais pontos da Legislação Aplicada no âmbito Nacional e Estadual referentes do Setor Minerário e quais são os principais desafios do setor frente as práticas de qualidade ambiental do mundo moderno.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Discutir os desafios do setor de mineração para recuperação de áreas ambientalmente degradadas frente as legislações vigentes.

2.2. Objetivos específicos

- a) Discutir a importância do setor minerário frente aos impactos ambientais associados;
- b) Discutir como o setor minerário vem se adaptando as legislações vigentes que versam sobre recuperação e gestão de áreas ambientalmente degradadas;
- c) Explorar futuros desafios do setor minerário com relação a recuperação e gestão de áreas ambientalmente degradadas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

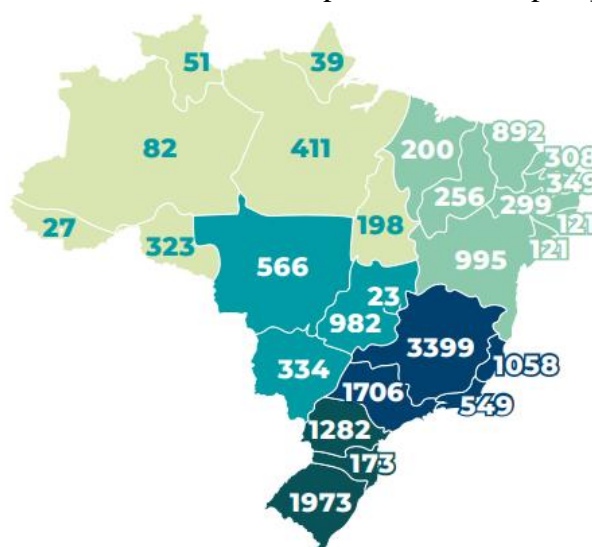
As buscas para desenvolvimento da revisão de literatura foram realizadas em quatro bases de dados bibliográficas, a saber: (i) Agência Nacional de Mineração; (ii) Instituto Brasileiro de Mineração; (iii) periódicos disponíveis no portal CAPES utilizando as palavras chaves “minério de ferro”, “recuperação de áreas degradadas”, “impactos da mineração” e “desafios da mineração”; (iv) além de consulta de legislação vigente sobre o tema.

3.1. Setor minerário e sua representatividade econômica

A mineração é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento social e econômico. O setor é a base de uma cadeia que possibilita a geração de produtos industrializados que serão utilizados em diferentes áreas de atuação, tais como construção civil, indústria automotiva e inovação tecnológica (PONTES et al., 2013).

O Brasil possui um notório potencial minerário distribuído por todo o território nacional. Conforme o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração) através do anuário com base 2019, foram contabilizadas um total de 18.040 unidades de minas operantes em todo o país, incluindo pedreiras e garimpos legais de diferentes matrizes. Conforme Figura 1, com 3399 unidades, Minas Gerais é o estado com maior concentração de minas ativas, seguida em 2º lugar pelo Rio Grande do Sul com 1973 minas e, posteriormente, em 3º lugar pelo estado de São Paulo com 1706 minas (IBRAM, 2020).

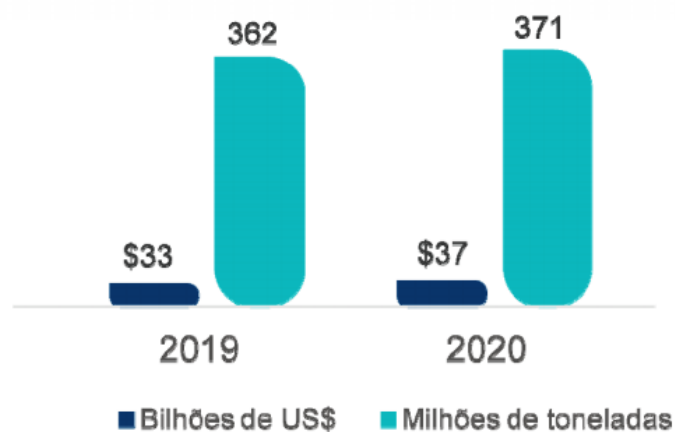
Figura 1 - Número de minas/unidades produtoras em operação no Brasil.



Fonte: IBRAM, 2020.

Seguindo seu potencial, o setor minerário também possui forte participação na economia do país. Conforme dados da SGM (Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia) e do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a indústria extrativa mineral também tem participação fundamental no Produto Interno Bruto (PIB), com representatividade de 4% no PIB brasileiro (IBGE, 2018). Além disso, o faturamento com as exportações do setor em 2020 foi de US\$ 37 bilhões, representando um crescimento de 12% em relação ao ano anterior, por outro lado, houve um aumento no volume exportado de 371 milhões de toneladas de bens minerais primários, 2% a mais do que 2019 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Todo este montante representou 17% das exportações totais do Brasil e 64% do saldo positivo da balança comercial.

Figura 2 - Faturamento e produção do setor de minérios entre 2019 e 2020.



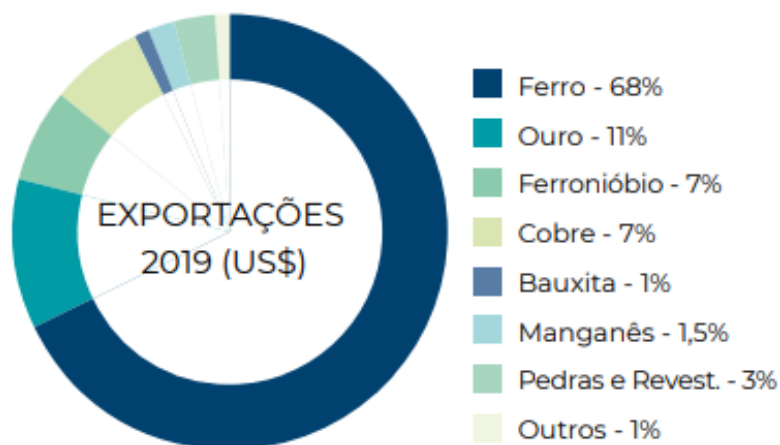
Fonte: IBRAM, 2020.

As principais substâncias declaradas no sistema de produção mineral brasileiro somam um total de 51 substâncias, sendo a areia com 4601 unidades produtoras em 2019, a atividade com maior número de minas em atividade. Neste ranking, ocupando o 14º lugar e com 150 minas, vem o minério de ferro, sendo este o produto de origem mineral de maior representatividade e de valor de produção comercializadas nas exportações brasileiras principalmente para a China, Canadá e Alemanha (IBRAM, 2020).

De acordo com a IBRAM (2020) e ANM (2020), no ano de 2019 o ferro representou 68% das exportações de produtos de origem mineral, bem como 72,8% no valor da produção mineral comercializada (Figura 3 e Figura 4), condição corroborada através da amplitude de atuação de 7.296 empresas de mineração no Brasil em 2019 (IBRAM, 2020). Em complemento, as empresas, conforme a CFEM – Compensação

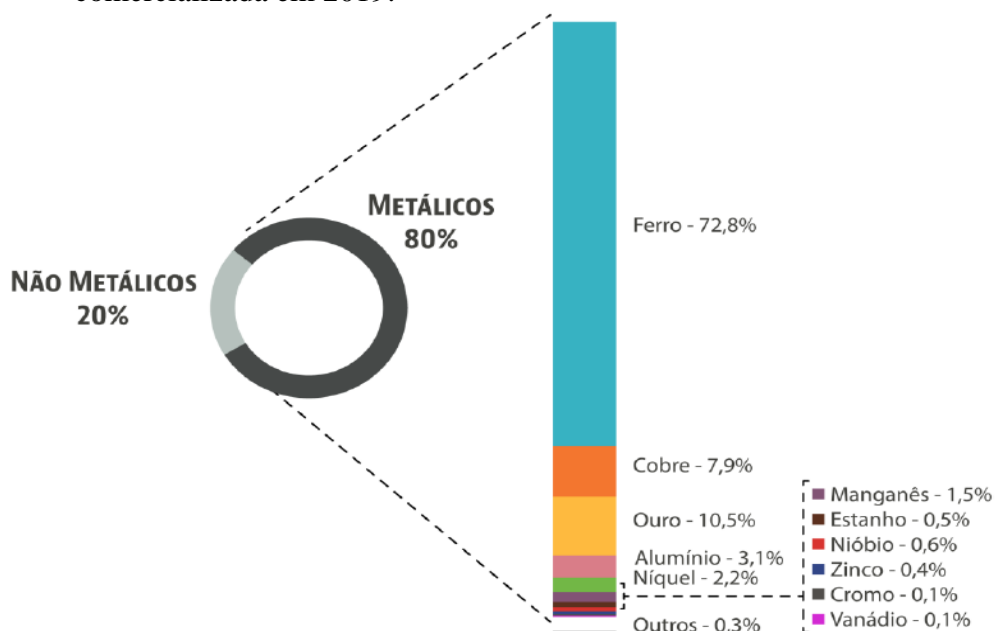
Financeira pela Exploração de Recursos Minerais, respeitando o Art. 20, § 1º da Constituição de 1988 – contribuem quanto a contraprestação pela utilização econômica dos recursos minerais em seus respectivos Municípios, Estados, Distrito Federal e União.

Figura 3 - Composição percentual de produtos de origem mineral exportados para a balança comercial brasileira em 2019.



Fonte: IBRAM, 2020.

Figura 4 - Participação das principais substâncias metálicas no valor da produção mineral comercializada em 2019.



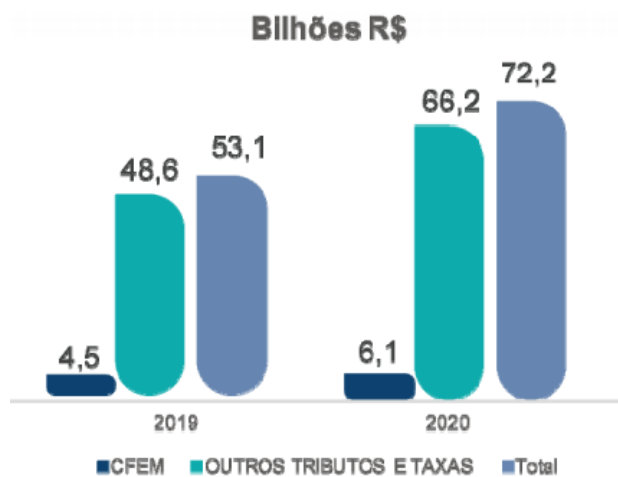
Fonte: IBRAM, 2020.

O CFEM consiste em uma forma de reparação pelos danos acometidos da atividade de mineração em seus territórios. O percentual tributado é calculado sobre o faturamento bruto com variação relativa com a substância mineral, conforme prescreve a

Lei 13.540, de 18/12/2017. Dessa forma, o *royalty* minerário tem como base a disponibilidade (escassez relativa) para abastecimento interno e renda gerada pelo minério a ser explorado (ENRÍQUEZ, 2008).

Embora sob condição adversa de crise, a arrecadação tributária total do setor em 2020 representou R\$ 72,2 bilhões, estabelecendo um aumento de cerca 36% se comparado a 2019 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Além disso, segundo a Secretaria da Receita Federal, em alguns casos, a carga tributária total do setor mineral é superior a 40% do PIB, ao mesmo tempo que demais países competidores possuem carga tributária menor que 28% que, conseqüentemente, tem dificultado a capacidade competitiva do mercado brasileiro frente os demais concorrentes internacionais (IBRAM, 2020).

Figura 5 - Recolhimento de impostos e tributos em 2019 e 2020 no setor minerário.



Fonte: IBRAM, 2020.

Com relação aos investimentos, o setor é um dos que recebe os maiores aportes privados no país. De acordo com a última apuração, são US\$38 bilhões, compreendendo o período de 2020 a 2024, destinado a infraestrutura necessária a organização, sendo deste total, mais de US\$ 2,2 bilhões designados a viabilização do processo de descomissionamento de barragens a montante e soluções tecnológicas exclusivas para a disposição de rejeitos de mineração (MINERAÇÃO, 2021). A distribuição destes investimentos obedece a um percentual de participação que varia de acordo com a substância extraída, dessa forma, os estados de Minas Gerais, Bahia e Pará concentram 85% destes investimentos e os demais estados somam os 15% restantes (IBRAM, 2020).

Por sua vez, referente a contratação de mão-de-obra, em setembro de 2020 o saldo de empregos gerados pelo setor extrativo mineral foi de 180.365 postos, segundo o

Ministério do Trabalho e Emprego, no qual foram subdivididos em quatro atividades econômicas ao longo das cadeias produtivas – (1) Extração de Carvão Mineral; (2) Extração de Minerais Metálicos; (3) Extração de Minerais Não-Metálicos; e (4) Atividades de Apoio a Extração de Minerais (IBRAM, 2020).

Diante do contexto, a mineração constitui-se de um dos pilares da sustentação econômica do Brasil, considerando a importância do setor para com o meio ambiente, são necessárias medidas de controle para que a atividade caminhe em direção ao desenvolvimento sustentável.

3.2. Impactos ambientais e a mineração

Empreendimento minerários de qualquer espécie, possuem em comum, em maior ou menor grau, impactos socioambientais positivos e negativos no local de ocorrência ou fora. Diante deste fato, a Constituição Brasileira de 1988 determina que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e que cabe ao Poder Público e à sociedade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988). Esta premissa, estabelecida no capítulo inteiramente dedicado ao Meio Ambiente, traz consigo um longo trajeto de mudanças e aperfeiçoamentos na legislação ambiental brasileira.

Em relação aos impactos positivos, os mais comuns são a geração de emprego e renda, desenvolvimento da economia das cidades próximas às empresas, geração de matéria prima para produção de tecnologias indispensáveis, dentre outros (FERNANDES, 2014). No entanto, por terem efeitos imediatos e/ou de longo prazo, os impactos negativos constituem a parcela que requer grande atenção, tendo em vista as consequências presentes e futuras ligadas não somente ao meio ambiente, mas também a saúde humana. Esses efeitos ocorrem desde a fase de extração, passando pelo transporte, beneficiamento do minério e, em alguns casos, podem acontecer até mesmo após o encerramento das atividades da mina, como a exposição de material com alto potencial contaminante ou de rejeitos (FERNANDES, 2014).

Em geral, as regiões de mineração têm recursos minerais abundantes e economicamente acessíveis e, portanto, frequentemente sofrem mudanças rápidas e extensas no uso da terra, principalmente durante os anos de atividade (BRIDGE, 2004). Tais mudanças são amplamente associadas as alterações na paisagem local e produção de grandes quantidades de resíduos e efluentes com diferentes características físicas e químicas que afetam tanto as próprias áreas mineradas quanto as áreas adjacentes, a

exemplo de material particulado em suspensão (LECHNER et al., 2017). Às vezes culminam ainda em significativas mudanças geoquímicas ao longo da bacia hidrográfica em que a área de intervenção está inserida, resultando em contaminação de águas, ar, solos e carreamentos de sedimentos mesmo décadas de interrupção da atividade de mineração (CAMIZULI et al., 2014).

Os principais problemas relacionados a mineração, segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (2012) envolvem quatro categorias: (1) solo/subsolo; (2) água; (3) ar; e (4) seres humanos. Essas categorias estão relacionadas a alteração dos ecossistemas naturais através dos impactos da supressão de vegetação, erosão, contaminação de águas superficiais e lençóis freáticos, aumento da dispersão de metais pesados, dispersão de material particulado no ar, alterações da paisagem, interferências na fauna e flora, desvalorização de imóveis vizinhos, poluição sonora, do ar e de rodovias (CPRM, 2012).

Especificamente no Brasil, um dos maiores causadores de impactos socioambientais e que tem chamado a atenção para um problema maior relacionadas ao condicionamento de submatérias têm sido as barragens de rejeitos de minério.

Conforme estabelece a Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, barragens consistem em qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (Brasil, 2020). Já as barragens de rejeitos de minério são aquelas utilizadas para armazenamento de forma adequada, controlada e monitorada dos rejeitos advindos dos processos de extrações do minério valorado nas plantas de atividade mineradora. Na Figura 6 é possível observar o fluxograma do minério de ferro desde a extração até o fim do seu tratamento, onde é gerado o rejeito que é despejado nas barragens.

Figura 6 - Fluxograma de Processamento do Minério



Fonte: CREA-MG (2015).

Além disso, conforme explicam Mota et al. (2017) além das barragens, as operações de minas de lavra a céu aberto são estabelecidas para proporcionar a movimentação de grandes volumes de minério e estéril que, durante essa atividade operacional, existem riscos de contaminação da atmosfera, das águas, do terreno, da biodiversidade, do homem e os animais. A contaminação das águas pode advir do carreamento de sedimentos para os cursos d'água por eventos pluviométricos, trazendo aporte de sólidos e alterando parâmetros importantes da qualidade das águas.

Slack (2012) afirma que a indústria da mineração possui relativa rigidez locacional, uma vez que precisam se instalar onde estão os depósitos minerais, implicando em operar muitas vezes em áreas sensíveis socialmente e ambientalmente. Nesse contexto, o autor estabelece que não é possível construir operações maciças de mineração a céu aberto ou construir milhares de quilômetros de oleodutos e/ou minerodutos sem causar distúrbios socioambientais.

Por outro lado, Pontes et al. (2013) afirmam que a poluição da água advinda dos empreendimentos minerários no Brasil (ferro, calcário, granito, areia, argila, bauxita, manganês, cassiterita, diamante entre outras) ocorrem por meio de lama manuseada incorretamente. Já Matta (2001) afirma que também ocorre poluição das águas por óleos e detergentes, vindos das oficinas, máquinas, caminhões, bem como por sólidos suspensos que podem resultar em aumento significativo na turbidez, mudança de cor e assoreamento de diferentes corpos hídricos. Tais condições são corroboradas por Straskraba e Tundisi (2008) quando afirmam em seu estudo que os problemas de turbidez

produzidos por material em suspensão são responsáveis pelos principais impactos e problemas na qualidade de água de lagos, represas e rios.

De maneira similar, a remoção da cobertura vegetal e camada superficial do solo podem desencadear processos crônicos de arraste sedimentar para os corpos d'água a jusante via a erodibilidade do solo, resultando em mudanças geoquímicas significativas ao longo da bacia hidrográfica em que a intervenção é inserida durante décadas após a finalização da atividade de mineração (CAMIZULI et al., 2014).

Considerando os efeitos danosos da mineração ao meio ambiente anteriormente citados e, em contrapartida, a importância desta indústria para a economia, torna-se imperativo o avanço das discussões referente a necessidade de se recuperar ou reabilitar as áreas degradadas pela mineração afim de que uma vez explorado, o solo tenha condições de estabelecer um novo equilíbrio ecológico.

No entanto, como afirma Kowalska (2014), o setor da mineração é, no mínimo, controverso. Nesse contexto, faz-se necessário proporcionar a disseminação de um pensamento crítico e construtivo com estratégias efetivas e direcionadas para tornar esta operação sustentável e, como ressaltam Kneipp et al. (2012), cada vez mais a competitividade das empresas deverá estar relacionada a uma gestão orientada para a sustentabilidade, que integre a preservação ambiental, o bem-estar social e a prosperidade econômica sustentável.

3.3. Minério de ferro no Brasil e no mundo

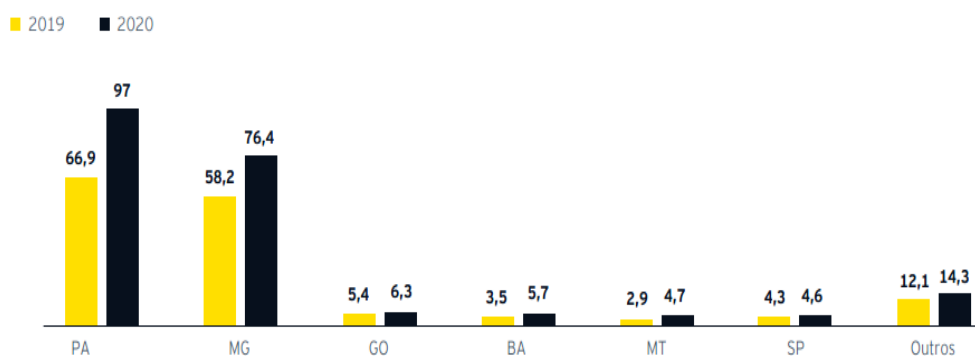
De acordo com Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), o minério de ferro é uma substância mineral que, quando aquecida na presença de um elemento redutivo, produzirá ferro metálico (Fe) que, dentre outros metais, constitui-se como matéria prima para a fabricação de estruturas de moradias, transportes, utensílios domésticos, dentre outros usos, sendo que essa conversão quase sempre ocorre de maneira natural na composição de óxidos de ferro, a exemplo das principais formas: magnetita (Fe_3O_4) e hematita (Fe_2O_3) (USGS, 2021).

O minério de ferro é a fonte primária para as indústrias de ferro e aço do mundo, sendo essencial para a produção de aço que, por sua vez, é requerido para proporcionar o estabelecimento de uma forte base industrial (USGS, 2021). Ainda segundo a USGS, quase todos os minérios de ferro são usados na siderurgia (98%), com extração realizada atualmente estabelecida em cerca de 50 países, sendo que os sete maiores países produtores correspondem por cerca de três quartos da produção mundial, com destaque

para os maiores exportadores, Austrália e Brasil, responsáveis por dois terços da exportação mundial (USGS, 2021).

Em 2019, o Brasil liderou a segunda posição no ranking internacional de produção de ferro, totalizando 410 milhões de toneladas, correspondendo a 66,36% do faturamento no setor. O faturamento total chegou a R\$ 208,9 bilhões, sendo que apenas a comercialização da mineração de ferro apresentou um total de R\$ 138,6 bilhões (IBRAM, 2020). Além disso, quanto a reserva de minério, o país destaca-se na segunda posição com 29 bilhões de toneladas de minério de ferro, com ênfase na contribuição efetiva dos estados de Minas Gerais e Pará, responsáveis por 80% da reserva brasileira (FIGURA 7) e com grande efeito no crescimento de R\$ 125,1 bilhões em 2019 para R\$ 173,4 bilhões em 2020, de acordo com IBRAM (2020).

Figura 7 - Faturamento por estado, em bilhões de reais, nos anos de 2019 e 2020.



Fonte: ANM, 2020.

Por consequência, através do aumento de 36% de produção em 2020 houve arrecadação de impostos e tributos, totalizando R\$ 72,2 bilhões e correspondendo, assim, a apenas 8% do valor total (R\$ 6,1 bilhões) arrecadado pela CFEM, além disso, os 92% restantes (R\$ 66,2 bilhões) são oriundos de outros tributos, segundo a IBRAM (2021). Para o MME (2020), o minério de ferro representa a substância de maior arrecadação da CFEM (79% do total), sendo 39% advindo do estado de Minas Gerais, destacando sua importância econômica.

A produção nacional deste minério, frente a produção mundial, é de importante relevância, segundo dados da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - SGM (BRASIL, 2020). Enquanto a produção mundial em 2019 era de 2,417 bilhões de toneladas, apenas o Brasil contribuiu com 397 milhões de toneladas, gerando US\$22,7 bilhões em exportação em 2019 e US\$25,7 em 2020.

No mundo, destaca-se a Austrália com produção de minério de ferro granulado estabelecida na região de Pilbara, com crescimento de exportações de 515,7 milhões de toneladas em 2019, para 713 milhões de toneladas em 2020, de acordo com a Administração Geral das Alfândegas da China (MC-PRC, 2021). Por outro lado, houve aumento da exportação de minério de ferro da Índia para a China de 44,8 milhões de toneladas em 2020 (FORBES, 2021), evidenciando uma maior amplitude da capacidade de importação do minério pelo país asiático em função da proximidade geográfica e constituindo-se, assim, como uma concorrência para o Brasil.

Embora a China seja a terceira maior produtora de minério de ferro, seu mercado consumidor requer importações de grandes volumes de outros países, principalmente devido a necessidade da produção de aço para a demanda global (POPESCU et al., 2016; USGS, 2017; UNCTAD, 2016;). Dessa forma, o país tem grande destaque na balança comercial do setor mineral do Brasil.

Segundo Szewczyk (2017), a previsão da demanda por aço bruto para os próximos anos tende a potencializar a capacidade de importação de minério de ferro e ganho de produção de países exportadores, principalmente advindo do Brasil e Austrália através de mineradoras como Vale, BHP, Rio Tinto e Fortescue, fortalecidas pelo aumento da participação no mercado global e pela redução dos custos de produção previstos (UNCTAD, 2016).

Nesse contexto, a importância da mineração de ferro na economia brasileira frente às suas demandas e às necessidades da sociedade mundial, o que justifica a relevância de estudos e pesquisas voltados para o progresso e desenvolvimento do setor de maneira a torná-la mais sustentável social, ambiental e econômica.

3.4. Reservas de minério de ferro no mundo

As maiores concentrações de minério de ferro no planeta se encontram na Austrália, Brasil, China, Índia e Rússia, sua distribuição geológica como pode ser observada na Tabela 1. Os dois primeiros possuem suas atividades voltadas principalmente ao fornecimento para o mercado internacional, enquanto a China produz, principalmente, para o abastecimento interno do país (CARVALHO et al., 2014). Por outro lado, ressalta-se que a Austrália, Brasil e Rússia possuem as maiores reservas com relativo alto teor de ferro contido, entretanto, embora a China possua uma reserva expressiva, o minério é caracterizado com um baixo teor de ferro contido (USGS, 2017).

Tais fatores são essenciais para a valoração econômica e maior vantagem estratégia com exportação, como destacado na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção mundial 2019/2020 e reservas mundiais em 2020 - Valores em Mt.

PRODUÇÃO MINERAL (Milhões de Toneladas)						
PAÍS	MINÉRIO UTILIZÁVEL		TEOR DE FERRO		RESERVAS	
	2019	2020	2019	2020	Minério bruto	Teor de ferro
Estados Unidos	46.900	37.000	29.800	24.000	3.000	1.000
Australia	919.000	900.000	569.000	560.000	850.000	824.000
Brasil	405.000	400.000	258.000	252.000	34.000	15.000
Canada	58.500	57.000	35.200	34.000	6.000	2.300
Chile	13.100	13.000	8.430	8.000	NA	NA
China	351.000	340.000	219.000	210.000	20.000	6.900
Índia	238.000	230.000	148.000	140.000	5.500	3.400
Iran	33.100	32.000	21.700	21.000	2.700	1.500
Cazaquistão	22.000	21.000	6.150	5.900	2.500	900
Peru	15.100	15.000	10.100	10.000	NA	1.500
Rússia	97.500	95.000	64.300	63.000	25.000	14.000
África do Sul	72.400	71.000	41.200	40.000	1.000	640
Suécia	35.700	35.000	22.100	22.000	1.300	600
Turquia	16.400	16.000	9.110	8.900	NA	NA
Ucrânia	63.200	62.000	39.500	39.000	96.500	92.300
Outros países	67,700	75.000	39,000	43,000	18.000	9,500
Total mundial (arredondado)	2.450.000	2.400.000	1.520.000	1.500.000	180.000	84.000

Fonte: USGS, 2021.

No Brasil, o minério de ferro está concentrado principalmente nos estados de: (1) Minas Gerais, especificamente localizadas no centro/sul nas regiões do Quadrilátero Ferrífero, Vale do Rio Peixe Bravo e Bacia do Rio Santo Antônio, sendo responsável pela extração e produção de 69,6% do minério do estado (FERREIRA FILHO, 2019) e considerado a maior região produtora de hematita do Brasil (Fe_2O_3), no qual apresenta cerca de 70% de ferro em sua composição e com maior valor comercial agregado (DUARTE, 2019); (2) Estado do Pará, localizado na região central dos Carajás, mais especificamente na Serra dos Carajás, considerada a maior mina de minério de ferro do

mundo (CONHEÇA, 2018) e segunda maior região produtora de minério de ferro de alta qualidade do Brasil, com predominância de hematita (Fe_2O_3) e quantidade significativa de magnetita (Fe_3O_4) (CARMO et al., 2015), no qual apresenta composição teórica de 72,4% de ferro, conforme destacada por Magnetita (2021); (3) Estado do Mato Grosso do Sul, localizada as margens do rio Paraguai, região do Pantanal e da Morraria de Urucum (CARMO et al., 2015), abrangendo os municípios de Ladário e Corumbá (QUAIS, 2021). Destaca-se que a Mina de Urucum, possui dois bens minerais na mesma localidade – o minério de ferro e o manganês, com uma produção média de 2.5 milhões de toneladas de minério de ferro e cerca de 800 mil toneladas de manganês (CONHEÇA, 2014).

A qualidade do minério de ferro em todo o mundo está associada às condições de seu processo de formação, datadas das idades Pré-cambriana e Fanerozóica. Além disso, os depósitos de ferro existentes podem ser agrupados em duas categorias: (1) formações ferríferas bandadas (“Banded Iron Formation” - BIF) formadas na idade proterozóica e os (2) “Ironstones” da idade fanerozóica (EVANS, 1983). As formações ferríferas bandadas, também denominadas de itabirito e compostas de hematita (Fe_2O_3) e sílica (SiO_2), constituem os depósitos de maior ocorrência/distribuição e aproveitamento econômico, sendo caracterizados por finos leitos paralelos com espessuras entre 3 e 5 milímetros, que se constituem de sílica na forma de “chert” ou de sílica cristalizada na forma de quartzo, alternado com camadas de minerais de ferro (EVANS, 1983). A Figura 8 a seguir, ilustra uma formação ferrífera bandada.

Figura 8: Rocha de formação ferrífera bandada



Fonte: Geology In (2021).

Em complemento, Castro (1992) afirma que as formações ferríferas bandadas foram formadas a partir da precipitação de hidróxido de ferro que carregou alguma sílica coloidal, tendo o precipitado $\text{Fe}(\text{OH})_3\text{-SiO}_2$ atingindo o fundo da bacia em pulsos de 12 horas, com o $\text{Fe}(\text{OH})_3$ expulsando o SiO_2 para cima em sua estrutura. Este processo levou a formação de uma camada rica em óxido e outra rica em sílica. A existência de uma litosfera e uma hidrosfera anóxicas no período Pré-Cambriano, somada ao fato de existir ferro V ferroso solúvel na água do mar, contribuiu para a formação das BIF's (Banded Iron Formation).

3.5. Características da lavra de ferro

A extração (lavra) dos bens minerais depende da técnica de transformação ou da adequação conforme as necessidades da sociedade do momento. O minério de ferro é encontrado na fase sólida, contudo, a concepção de lavra também se aplica a outros tipos de minérios em estado sólido, como carvão e minerais não metálicos, bem como líquido (como o petróleo bruto) e gasoso (como o gás natural), e por isso, podem ser extraídos por diferentes métodos (como a lavra subterrânea ou de superfície, também chamada a céu aberto), seja em projetos de médio ou grande porte (SOBRINHO, 2014).

Para Peroni (2008), a lavra a céu aberto do tipo cava (Open Pit Mining), compreendido como um método que apresenta grande recuperação e pouca diluição na lavra, tem difusão estabelecida em muitas jazidas do Brasil, no qual caracteriza-se pela retirada do material de cobertura da área de extração e armazenada em área apropriada. Após essa etapa, com a exposição do minério, inicia-se sua exploração no formato de “cone invertido”. Além disso, para que haja segurança no desenvolvimento deste método, a estabilidade dos taludes deve ser considerada, de acordo com as características da rocha, deixando-se sempre um ângulo de face nas bancadas e com suas bases em acordo com o porte de maquinário utilizado.

O conceito de pequena, média ou grande mina depende do referencial adotado e varia conforme a região ou país. Minas consideradas de médio porte, em países desenvolvidos, podem ser consideradas de grande porte em países em desenvolvimento, como o Brasil, alinhando-se a isso o valor da substância lavrada, as reservas, o grau de mecanização da mina, as toneladas produzidas, dentre outros. Além disso, têm-se o fato de que pequenas minerações resultam em menor amplitude de impacto no meio, o que viabiliza a exploração de jazidas menores (ALMEIDA JÚNIOR, 2017).

Segundo Macêdo et al. (2001), os métodos de lavra são limitados pela disponibilidade e desenvolvimento dos equipamentos e devem ser avaliados levando-se em conta os aspectos: econômico, tecnológico, político e social; a escolha do método de lavra pode ser considerada tanto uma arte como uma ciência. Nesse sentido, ainda segundo os autores, os métodos podem ser classificados em duas fases: (1) Avaliação das condições geológicas, sociais e ambientais para permitir a eliminação de alguns métodos que não estejam de acordo com os critérios desejados; e (2) Escolha do método que apresente o menor custo, sujeito às condições técnicas que garantam uma maior segurança.

Dentre os fatores de importância no cronograma de lavra, destaca-se a etapa de planejamento, uma vez que estabelece as características de extração, a expectativa de influência do mercado, as características físicas e químicas do minério, estrutura de lavra, custos, dimensionamentos, locação de infraestrutura (barragens de rejeito, pilhas de disposição de estéril, plantas de beneficiamento, área de estoques, pátio de carregamento, oficinas, escritórios, paióis, etc.), dentre outras características (OMACHI, 2015).

A capacidade de minerar em uma jazida está associada ao processo de execução das etapas de perfuração e detonação, seguidas do carregamento e transporte. Para o aproveitamento do minério faz-se necessário que este seja processado. O processamento

adequado está diretamente relacionado ao teor de minério na jazida e das especificações do produto ao qual deseja-se produzir (TAVARES, 2009). Esses procedimentos podem ser realizados em ambiente livre (extração de um depósito mineral ocorre na superfície terrestre – a céu aberto) ou confinado (realizadas abaixo da superfície da terra - mineração subterrânea), sendo este último aplicado quando a profundidade do depósito, a relação estéril minério ou ambos tornam-se excessivos para a exploração em superfície (CARLI, 2013; HUSTRULID, 1982).

3.6. Disposição de rejeitos de minério de ferro

Durante a extração de minério de ferro é gerado um volume considerado de rejeitos, o qual sofre influência direta da pureza do minério. Assim, com o aumento da exploração das jazidas, houve a redução da efetividade extrativa de muitas minas com alta qualidade mineral de ferro, sendo requerido a otimização e implementação de novas tecnologias de lavra de itabiritos pobres. Dessa forma, enquanto alguns projetos foram desenvolvidos para o aproveitamento destes itabiritos, outros foram desenvolvidos para adequação de usinas existentes e para tratamento dos itabiritos pobres, a exemplo do ocorrido em regiões do Quadrilátero Ferrífero (GONÇALVES et al., 2013).

A extração de jazidas com menor teor de ferro, também afeta o índice da relação Estéril/Minério (REM), promovendo aumento da escala da alimentação nas usinas de beneficiamento devido à redução do índice de recuperação em massa, bem como modifica a geometria da cava final, o sequenciamento de lavra, o porte ou tipo dos equipamentos, as etapas de processamento, as estruturas de estéril e aumenta o volume de rejeito (OMACHI, 2015). Nesse contexto, a adequação dos rejeitos é uma necessidade.

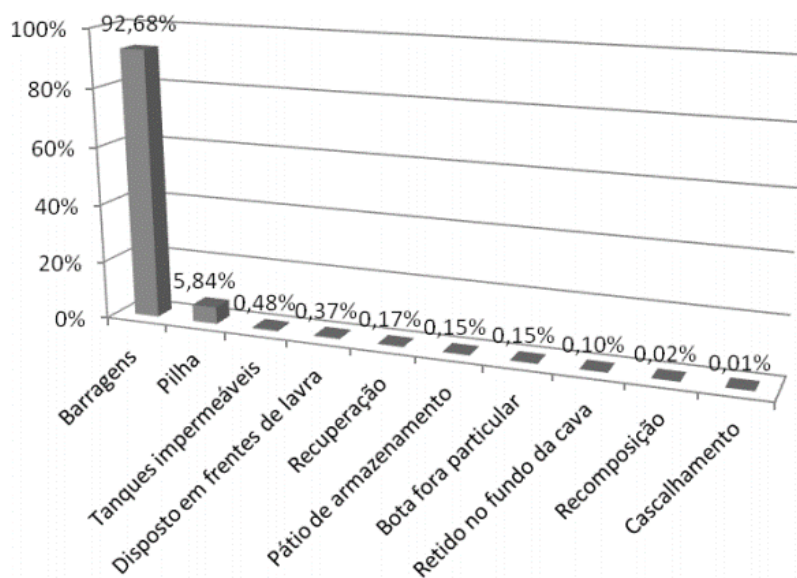
Conforme as definições da norma NBR 13029 (ABNT, 1993) - elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e que trata sobre o projeto de disposição de estéril em pilha - o material deve ser disposto dentro da cava da mina ou o mais próximo possível da mesma, de preferência em áreas já degradadas e dentro dos limites do empreendimento.

A construção de um depósito de estéril gera um grande impacto ambiental na área onde é disposto e representa um projeto de alto custo. Assim, os fatores financeiros, de planejamento, alternativas de locação de pilha estéril, investigação geotécnica, hidrogeológica e, principalmente, ambientais devem ser cuidadosamente analisadas para que a pilha seja construída dentro das condições mais adequadas, proporcionando uma operacionalidade efetiva e com o menor custo e impacto possível (PETRONILHO, 2010).

A nível de projeto, as pilhas de estéril requerem conhecimento detalhado de todos os fatores que podem afetar a sua estrutura na condição atual ou futura de projeto, a exemplo do volume de estéril retirado no decorrer da operação de lavra, o local para construção do depósito, capacidade de armazenamento da possível área para disposição, distâncias de transporte, condições de acesso, características da área (relevo, fundação, topografia, etc.), condições hídricas locais e os impactos que podem ser gerados (PETRONILHO, 2010).

Por outro lado, segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2016), o principal método de disposição de rejeitos de mineração no estado de Minas Gerais e nas demais regiões do Brasil são as barragens de contenção, respondendo por mais de 92% dos resíduos gerados, conforme mostrado no gráfico ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Métodos de disposição de rejeitos mais utilizados em Minas Gerais.



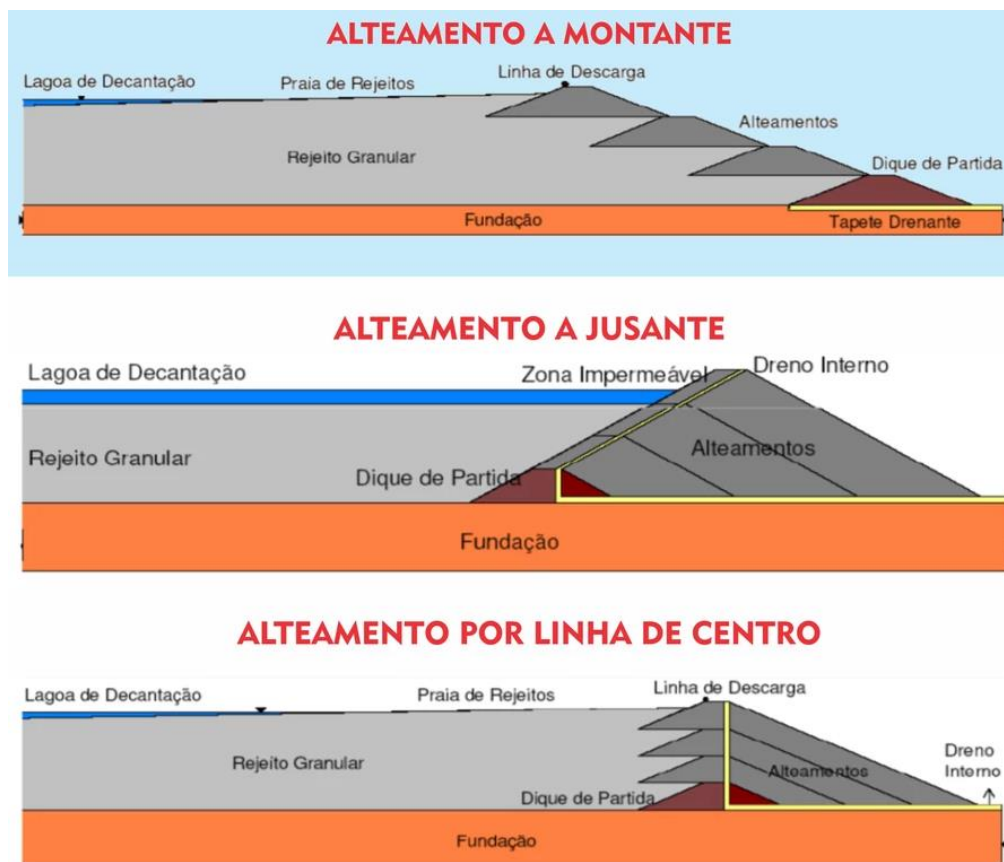
Fonte: FEAM (2016).

De acordo com as características estabelecidas pelos métodos construtivos de barragens de rejeitos construídas por alteamentos sucessivos, três tipos clássicos podem ser destacados: (1) Método de Montante; (2) Método de Jusante; e (3) Método de Linha de Centro (FIGURA 10).

Embora o método de montante seja considerado o mais econômico e de maior facilidade construtiva e executiva, esta concepção de estrutura, principalmente quando alteadas com o próprio rejeito do processo, requerem controle exigente tanto na etapa de construção quanto de monitoramento de qualidade do resíduo e de estabilidade, uma vez que apresentam algumas desvantagens relacionadas à dificuldade de controle da superfície freática, susceptibilidade ao “piping”, maior propensão a processos erosivos nas superfícies e probabilidade de liquefação (ESPÓSITO, 2000).

Por outro lado, o método de alteamento de jusante caracteriza-se com maior estabilidade e segurança em relação ao de montante, porém, requerendo alto custo construtivo. O alteamento por linha de centro segundo Chambers e Higman (2011) seria o meio termo entre os dois métodos citados anteriormente em relação a estabilidade sísmica.

Figura 10 - Métodos construtivos de barragens de rejeitos.



Fonte: ALBUQUERQUE FILHO (2004).

Toda disposição de rejeitos produzidos gera impactos, que podem ser de maior ou menor magnitude. Em casos extremos, temos ainda eventos negativos de grandes proporções, como no caso do rompimento da barragem de Fundão em Mariana (2015) e da barragem da mina do córrego do Feijão em Brumadinho (2019), ambas no Estado de Minas Gerais, e que resultaram em danos severos a sociedade e ao meio ambiente. Tais eventos repercutiram inclusive na proibição de barragens alteadas a montante em todo o território nacional e determina que o empreendedor deve concluir a descaracterização da barragem construída ou alteada pelo método a montante até 25 de fevereiro de 2022, conforme determina a Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.

Nesse sentido, considerando tendência do aumento da produção de rejeitos de minério de ferro dos últimos anos, temos claramente um enorme desafio para as autoridades regulamentadoras, a destacar os órgãos ambientais, tendo em vista o conseqüente aumento de demanda pelo licenciamento de novas áreas de disposição de rejeitos.

Existe a preocupação dos órgãos ambientais quanto aos aspectos operacionais da planta e dos rejeitos gerados, de segurança e possíveis danos associados às barragens que compõem o reservatório para disposição destes rejeitos (FERRANTE, 2014; PORTES, 2013). Portanto, favorável ao aproveitamento de rejeitos como critério de redução dos impactos ambientais, há a possibilidade concreta de eliminação/minimização do passivo ambiental das barragens existentes e/ou redução do tamanho dessas e dos riscos à segurança a elas associados (REIS, 2005).

3.7. Legislação aplicada à exploração minerária

A Agência Nacional de Mineração, no Art. 5º do Decreto 9406/2018 estabelece atividades de mineração como:

A atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, a comercialização dos minérios, o aproveitamento de rejeitos e estéreis e o fechamento da mina (ANM, 2018).

Nos últimos anos as atividades de mineração têm sido duramente criticadas por seus impactos negativos sobre o meio ambiente e sociedade, sobretudo após os últimos acontecimentos ocorridos no país. Foram duas barragens rompidas em Minas Gerais na última década, a barragem de Fundão, em Mariana (MG) em 5 de novembro de 2015, e mais recente com o rompimento da barragem do Córrego do Feijão, localizada no Município de Brumadinho (MG), ocorrido no dia 25 de janeiro de 2019. Em ambos os casos foram alterados significativamente o meio físico, biológico e socioeconômico, alcançando elevada extensão geográfica, instaurando um grande impacto ambiental e social como um todo, sendo imperativo, assim, o melhor planejamento e gerenciamento dos projetos dos sistemas de retenção de rejeitos atualmente empregado por empresas de médio e grande porte do setor de mineração.

Segundo Magalhães (2018), o gerenciamento das barragens de rejeitos são fundamentais para a redução dos impactos ambientais possivelmente gerados durante a vida útil, desde a escolha do local de implantação, construção, operação e desativação. Além disso, no Brasil, os empreendimentos que exercem as atividades de extração mineral necessitam apresentar e aprovar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo relatório conclusivo, o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) no órgão

competente, a fim de obter o licenciamento ambiental do empreendimento, de acordo com o preconizado através da Resolução CONAMA nº 001/1986 (CONAMA, 1986).

Segundo o Art. 1º da Resolução Conama 01 de 1986, impacto ambiental compreende:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

A nível estadual, a implementação de política de licenciamento em Minas Gerais foi inicialmente sancionada pela Lei Estadual nº 7.772, de 8 de setembro de 1980, no qual, de acordo com o art. 8º dessa lei, compete ao Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) o licenciamento prévio ou autorização ambiental de funcionamento dos empreendimentos e atividades considerados efetivos ou potencialmente poluidores (MINAS GERAIS, 1980).

Por outro lado, através da promulgação da Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004 e sua respectiva atualização (Deliberação Normativa COPAM nº 217/2017), foram estabelecidos os critérios de classificação dos empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental, segundo o porte e o potencial poluidor, em Minas Gerais, a exemplo das atividades mineradoras (COPAM, 2004; COPAM, 2017).

Especificamente no setor minerário, o impacto ambiental ocorre de várias formas, a exemplo da alteração da paisagem, do meio atmosférico (aumento da quantidade de poeira em suspensão no ar), dos recursos hídricos (assoreamento dos cursos d'água), dos processos geológicos (erosão, voçorocas, hidrogeologia), das feições geomorfológicas e das encostas (instabilidade de taludes), e alteração de fauna e flora (BACCI et al., 2006). Perante a importância da atividade minerária versus o risco ambiental e social do mesmo, a legislação busca aprimorar-se com base em novas tecnologias e estudos de caso. Constata-se que a partir do ano de 2016, foi intensificado a publicação de novas normativas a fim de minimizar os impactos socioambientais oriundos da mineração.

A Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, estabelecida pela Política Nacional do Meio Ambiente foi um grande marco na gestão ambiental. Concomitantemente, foi instituído o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), abrangendo Fundações instituídas pelo Poder Público juntamente de órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Visto a necessidade do estabelecimento de normas, critérios e padrões relativos ao controle e manutenção da qualidade do meio ambiente, instituiu-se o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), também pela Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981.

Ao refletirmos sobre os desafios encontrados na recuperação de áreas degradadas pela mineração, no estado de Minas Gerais, podemos destacar a Deliberação Normativa Copam nº 220, de 21 de março de 2018, que estabelece diretrizes e procedimentos para a paralisação temporária da atividade minerária e para o fechamento de mina, além de estabelecer critérios para elaboração e apresentação do relatório de paralisação da atividade minerária, do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD e do Plano Ambiental de Fechamento de Mina - PAFEM, definidos de acordo com a classe de enquadramento do empreendimento. O PRAD e o PAFEM estão descritos nos subitens a seguir.

Em relação ao fechamento de mina, conforme a Deliberação Normativa Copam nº 220/2018, o PRAD e o PAFEM, devem ser elaborados segundo termos de referência, disponibilizados pelo órgão ambiental, no caso do Estado de Minas Gerais, pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM).

A recuperação em áreas mineradas é considerado uma das mais complexas devido a todo o relato anteriormente citado. Deve-se observar os seguintes procedimentos:

- a) caracterização dos estéreis, tanto para possível uso durante o processo de revegetação, como para se avaliar a qualidade da água;
- b) alcalinidade ou a acidez proveniente da camada de estéril;
- c) nutrientes extraíveis;
- d) as propriedades físicas e litológicas dos estéreis;
- e) o plano de fechamento da mina;
- f) o isolamento de materiais tóxicos, de metais pesados e a concentração de sais, que caso seja alta, resulta em elevada condutividade elétrica do sistema;
- g) a composição e a formulação do “topsoil” substituto; e análise de custos do manuseio do material.

3.8. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD

A priori, a definição de área degradada ou ecossistemas degradados faz-se necessário, pois este apresenta diferentes entendimentos e amplitudes. Alguns autores como Carpanezzi et al. (1990), bem como o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA (1990) definem área degradada como uma área com desequilíbrio dos ecossistemas naturais e que apresentam alterações quanto:

- a) a flora: comprometimento de seu meio de regeneração biótica como banco de sementes, de plântulas, chuva de semente ou partes que viabilizam a rebrota, perda da camada fértil do solo;
- b) a fauna: expulsão ou remoção, destruição; e
- c) ao sistema hídrico: alteração do regime de vazão e deterioração da qualidade.

De acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 5/2009 subscrita pelo Ministério do Meio Ambiente, interpreta área degradada o local cuja capacidade produtiva e qualitativa alterada devido a remoção, expulsão e destruição total ou parcial do solo, vegetação, fauna e flora (MMA, 2009). Nesse contexto, a degradação atinge três esferas: meio físico, biótico e antrópico, além disso, Castro Filho e Muzilli (2002) destaca que devido ao solo contemplar os efeitos dos três meios, os processos de investigação dos impactos são mais intensos, portanto, entender o tipo de classificação do solo é imprescindível para permitir uma escolha mais assertiva das espécies a serem plantadas e o conjunto de práticas de manejo mais apropriada para a área degradada.

A degradação física, química e biológica quando identificadas e quantificadas fornece informações importantes para o processo de recuperação da área, elas funcionam como indicadores de qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994; REINERT, 1998). De acordo com Dias e Griffith (1998), para o correto uso dos indicadores é necessário a integração de uma visão holística e harmônica para com o ecossistema em análise.

A avaliação por meio dos indicadores e constituintes bióticos e abióticos do ambiente deve ser interpretada de acordo com o uso de padrões ou referências, preferencialmente, da área em questão. Esta avaliação permite determinar o grau de degradação (diagnóstico) e servirá como parâmetro futuro no cenário pós-degradação (prognóstico) (DIAS, 2003a; SOUZA, 2018). Assim, Sanches (2001) concluiu que solos degradados são caracterizados por apresentar:

- a) Perda de matéria orgânica devido à erosão ou a movimentos de massa;
- b) Acúmulo de material alóctone recobrando o solo;
- c) Alteração negativa de suas propriedades físicas, tais como sua estrutura ou grau de compacidade;
- d) Alteração de características químicas, devido a processos como salinização, lixiviação, deposição ácida e concentração de poluentes; e
- e) Morte ou alteração das comunidades de organismos vivos do solo.

O marco regulatório para a Recuperação de áreas Degradadas (RAD), disposto na Constituição Federal § 3º do art. 225 afirma que: “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.”. Sendo a responsabilidade ambiental descrita no § 3º do art. 225, da CRFB/88, que: “As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”.

Já o art. 14, §1º, da PNMA reporta que: “Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade.” A necessidade de recuperação da área degradada segundo a Constituição Federal, fica a cargo daquele que explorou os recursos minerais (art. 225, §2º).

O Decreto n.º 97.632/89 dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n.º 6.938, ressaltando que os empreendimentos minerários deverão apresentar o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) assim como o Estudo de Impacto Ambiental - EIA e o Relatório do Impacto Ambiental - RIMA, sendo estes passíveis de aprovação ou não do órgão competente.

O PRAD deve ser apresentado aos órgãos ambientais, como parte complementar do processo de licenciamento de empreendimento que desenvolvam atividades potencialmente degradadoras, ou que possam modificar o meio ambiente de forma gradual ou abrupta, assim como para aqueles empreendimentos que foram advertidos administrativamente por terem causado alguma degradação do meio ambiente. Dessa forma, o PRAD constitui de um conjunto de técnicas e medidas que garantirão que a área degradada seja reestabelecida, garantindo um novo equilíbrio dinâmico, solo com capacidade de usos futuros e paisagem esteticamente harmoniosa.

Devido à complexidade de um PRAD, faz-se necessário que este seja abordado de maneira multidisciplinar, compreendendo áreas como a administração, agronomia, arquitetura, biologia, economia, engenharia, hidrologia, geografia, geologia, medicina, química, sociologia, entre outros (BITAR, 1997), ampliando-se, assim, o escopo para aquisição de informações técnicas e precisas para um PRAD. Almeida (2016) diz que um projeto de recuperação é complicado e necessita de tempo, dinheiro, mão de obra, tecnologias e ferramentas além de grande conhecimento dos fatores que estão relacionados ao local a ser recuperado. Faz-se necessário que o PRAD abranja além do escopo ambiental, questões sociais e ambientais relacionadas ao pós-implantação do projeto de recuperação.

Vários objetivos podem existir quando se quer recuperar uma área de um estado degradado para um não degradado. Uma das possibilidades é a recuperação como uma designação genérica, de sentido amplo, indicando qualquer ação que possibilite a reversão de uma área degradada para uma condição não degradada (MAJER, 1989, apud IBAMA, 1990). Este conceito está de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC (Art. 2º - incisos XIII e XIV - da Lei 9985, de 18 de julho de 2000) no qual define a recuperação como uma técnica para devolver o ecossistema a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original, mas que estabeleça um novo equilíbrio dinâmico, visando o uso futuro do solo e harmonia estética da paisagem.

Neste sentido, pode-se considerar que a recuperação pode ser dividida em dois objetivos gerais: a restauração e a reabilitação. Restauração pode ser definida, ainda de acordo com a Lei 9985, como: a aproximação, o mais próximo possível, da condição original do ecossistema. Não existe uma obrigação para que seja atingida uma condição original, mas o objetivo é o de acelerar a recuperação de um ecossistema com respeito a sua saúde, integridade e sustentabilidade, estabelecendo um ecossistema funcional, composto por um conjunto de espécies de ocorrência regional (Pacto da Mata Atlântica, 2009, vários capítulos).

Já a Reabilitação é um termo utilizado quando o objetivo principal da recuperação for o de restabelecer apenas algumas funções para a área degradada, sendo que duas principais se destacam: (1) proteção do solo contra erosão; e (2) a diminuição do impacto visual negativo. Com suas principais funções restabelecidas, atribui-se a área uma função adequada ao uso humano, direcionando-a a uma situação alternativa e estável (MINTER/IBAMA, 1990). Admitindo que estes usos podem ser comercial, industrial,

habitacional, recreativo, entre outros. Alguns exemplos de reabilitação para fins recreativos é a construção do Centro Educacional e Recreativo do Butantã, que foi instalado na área de uma antiga pedreira, e o lago do parque Ibirapuera em São Paulo, instalado em uma antiga cava de extração de areia.

Geralmente, a reabilitação está associada a áreas extremamente degradadas como solos contaminados, solos sem os horizontes superficiais, áreas de deposição de rejeito ou estéril de mineração, onde não existem camadas orgânicas (ABRAHÃO; MELLO, 1998; BELL, 1998; DIAS, 1998; TOY, 1998). Segundo Franco e De Farias (1997), nestas áreas destaca-se a importância do uso de espécies capazes de suportar condições extremas e que funcionem como catalisadoras da sucessão ecológica. Para estas situações, os autores ainda recomendam a implementação de espécies leguminosas com altas taxas de deposição de matéria orgânica e fixadoras de nitrogênio, macronutriente essencial para o desempenho vegetal.

De antemão sabe-se que para a efetividade do PRAD é necessário a execução de todas as etapas do processo, sendo estas iniciadas ainda na implementação da área a ser minerada. As orientações legais quanto aos objetivos, implantação de estruturas e remodelação da área degradada estão presentes na legislação brasileira, porém, as metodologias e tecnologias específicas pertinentes não são indicadas. Além disso, segundo Araújo (2016), as diretrizes disponibilizadas são de caráter geral, não havendo determinações construtivas mínimas indispensáveis no processo de recuperação, o que pode gerar desacerto quanto as instalações de estruturas e suas escolhas.

Respeitando a premissa que estabelece a necessidade da remoção do solo superficial para a lavra de minérios, Ricklefs (2012) e Tacey e Glossop (1980) destacam a importância de uma camada superficial de solo orgânico (compreendendo o horizonte A e parte do horizonte B, rico em húmus) como fundamental para a melhor adaptabilidade e desempenho vegetal em áreas degradadas passíveis de recuperação, principalmente em áreas de extração mineral, no qual apresentam limitações de nutrientes e matéria orgânica, mais do que isso, dificultam a recuperação da área, muitas vezes, em função de metais do solo.

Além disso, Braga (2008) afirma que a camada superficial de solo, também denominada de “topsoil” funciona como um banco de sementes florestais em que as sementes se encontram, geralmente, em estado de dormência primária ou secundária, além de também muito rico em matéria orgânica, microrganismos e nutrientes.

A retirada do topsoil é um procedimento obrigatório em áreas que serão mineradas. Após o decapeamento com o auxílio de máquinas escavadoras (BARROS et al., 2012), a camada orgânica é armazenada para que com o esgotamento da frente de lavra, esta seja recolocada, com o objetivo de formar uma camada superficial sobre a área impactada (GARDNER; BELL, 2007; SALOMÃO, 2012) que tenha capacidade de facilitar o início da germinação (JAUNATRE et al., 2014) e grande riqueza de espécies das áreas em recuperação, possibilitando maior êxito na recuperação quando comparadas a parcelas sem uso do topsoil (ALLISON; AUSDEN, 2004). O uso de topsoil reestabelece a presença da fauna a medida em que há a melhora a flora (IBAMA, 2011).

A fim de obter eficácia com o uso do topsoil na recuperação de áreas degradadas, recomenda-se o estudo minucioso de trabalhos relacionados, considerando as possíveis formas de obter o topsoil, a espessura da camada a ser retirada, como acondicioná-la (local aberto sujeito a intempéries ou fechado), clima, fatores químicos, biológicos e econômicos.

Nesse contexto apresentado e em acordo ao exposto por Antunes (2019), a recuperação dos danos causados pela atividade minerária nada mais é do que uma atividade de compensação ao meio ambiente, pois trata-se de uma área de impossível retorno ao *status quo* antes da área em questão.

3.9. Plano Ambiental de Fechamento de Mina – PAFEM

Além do desenvolvimento social e econômico, sabe-se que o empreendimento minerário gera passíveis ambientais e que estes devem ser mitigados/recuperados visando a sustentabilidade do meio ambiente. No entanto, faz-se necessário instrumentos legais que tenham como fim a harmonização e padronização dos procedimentos aplicáveis a cada um dos casos de degradação e que, assim, não promova negligência quanto as responsabilidades dos empreendimentos em relação a manutenção ou recuperação da qualidade ambiental.

O princípio poluidor-pagador, descrito no art. 4º, inc. VII, da Lei nº 6.938/81, ao dispor que a Política Nacional do Meio Ambiente, e também um dos elementos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), descrito no Art 6º, determina que quem polui deve responder pelo prejuízo que causa ao meio ambiente (indenizar e/ou recuperar), visto que o meio ambiente não somente é um bem que pertence a todos, mas que é essencial pra todas as atividades que envolvem a ação humana, direta ou indiretamente (PNMA, 1981).

Segundo o art. 3º, inciso IV, da Lei 6.938/81 (PNMA) entende-se por poluidor como “a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável direta ou indiretamente por atividades causadoras de degradação ambiental”. Além disso, compreendendo a responsabilidade do poluidor pelas ações tomadas na atividade de mineração, no âmbito estadual conforme a DN nº 220, de 21 de março de 2018 do COPAM, defende que é necessário a definição da paralisação temporária da atividade minerária e do fechamento de mina ainda no planejamento do empreendimento, de modo a viabilizar uma condição estável, produtiva, com foco no uso futuro das áreas e minimização poluidora, proporcionando adequação e alinhamento a sustentabilidade ambiental (COPAM, 2018).

O fechamento de uma mina compreende toda a vida da mina, abrange os estudos de viabilidade econômica e ao encerramento da atividade minerária. O PAFEM, foi instituído no Estado de Minas Gerais por meio da DN do COPAM 127, de 27 de novembro de 2008, e estabelecia diretrizes e procedimentos para avaliação ambiental da fase de fechamento de mina que compreendiam basicamente o descomissionamento, a recuperação e o uso futuro da área impactada (COPAM, 2008).

Em março de 2018 a DN do COPAM 127 foi revogada e substituída pela DN do COPAM 220 que trouxe mais clareza para o assunto. Descomissionamento foi definido como a desativação da infraestrutura e serviços associados à produção e desmobilização da mão de obra do empreendimento minerário. Para a recuperação e o uso futuro da área impactada, foi esclarecido a necessidade de um estudo com finalidade de fechamento de mina, dependendo da classe de enquadramento do procedimento o mesmo pode ser o PRAD ou o PAFEM e, ressaltando, que ambos são distintos entre si e que estes se complementam (SEMAD, 2021). Neste contexto, o fechamento de mina foi dividido em quatro etapas no estado de Minas Gerais, a saber:

- a) Preencher e enviar via Sistema Eletrônico de Informação (SEI) o formulário “Estudos Técnicos Ambientais: Fechamento de Minas”;
- b) Incluir documentação adicional no processo intercorrente no SEI;
- c) Receber vistoria, técnicos da FEAM para vistoria no empreendimento a fim de atestar as condições ambientais declaradas no estudo; e
- d) Promover uma reunião pública que deverá ser realizada no município onde se localiza o empreendimento, com objetivo de apresentar o PAFEM às partes interessadas, com ênfase nos aspectos ambientais e sociais correlatos ao fechamento da atividade, bem

como nas propostas de uso futuro da área minerada, com o intuito de colher opiniões e sugestões da comunidade.

As etapas, bem como os procedimentos e documentos necessários para atestar a execução do plano de fechamento de mina, de acordo com o Estado de Minas Gerais, podem ser acessadas no site do governo de Minas Gerais (OBTER, 2021).

Em Minas Gerais, a classe das atividades e enquadramentos está contido na DN COPAM N° 217 de 06 de dezembro de 2017, no qual são estabelecidos critérios locais e para classificação, considerando o porte e potencial poluidor para então serem definidas as modalidades de licenciamento ambiental. O ponto primário para a distinção de qual via ocorrerá o fechamento de mina - PRAD ou PAFEM - se dá por meio do enquadramento de classe da atividade, obtida via preenchimento das tabelas e anexos presentes na DN. Em empreendimentos em operação ou paralisados que estiverem enquadrados nas classes 1 a 4, o fechamento ocorrerá via PRAD, nas classes 5 e 6 ocorrerá via PAFEM.

3.10. Recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração

Para que seja possível a recuperação de ambientes ou ecossistemas degradados pela mineração, faz-se necessário a utilização de medidas que busquem o equilíbrio dinâmico do meio físico. A viabilização deste equilíbrio está relacionada às condições apropriadas para que as comunidades bióticas possam evoluir nestes locais, além de um adequado manejo dessas comunidades, como o plantio de espécies vegetais que melhor se adaptem as condições de campo e que apresentem melhor capacidade de difusão da sucessão ecológica, constituindo-se, assim na ampliação da flora e fauna (SÁNCHEZ, 2013).

As técnicas de recuperação ambiental são essenciais para a adequação das áreas advindas da atividade mineradora, além disso, a escolha do método e tecnologia são cruciais para o desempenho, a médio e longo prazo, da recuperação das áreas degradadas, nos quais destacam-se:

- a) O plantio de mudas (GOMES et al., 2015; GOMES et al., 2018; JOLY et al., 2000; NEGREIROS et al., 2016);
- b) A semeadura direta (PELLIZZARO, 2016; ROLIM et al., 2007);
- c) A indução da regeneração natural (HOLL, 1999; ZHANG et al., 2001); e

d) A deposição de serapilheira e solo superficial (FERREIRA et al., 2015; LE STRADIC et al., 2016; PILON et al., 2017).

Com a diversidade e interdisciplinaridade requerida por um PRAD (BITAR, 1997), a adoção de diversas técnicas na recuperação de uma área, quando bem adaptadas, pode ser uma alternativa mais efetiva e com maiores chances e rapidez de resultados positivos.

Segundo Paranhos (2012), o PRAD (Decreto Federal nº 97.632/89) prevê a estabilização das cavas e deixa o território pronto para um novo uso, o que implica uma nova conformação da paisagem modificada pela extração. Um grande passo foi dado em direção à reabilitação da área.

Na prática, a aplicabilidade e importância do conceito do PRAD, ainda segundo Paranhos (2012), foi observado na Jazida de Carvão de Nord-Pas de Calais, situada no extremo norte da França, no qual houve recuperação bem-sucedida das áreas mineradas em harmonia com o passado histórico, cultural e social que o local compreende. A herança cultural resultante da atividade extrativa foi determinante na conformação de uma identidade local, na delimitação da cidade, no modo de vida da sociedade e no desenvolvimento da economia. Mesmo com a mineração exaurida, seus elementos permanecem ainda hoje e configuram a paisagem, propiciando novos usos de forma harmônica e instrutiva para os cidadãos.

Por outro lado, Bitar (1997) reconheceu que a dificuldade do controle da erosão é fator crucial para o insucesso na eficiência de recuperação de áreas degradadas, a exemplo de áreas de mineração da região metropolitana de São Paulo.

De acordo com Silva et al. (2018), a recuperação de áreas degradadas pela mineração pode ser realizada por diversas metodologias e etapas, com destaque:

a) Ajuste de relevo

Esta técnica apresenta as principais funções associadas à estabilização do solo e aplica-se, assim, como essenciais no controle da erosão e a aderência da vegetação. Além disso, consiste na adequação do relevo à paisagem e na instalação de estruturas para evitar o deslocamento das partículas sólidas provenientes do solo exposto. Segundo enfatizados pela USEPA (2011); Neri e Sánchez (2012) no método de “Ajuste de relevo” podem ser aplicadas diretrizes de recuperação de áreas de mineração por etapas através do remodelamento e manejo de taludes, instalação e manejo de estruturas de drenagem,

instalação e manejo de lagoas de sedimentação, uso e manejo de estéreis, manejo de solo e preparo da área para realização do plantio.

b) Revegetação

A capacidade de atuação da vegetação na recuperação de uma área degradada e como controladora dos processos erosivos são citados por vários autores (COFA, 2006; MELO et al., 2013). Segundo Engel e Parrotta (2008) e Silva et al. (2018), a partir da realização do ajuste de solo, as espécies vegetais e a forma de condução do plantio determinarão o sucesso ou o fracasso da recuperação da área, principalmente do ponto de vista da restauração ecológica. Nesse sentido, os autores ainda destacam que com o objetivo primário de conter processos erosivos, a restauração ecológica visa recriar comunidades ecologicamente viáveis e estáveis, assistindo e direcionando os processos naturais, que podem ser alcançadas através da realização do estabelecimento de áreas prioritárias para o plantio, seleção de espécies, aquisição das espécies selecionadas, estabelecimento de uma estratégia de plantio e técnicas para plantio adequadas.

c) Recuperação

Parte do processo de recuperação é o seu acompanhamento, o qual deve ser sensível para apontar a necessidade de ajustes ao projeto e o término do PRAD (MINTER; IBAMA, 1990; USEPA, 2011). Para isso, recomenda-se realizar o controle de pragas, como artrópodes e ervas ruderais invasoras (MORAES et al., 2013). Para o monitoramento do processo de recuperação, MCA (1998) sugere o método de análise funcional de ecossistema/paisagem – conhecido como EFA (Ecosystem/Landscape Function Analysis), o qual foi apresentado originalmente por Tongway (2004).

A análise da função paisagística (EFA) é um procedimento de avaliação visual usado para avaliar e monitorar rapidamente a função do solo a partir de características mensuráveis da superfície do solo. Utiliza 11 indicadores de propriedades e processos biogeoquímicos do solo, e gera três índices de função do solo: estabilidade do solo, ciclagem de nutrientes e infiltração. Esses índices estão fortemente associados à provisão e regulação de serviços ecossistêmicos, como retenção de solo, ciclo de água e nutrientes, armazenamento de carbono e produção de biomassa. Portanto, trata-se de uma ferramenta eficaz de pesquisa e monitoramento de áreas em processo de recuperação.

Quando o objetivo é recuperar áreas degradadas pela mineração, a perspectiva não é diferente. Com exceção da indução natural, que muitas vezes é inviabilizada pela existência de solos extremamente pobres quimicamente, estéreis e fisicamente mal

estruturados, todas as demais técnicas são relativamente comuns no setor, ainda que sejam raras as experiências e metodologias que busquem efetivamente uma recuperação do equilíbrio do ecossistema após atividade mineradora.

O Parque das Pedreiras em Curitiba – PR é um exemplo de PRAD bem-sucedido no Brasil. No local de uma antiga pedreira, a João Grava, que em 1992, fora revertida em parque. A construção, denominada A Ópera, está integrada à paisagem por meio dos blocos de fundação apoiados diretamente na rocha, circundada por lago e cascata d'água. O espaço possui palco ao ar livre podendo abrigar grandes apresentações, restaurantes, loja oficial, além de lagos, cascatas e mata de araucárias.

O Parque das Mangabeiras em Belo Horizonte – MG foi criado em 1966 por meio de do decreto nº 1.466, anteriormente uma mina de ferro da empresa Ferrobrel, antiga empresa de mineração que funcionou até o final da década de 70. Neste caso, um exemplo de PAFEM bem-sucedido com a transformação de uma mina de ferro e uma reserva florestal com área de recreação para a cidade. O Parque foi inaugurado em 1982 e possui estrutura para lazer e esportes, além de recantos naturais, quadras de peteca, tênis e poliesportivas, brinquedos e atividades culturais.

Para que a recuperação seja efetiva faz-se necessário a manutenção da área com medidas como: reparo dos sistemas de contenção de erosão, irrigação, adubação, roçada e coroamento, controle de pragas e doenças e substituição de plantas mortas (IBAMA, 2011).

O monitoramento da área em processo de recuperação é de extrema importância até que o mesmo seja encerrado. Trata-se da elaboração de relatórios com a finalidade de monitoramento e avaliação da área, a periodicidade dos relatórios fica a cargo do responsável técnico com base na metodologia de monitoramento adotada. O relatório deve conter informações sobre a execução das medidas propostas e justificar as medidas propostas não realizadas, informar os sucessos e insucessos da recuperação com base nos parâmetros monitorados, apontar e propor correções para possíveis falhas do processo de recuperação da área (IBAMA,2011).

Ainda de acordo com IBAMA (2011), o encerramento da execução do processo de recuperação dá-se quando a área em questão se encontra satisfatoriamente recuperada respeitando os parâmetros indicativos. Para este efeito, o mesmo deve estar documentado via Relatório de Avaliação pelo responsável técnico pela elaboração e execução do PRAD, e posteriormente analisado pelo IBAMA que irá dar como conclusivo ou não a recuperação da área.

4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O setor de mineração de ferro desempenha fundamental importância na concepção de desenvolvimento social e econômico brasileiro, sendo destaque em cenário nacional e internacional. Contudo, tais atividades resultam em danos ao meio ambiente que tem proporcionado desalinhamento com as práticas de qualidade ambiental requerida por muitas nações.

O entendimento dos efeitos dos rejeitos e avaliação e implementação dos critérios de revegetação estabelecidos no Plano de Recuperação de Área Degradada são fundamentais para estabelecer avanço econômico do setor e alinhar a sustentabilidade as novas perspectivas de crescimento da atividade de extração de minério de ferro nas jazidas brasileiras.

No entanto, diferentemente do que um senso comum talvez venha a imaginar, as tratativas necessárias para fechamento de uma mina, não se limitando a recuperação da área degradada, devem ser pensadas e planejadas ao longo de toda sua operação. Cada produto mineral explorado em um empreendimento minerário implica, necessariamente, em redução da vida útil deste empreendimento e, é neste contexto, que o Plano de Fechamento de Mina deve ser pensado.

Por mais longa que seja a reserva de um empreendimento minerário, sua exploração atemporal não é opção. Trata-se do consumo de recursos não renováveis. Queiramos ou não, uma mina começa a fechar no dia em que é aberta. Sendo esta uma questão inexorável, a reflexão que nos resta é como podemos atuar para lidarmos com esta questão da maneira mais consciente e sustentável possível.

5 REFERÊNCIAS

- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13029/1993 - **Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração**. 1993.
- ABRAHÃO, W. A. P; MELLO, J. W. V. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In: Dias, L.E.; Mello, J.W.V. de (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos: Sobrade, p.15-26, 1998.
- ALBUQUERQUE FILHO, L.H. (2004), **Análise do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 191 p.
- ALLISON, M.; AUSDEN, M. **Successful use of topsoil removal and soil amelioration to create heathland vegetation**. Biological Conservation, v.120, p.221–228. 2004.
- ALMEIDA JÚNIOR, M. V. C. **Mineração e Dinâmica da Paisagem**. Especialização de Mineração e Meio Ambiente. Ed. 1. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. 2017. 42p.
- Agência Nacional de Mineração/ **Anuário Mineral Brasileiro**: principais substâncias metálicas; coordenação técnica de Marina Dalla Costa. – Brasília: ANM, 2020.
- ANTUNES, P. B. **Direito Ambiental**. 20ª edição. [S. l.]; Grupo GEN, 2019. Disponível em:
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597025194/cfi/6/40!/4/24/2/2@0:70.1>. Acessado em: mar.2021. p. 839.
- ARAÚJO, E. R. **Fechamento de Minas no Brasil**: Aspectos legais e consequências sobre o meio ambiente e populações. Rio de Janeiro: CETEM, 2016.
- ARAÚJO, S.M.V.G. **As áreas de preservação permanente e a questão urbana**: estudo técnico consultoria legislativa da área de meio ambiente, direito ambiental, organização territorial, desenvolvimento urbano e regional. Brasília, DF: [s.n.], 2002. 12p.
- BANNING, N. C., *et al* (2011) Soil microbial community successional patterns during forest ecosystem restoration. **Applied and Environmental Microbiology** 77:6158–6164.
- BARROS, D. A. *et al*. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. Rem: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 65, n. 1, p. 127-133, 2012.
- BELL, L.C. Management of soils and overburden for plant growth medium reconstruction after mining. In: Dias, L.E.; Mello, J.W.V. de (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, Departamento de Solos: Sobrade, p.117-129, 1998.

BITAR, O. Y. **Avaliação da Recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. Tese (Doutorado) - ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo. 1997. p. 41.

BRAGA, A. J. T. *et al.* Composição do banco de sementes de uma floresta semidecidual secundária considerando o seu potencial de uso para recuperação ambiental. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n. 6, p.1089-1098, 2008.

BRASIL. **Lei n.º 6.398, de 31 de agosto de 1981**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: jun. de 2021.

BRASIL. **Lei n.º 13.575, de 26 de dezembro de 2017**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113575.htm. Acesso em: mar. 2021.

BRASIL. **Lei n.º 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm. Acesso em: jun. de 2021.

BRASIL. Secretaria De Geologia, **Mineração E Transformação Mineral – SGM**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral>. Acesso em: 06 de maio de 2020.

BRIDGE G. **Contested terrain: mining and the environment**. *Annu Rev Environ Resour* 29:205–259, 2004.

CARLI, C. D. **Análise de projetos limite: lavra a céu aberto x lavra subterrânea**. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). 2013. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

CAMIZULI, E., *et al.* **Impact of trace metals from past mining on the aquatic ecosystem: a multi-proxy approach in the Morvan (France)**. *Environ Res* 134:410–419, 2014.

CARPANEZZI, A. A. *et al.* **Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: observação em laboratórios naturais**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, n. 6., 1990. Campos do Jordão. Anais... São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p. 216-221.

CARPANEZZI, A. A. *et al.* **Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: observação em laboratórios naturais**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, n. 6., 1990. Campos do Jordão. Anais... São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p. 216-221.

CARVALHO, P. S. L. *et al.* **Minério de ferro**. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 39, p. 197-233, mar. 2014.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. **Importância do conhecimento de solos e nutrição de plantas para o Engenheiro Florestal**. *Folha Florestal*, n. 101, p.21-23, 2002.

CHAMBERS, D. M.; HIGMAN, Bretwood. LONG TERM RISKS OF TAILINGS DAM FAILURE. Seldovia, USA: 2011.

COFA. Commonwealth of Australia. 2006. **Mine Rehabilitation**: Leading Practice Sustainable Development Program For The Mining Industry. Australia: Camberra, 77p. Disponível em: <http://www.industry.gov.au/resource/Programs/LPSD/Pages/LPSDhandbooks.aspx#>. Acesso em 10 de maio de 2021.

CONHEÇA AS MINAS DO SISTEMA CENTRO-OESTE NO MATO GROSSO DO SUL. VALE, 2014. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/conheca-minas-sistema-centro-oeste-mato-grosso-sul.aspx>. Acesso em: 15 de abr. de 2021.

CONHEÇA MAIS SOBRE A HISTÓRIA DE CARAJÁS, A MAIOR MINA DE MINÉRIO DE FERRO DO MUNDO. VALE, 2018. Disponível em: <http://www.vale.com/hotsite/PT/Paginas/conheca-mais-sobre-historia-carajas-maior-mina-minerio-ferro-mundo.aspx>. Acesso em: 15 de abr. de 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa nº 74, de 9 de setembro de 2004**. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Lex: Diário do Executivo – Minas Gerais, 02 de setembro de 2004, 112 p.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa nº 217, de 06 de dezembro de 2017**. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Lex: Diário do Executivo – Minas Gerais, 08 de dezembro de 2017.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa nº 220, de 21 de março de 2018**. Estabelece diretrizes e procedimentos para a paralisação temporária da atividade minerária e o fechamento de mina, estabelece critérios para laboração e apresentação do relatório de Paralisação da Atividade Minerária, do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD e do Plano Ambiental de Fechamento de Mina - PAFEM e dá outras providências. Lex: Diário do Executivo – Minas Gerais, 28 de março de 2018.

DIAS, L. E. **Caracterização de área degradada e fontes de degradação ambiental**. Notas de aula da disciplina Recuperação de Áreas Degradadas. Departamento de Solos. UFV, Viçosa, MG, 2003a. p.11-33.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.) **Recuperação de Áreas Degradadas**. Viçosa:

UFV, Departamento de solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 1-8.

DIAS, L.E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: Dias, L.E.; Mello, J.W.V. de (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos: Sobrade, p.27-44, 1998.

DO CARMO, F. F.; DE SOUZA, M. A. T. Em **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**, Do Carmo, F. F., Kamino, L. H. Y., eds.; Pristino: Belo Horizonte, 2015, p. 543.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. B.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Madison: SSSA. 1994. 244p. (Special publication number 5).

DUARTE, H. A. FERRO – Um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade. **Quim. Nova**, vol. 42, n. 10, 1146-1153, 2019.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. 2008. **Definindo a restauração ecológica**: tendências e perspectivas mundiais. In: Kageyama, P.Y., Oliveira, R.E., Moraes, L.F.D, Engel, V.L.E. & Gandara, F.B. *Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais*. 1 ed. Botucatu: FEPAF, 340 p.

ENRÍQUEZ, M. A. **Maldição ou dádiva?** Os dilemas do desenvolvimento sustentável a partir de uma base mineira. São Paulo, Signus, 2008.

ESPÓSITO, T. J. Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico. 2000. 363f. Tese (Doutorado) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA, Brasília.

EVANS, A. An Introduction to the ore geology. In: **Deposits of sedimentary and volcanic environments**. Oxford: BLACKWELL SCIENTIFIC PUBLICATIONS, 1983, Chapter 16, p.195- 213.

FERNANDES, F. R. C.; ALAMINO, RENATA, C. J.; ARAUJO, E. R.; **Recursos minerais e comunidade**: impactos humanos, socioambientais e econômicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

FERRANTE, F. **Estudo de viabilidade para recuperação de minério de ferro em rejeitos contidos em barragens**. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas). 2014. UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO.

FERREIRA FILHO, O. B.; **Anuário Mineral Brasileiro**: Principais Substâncias Metálicas - Ano Base 2017, AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO: Brasília, 2019.ério de ferro. BNDES Setorial 39, p. 197-234, 2019.

FERREIRA, M. C.; WALTER, B.M.T.; VIEIRA, D.L.M. 2015. **Topsoil translocation for Brazilian savanna restoration**: propagation of herbs, shrubs, and trees. *Restoration Ecology*, 23(6):723–728.

FORBES. **Brasil e Austrália lideram vendas de minério de ferro à China em 2020**. 2021. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbes-money/2021/01/brasil-e-australia-lideram-vendas-de-minerio-de-ferro-a-china-em-2020/>>. Acesso em: 06/05/2021

FORBES. **HIGH Iron ore prices to persist in 2017**; Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2017/01/11/high-iron-ore-prices-to-persist-in-2017/?sh=3b9c4b37733d>. Acesso em: 06 de maio de 2021.

FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. **The contribution of N₂ - fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics**. Soil Biol. Biochem., V. 29, Nº 5/6, P. 897-903, 1997.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Inventário de barragens do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2016b. 54 p. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2016/RESIDUOS_MINERA%C3%87%C3%83O/Invent%C3%A1rio_de_Barragens_2015_Final_V01.pdf. Acesso em: 17 de jan.2021.

GARDNER, J. H.; BELL, D.T. **Bauxite mining restoration by Alcoa World Alumina Australia in Western Australia: social, political, historical, and environmental context**. Restoration Ecology: Suplemento 15:S3–S10. 2007.

GEOLOGY IN - Study Confirms Banded Iron Formations Originated From Oxidized Iron. Disponível em: <http://www.geologyin.com/2019/06/study-confirms-banded-iron-formations.html>. Acesso em 22 de jun. de 2021.

GOMES, V.M.; NEGREIROS, D.; FERNANDES, G.W.; PIRES, A.C.C.; SILVA, A.C.D.R.; LE STRADIC, S. 2018. **Long-term monitoring of shrub species translocation in degraded Neotropical Mountain grassland**.

GONÇALVES, C; LIMA, NP; TORQUATO, NC; SILVA, S. **Rota de processo otimizada para concentração de itabiritos pobres do Quadrilátero Ferrífero: 15º Prêmio de Excelência da Indústria Minero-metalúrgica Brasileira**. Revista Minérios & Minerales.v. 349, n. 1, p. 20-22, 2013.

Hematita. Geociências, 2021. Disponível em: <https://didatico.igc.usp.br/minerais/oxidos-hidroxidos/hematita/>. Acesso em: 15 de abr. de 2021.

HUSTRULID, W. A. **Underground mining methods handbook**. Society of Mining Engineers, 1754p.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de Revegetação**. Brasília, 1990.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa nº 4 de 13 de abril de 2011**.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Relatório anual de atividades – janeiro a dezembro de 2020**. Brasília: IBRAM; 2020. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 15 de abr. de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Riscos e oportunidades de negócio em mineração e metais no Brasil** – abril de 2021. Brasília: IBRAM; 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 15 de abr. de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Instrução Normativa IBAMA nº 5 de 25/03/2009**. Dispõe sobre o Ato Declaratório Ambiental - ADA, documento de cadastro das áreas do imóvel rural junto ao IBAMA e das áreas de interesse ambiental que o integram para fins de isenção do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Instrução Normativa nº 4**: Elaboração De Projetos De Recuperação De Áreas Degradadas, 2011. IRON ORE STATISTICS AND INFORMATION, USGS, 2021. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/iron-ore-statistics-and-information>. Acesso em: 15 de abr. de 2021.

JAUNATRE, R.; BUISSON, E.; DUTOIT, T. **Topsoil removal improves various restoration treatments of a Mediterranean steppe** (La Crau, southeast France). *Applied Vegetation Science. Special Feature: ECOLOGICAL RESTORATION*, v.17, p.236–245. 2014.

JOLY, C.A.; SPIGOLON, J.R.; LIEBERG, S.A.; SALIS, S.M.; AIDAR, M.P.M.; METZGER, J.P.W. Projeto Jacaré-Pepira - Desenvolvimento de um modelo de recomposição da mata ciliar com base na florística regional. In: **Matas ciliares: conservação e recuperação**, R. R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho (eds.). São Paulo: EDUSP, pp. 271-287, 2000.

JOZEFOWSKA, A., PIETRZYKOWSKI, M, W. B.; CAJTHAML, T. F. J.; (2017) The effects of tree species and substrate on carbon sequestration and chemical and biological properties in reforested post-mining soils. **Geoderma** 292:9–16.

KOWALSKA, I. J. Risk Management in the Hard Coal Mining Industry: Social e Environmental Aspects of Collieries' Liquidation. **Resources Policy**, v. 41, n. 1, 2014.

LE STRADIC, S.; SÉLECK, M.; LEBRUN, J.; BOISSON, S.; HANDJILA, G.; FAUCON, M.P.; ENK, T.; MAHY, G. 2016. Comparison of translocation methods to conserve metallophyte communities in the Southeastern D.R. Congo. **Environ Sci Pollut Res**, 23(14):13681-92.

LECHNER, A. M, *et al.* Challenges of integrated modelling in mining regions to address social, environmental and economic impacts. **Environ Model Softw** 93:268–281, 2017.

LEWIS, W. JR.; *et al* (2010) Soil functional diversity analysis of a bauxite-mined restoration chronosequence. **Microbial Ecology** 59:710–723.

MACÊDO, A. J. B.; BAZANTE, A. J.; BONATES, E. J. L. **Seleção do método de lavra: arte e ciência**. Revista Escola de Minas, v. 54, n. 3, 2001.

MACHADO, P.A.L. **Direito ambiental brasileiro** 12.ed. São Paulo: Malheiros, 2004. 1075p.

MAGALHÃES, L.; F. **Avaliação do rejeito de minério de ferro como material cimentício suplementar**. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). 2018. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS.

Magnetita. Geociências, 2021. Disponível em: <https://didatico.igc.usp.br/minerais/oxidos-hidroxidos/magnetita/>. Acesso em: 15 de abr. de 2021.

MC-PRC. Ministry of **Commerce People's Republic of China**. Disponível em: <http://search.mofcom.gov.cn/>. Acesso em: 06/05/2021.

MELO, F.L., SIMÃO, J.B.P., CAIADO, M.A.C. & Rangel, O.J.P. 2013. Vegetação como instrumento de proteção e recuperação de taludes. **Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 8(5): 116-124.

MINAS GERAIS. **Lei Estadual n.º 7.772, de 8 de setembro de 1980**. Dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente. Lex: Diário do Executivo - Minas Gerais, 09 de setembro de 1980, 6 p.

MINAS GERAIS, Ouro Preto, v.54, n.3, jul./set 2001.

Mineração industrial brasileira fecha 2020 com desempenho positivo. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. Disponível em: <http://portaldamineracao.com.br/ibram/mineracao-industrial-brasileira-fecha-2020-com-desempenho-positivo/>. Acesso em: 08 de abril de 2021.

Mineração: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

MINTER. MINISTÉRIO DO INTERIOR & IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. 1990. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**: técnicas de revegetação/IBAMA. Brasília: MINTER; IBAMA, 96p.

MME, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim do Setor Mineral**. 6ª edição. SECRETARIA DE GEOLOGIA MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL/MME, Brasília-DF, 2020.

MORAES, L.F.D., ASSUMPCÃO, J.M., PEREIRA, T.S. & Luchiari, C. 2013. **Manual Técnico para a Restauração de Áreas Degradadas no Estado do Rio de Janeiro**. RIO DE JANEIRO: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 84p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/73651/1/Manuall-Tecncio-para-aRestauracao-de-Areas-Degradadas-no-Estadodo-Rio-de-Janeiro.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2021.

NEGREIROS, D. *et al.* 2016; Growth–survival trade-off in shrub saplings from Neotropical mountain grasslands. **South African Journal of Botany**, 106:17–22.

NERI, A.C. & Sánchez, L.E. 2012. **Guia de boas práticas de recuperação ambiental em pedreiras e minas de calcário**. São Paulo: ABGE- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 176p.

NILSSON, D. S. **Open pit or underground mining**. Underground mining methods handbooks (section 1.5). New York: AIME.

NGUGI, M.R., *et al.*, 2018. Open-cut mining impacts on soil abiotic and bacterial community properties as shown by restoration chronosequence. **Restor. Ecol.** 26, 839–850. <https://doi.org/10.1111/rec.12631>.

Obter aprovação para fechamento de mina. ESTADO DE MINAS GERAIS, 2021. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/servico/obter-aprovacao-para-fechamento-de-mina>. Acesso em: 14 de abr. de 2021.

OMACHI, G. Y. **Estudos para o aumento da vida útil das minas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero**, MG. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). 2015. Departamento de Engenharia de Minas da UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO.

PARANHOS, R. R. A. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração em regiões de interesse patrimonial**. 144f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). 2012. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS.

PERONI, R. L. **Lavra a Céu Aberto - Teoria e Prática**. Porto Alegre: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 172p. 2008.

PETRONILHO, M. R. **Avaliação do comportamento geotécnico de pilhas de estéril por meio de análises de risco**. 2010. Dissertação (Mestrado) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO, OURO PRETO, 2010. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2356>. Acesso em: 07 de maio de 2021.

PILON, N.L.; BUISSON, E.; DURIGAN, G. 2018. **Restoring Brazilian savanna ground layer vegetation by topsoil and hay transfer**. *Restoration Ecology*, 26(1):73–81.

PONTES, J. C.; FARIAS, M. S. S.; LIMA, V. L. A. **Mineração e seus reflexos socioambientais: Estudo de Impactos de vizinhança (EIV) causados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos**. *Revista Polêmica*, v. 12, n. 1, janeiro/março de 2013.

POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – PNMA. **LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

POPESCU G. H. *et al.* **China's steel industry as a driving force for economic growth and international competitiveness**. *METABK* 55(1), p.123-126, 2016.

PORTES, A. M. C. **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta**. 154f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) 2013. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS.

QUAIS AS RIQUEZAS MINERAIS DA MORRARIA DO URUCUM? Instituto Histórico E Geográfico De Mato Grosso Do Sul, 2021. Disponível em: <https://ihgms.org.br/vc-sabia/quais-as-riquezas-minerais-da-morraria-do-urucum-191>. Acesso em 15 de abr. de 2021.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de Áreas Degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de solos; SOCIEDADE BRASILEIRA DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1998. p. 163-176.

REIS, E. L. **Caracterização de resíduos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês sílico-carbonatado da RDM-Unidade Morro da Mina**. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mineral) 2005. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS.

RESENDE, T. M.; MORAIS, M. F.; PACHECO, P. P. **Exploração mineral na porção norte do município de Uberlândia: O caso de Cruzeiros de Peixoto**. 2008.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela Restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 6^a ed. 2012.

SALOMÃO, R. de P. **Seleção e aptidão de espécies arbóreas para a recuperação de áreas degradadas por mineração**. 2012. 153 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA.

SÁNCHEZ, L. E. **Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais**. São Paulo: USP, 2001. 256p.

SÁNCHEZ, L. E.; SILVA-SÁNCHEZ, S.S.; NERI, A.C. **Guia para o Planejamento do Fechamento de Mina**. Brasília: INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2013.

SEMAD – SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Estado de Minas Gerais. **Obter aprovação para fechamento de mina**. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/servico/obter-aprovacao-para-fechamento-de-mina>. Acesso em 10 de maio de 2021.

SILVA, I. A.; CAMPAGNA, A. R.; LIPP-NISSINEN, K. H. **Recuperação de áreas degradadas por mineração: uma revisão de métodos recomendados para garimpos**. Pesquisa em Geociências. v. 45, n. 1. p. 1-22, 2018.

SOBRINHO, A. F. V. G. **Metodologia para implantação de um sistema de disposição de rejeitos em minério de ferro na região do semiárido: estudo de caso**. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). 2014. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE.

SOUSA, I. R. L de et al. Decomposição de espécies utilizadas como adubação verde em sistema agroflorestal experimental, Santarém, Pará. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 50 – 63, 2018.

SZEWCZYK A.; **World steel outlook 2016-2017**. In: PLATTS STEEL MARKETS ASIA CONFERENCE, Mumbai, 2016.

TACEY, W. H. & GLOSSOP, B. L. Assessment of topsoil handling techniques for rehabilitation of sites mined for bauxite within the Jarrah forest of western Australia. **The Journal of Applied Ecology**, 17(1): 195-201, 1980.

TAVARES, L.M.M., **Apostila Processamento de Recursos Minerais I**, 2009.

Tongway, D.J.; Hindley, N.L. 2004. **Landscape Function Analysis: Procedures for Monitoring and Assessing Landscapes with special reference to Minesites and Rangelands**. Canberra: CSIRO Australia, 81p.

TOY, T.J. **Topographic reconstruction: the foundation of reclamation**. In: Dias, L.E.; Mello, J.W.V. de (Ed.). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, Departamento de Solos: Sobrade, p. 107-115, 1998.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT; **The Iron Ore Market 2016**. UNCTAD, 2016.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2011. **EIA Technical Review Guideline: Non-Metal and Metal Mining**. 1 v., part. 1. United States: EPA, 196p. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-04/documents/miningvol1.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2021.

USGS. (2017). **Mineral commodity summaries 2017**. Washington: U.S. GEOLOGICAL SURVEY. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf>.

USGS, 2021. **Mineral commodity summaries 2021**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/mineral-commodity-summaries>. Acesso em: 15 de abr. de 2021.