

Gestão de Resíduos em Atividades Minerárias

O gerenciamento de resíduos é um aspecto fundamental para se alcançar a almejada sustentabilidade ambiental. Com isso, surge a necessidade de se gerir de forma eficaz a geração, manuseio e a disposição final deste tipo de material.

Neste contexto, com o advento da implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) por meio da publicação da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, buscou-se estabelecer diretrizes relativas ao gerenciamento de resíduos sólidos, apresentando princípios, objetivos e instrumentos orientadores com relação à prática de hábitos sustentáveis de consumo, de reutilização, reciclagem e reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados, bem como a destinação ambientalmente adequada dos resíduos gerados.

Dentre os instrumentos previstos no artigo 8º da Lei nº 12.305/2020 incluem-se os planos de resíduos sólidos, os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir) e o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa).

Como poderá ser visto no decorrer do presente documento, a implantação de sistemas computacionais e a divulgação de relatórios quantitativos sobre o gerenciamento de resíduos sólidos foi de suma importância para a elaboração do presente documento, o que, em nosso entendimento, torna mais evidente que a implementação e aprimoramento do disposto no artigo 8º, só trará benefícios à tomada de decisão dos órgãos de planejamento, gerenciamento e controle da geração de resíduos sólidos na União, estados e municípios do país.

Em relação à mineração, a gestão (geração, tratamento e destinação) de resíduos sólidos se configura como uma das grandes preocupações de empreendimentos minerários, principalmente se entendermos a diversidade e os significantes volumes de resíduos gerados por suas atividades.

Ao considerarmos que, em termos operacionais, empreendimentos minerários podem ser caracterizados pela execução simultânea e/ou sequencial de atividades potencialmente poluidoras, há de se entender que as diversas operações realizadas na mineração são geradoras de diferentes tipos e volumes de resíduos, que devem ser adequadamente manuseados e devidamente destinados.

Neste contexto, para melhor entendimento do presente documento, optamos por apresentá-lo com a seguinte estrutura. Serão apresentados tópicos com os seguintes temas:

1. Entendimento da atividade de extração mineral com as operações unitárias executadas nos empreendimentos: Neste item serão apresentados diferentes tipos de empreendimentos de extração mineral, contemplando empreendimentos de mineração que seguem a sequência tradicionalmente adotada e alguns tipos de empreendimentos e atividades/operações especiais de extração mineral que não obedecem a esta sequência tradicional.

- a) Empreendimentos Tradicionais de Extração Mineral: Neste item serão apresentadas as diferentes fases da operação de um empreendimento minerário executado a céu aberto ou em subsuperfície (lavra de recursos minerais, beneficiamento mineral e disposição de resíduos economicamente não aproveitáveis em um empreendimento minerário). Cabe destacar que se trata de uma apresentação do *layout* mais comum em se tratando de empreendimentos minerários, sendo importante ressaltar que existem empreendimentos cujas peculiaridades não serão mencionadas;
 - b) Empreendimentos Especiais de Extração Mineral: O objetivo deste tópico é apresentar alguns empreendimentos, atividades e operações relacionadas à indústria de extração mineral que não obedecem com rigor à sequência de operações de empreendimentos tradicionais, apresentada no item anterior. Sendo assim, procurou-se apresentar, também de forma genérica, as características gerais da atividade de extração de areia, da lavra de aluviões, lavra de rochas ornamentais e da lavra por lixiviação;
 - c) Atividades/Operações Especiais Beneficiamento Mineral: Neste item, procurou-se apresentar algumas atividades executadas na área beneficiamento mineral que tem um caráter especial, sendo adotadas na obtenção de bens minerais específicos, ou seja, sendo executadas somente em determinados empreendimentos minerários;
 - d) Operações Auxiliares realizadas em empreendimentos minerários: A finalidade deste tópico é incluir as atividades acessórias do empreendimento minerário, que normalmente não estão diretamente envolvidas no processo produtivo, porém são essenciais, pois servem de apoio para o contínuo funcionamento das estruturas, equipamentos e arranjo geral do empreendimento. Cabe mencionar que o objetivo deste documento é apresentar eventuais produtores de resíduos no universo da mineração, sendo assim, entendemos que não poderíamos deixar de incluir neste documento atividades/estruturas como escritórios, laboratórios diversos, oficinas mecânicas, almoxarifados, atividades de limpeza e vigilância e instalações de abastecimento de combustíveis;
2. A Geração e as Formas de Disposição de Resíduos Sólidos na Mineração: Serão apresentadas informações sobre o volume, tipologias e formas de destinação e disposição dos resíduos sólidos gerados em empreendimentos minerários.
- a) A Geração de Resíduos Sólidos na Mineração: Neste item serão apresentadas informações gerais sobre a geração de resíduos sólidos em empreendimentos minerários, especificando a nomenclatura e metodologia que será utilizada no presente documento a respeito da geração dos resíduos;
 - b) Destinação dos Resíduos Sólidos Gerados em Empreendimentos Minerários: Neste tópico serão avaliadas as principais formas de destinação de resíduos sólidos gerados na mineração;
 - i. Destinação dos Resíduos Sólidos Industriais;
 - ii. Destinação dos Rejeitos em Empreendimentos Minerários;
 - iii. Destinação do Material Estéril em Empreendimentos Minerários.

1. Entendimento da atividade de extração mineral com as operações unitárias executadas nos empreendimentos

Serão apresentados os diferentes tipos de empreendimentos de extração mineral, desde empreendimentos que operam da maneira tradicional, ou seja, lavra seguida pelo beneficiamento a outros tipos de empreendimentos e atividades/operações extrativas que não seguem a sequência tradicional.

a) Empreendimentos Tradicionais de Extração Mineral

Neste item procuramos descrever a atividade de extração mineral, listando a sequência de fases e operações mais comumente utilizadas em empreendimentos minerários. Com isso, apresentaremos um resumo das operações que normalmente compõem as fases de lavra, beneficiamento e disposição de subprodutos sem valor econômico no universo da mineração.

- **Fase da Lavra¹:** A lavra de recursos minerais a céu aberto ou subterrânea², pode ser entendida de maneira geral, por meio da execução das atividades ou etapas listadas a seguir:
 - Desenvolvimento mineiro: (retirada e transporte de material estéril possibilitando o devido acesso ao bem mineral);
 - Desmonte mecânico ou por explosivo: etapa relacionada à atividade de desagregação do minério e/ou do material estéril com a utilização de equipamentos mecânicos ou com explosivos;
 - Carregamento do minério desmontado e do estéril: atividade normalmente realizada por equipamentos mecânicos de carga (escavadeiras ou pás carregadeiras);
 - Transporte do minério: atividade normalmente efetuada por meio de caminhões fora de estrada que foram carregados na atividade anterior. Nesta atividade onde o bem mineral é encaminhado às etapas produtivas posteriores (normalmente para a etapa de beneficiamento);
 - Transporte do material estéril: atividade também realizada por equipamentos de transporte (caminhões) que foram também carregados na atividade anterior;
 - Disposição do material estéril em locais pré-determinados: atividade realizada pelos caminhões e por equipamentos mecânicos (carregadeiras, equipamentos de compactação, etc...) onde o material

¹ De acordo com o artigo 36 do Código de Mineração (Decreto Lei nº 227, de 28/02/1967) – “Entende-se por lavra, o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração de substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas”, portanto se verifica que o referido código inclui as atividades de tratamento mineral na fase de lavra de recursos minerais. Apesar destas considerações, no presente documento, por motivos didáticos, faremos a divisão entre lavra e beneficiamento, dando uma atenção individualizada a cada uma destas fases.

² Dentre os métodos de lavra a céu aberto de recursos minerais podemos citar a lavra em bancadas, a lavra por tiras, a lavra de pedreiras, a lavra de rochas ornamentais (lavras de maciços rochosos e lavra de matacões) lavra de aluviões (lavra por desmonte hidráulico) e a lavra por lixiviação química.

estéril é normalmente disposto nas chamadas pilhas de disposição de estéril (PDE);

Cabe ressaltar que em decorrência das atividades acima mencionadas, na área da lavra a céu aberto, normalmente surgem cavas formadas por bancadas sucessivas, formadas por bermas e taludes, regularmente associadas a “a grandes escadas com degraus um pouco inclinados”. Já na lavra subterrânea, as operações acima descritas, fazem surgir escavações subterrâneas (galerias e acessos) que podem ser planejadas para receberem material sem valor comercial, aumentando assim sua capacidade de suporte e sua estabilidade geomecânica.

- **Fase de Tratamento de Minérios (beneficiamento):** O beneficiamento mineral é reconhecido como a etapa da atividade minerária onde são executadas operações no minério extraído na lavra, visando modificar sua granulometria e sua composição química com o objetivo de se obter a separação entre um material de teor mais alto (concentrado) e um material de teor mais baixo (rejeito). Luz e Lins (2004) apresentam um fluxograma típico do beneficiamento mineral (**figura 1**) envolvendo as etapas a seguir:
 - Cominuição (britagem e moagem): Etapa do tratamento mineral que tem por objetivo a redução da granulometria do minério alimentado na usina de beneficiamento. Essa redução de granulometria visa facilitar a liberação das partículas do minério alimentado facilitando a separação entre o material valioso e o material não valioso;
 - Peneiramento: Etapa do beneficiamento mineral que tem por objetivo promover a separação do material britado por diferença de tamanhos em duas ou mais frações, enviando o material com a granulometria adequada para as fases posteriores do beneficiamento ou reencaminhando o material com granulometria inadequada para a etapa de britagem e/ou moagem anterior, com o objetivo de executar novamente a redução da granulometria;³
 - Transporte dos bens minerais: Como se tratam de etapas de processamento, normalmente realizadas a seco em instalações fixas, o transporte dos materiais entre as etapas de britagem e peneiramento, normalmente é feito por meio de correias transportadoras. Já em relação aos moinhos a operação é normalmente realizada a úmido, visto a necessidade de artefatos denominados “corpos moedores” que são quem efetivamente realiza a moagem no interior do equipamento;
 - Classificação: De acordo Luz (2004), a classificação é uma etapa do beneficiamento onde se procura fazer a separação dos bens minerais tomando-se por base a velocidade que os grãos atravessam um meio fluído. Como pode ser verificada, esta etapa do tratamento mineral é realizada em meio fluído, sendo também necessária a introdução de mais água no processo. Os métodos mais comuns de classificação são a

³ Em pedreiras – empreendimentos minerários que objetivam a produção de britas, pedras de mão, areias, etc... O beneficiamento mineral se encerra nas etapas de britagem, moagem, classificação e reclassificação granulométrica.

ciclonagem e o classificador espiral, sendo que este processo é mais efetivo em materiais com granulometria muito fina;

- **Concentração:** Etapa do beneficiamento onde se procura utilizar as diferenças entre propriedades físicas e/ou químicas presentes nos materiais tratados (densidade, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, propriedades de química de superfície, cor, forma, radioatividade) para se obter a separação entre o material valioso (Concentrado) e o material sem valor econômico (Rejeito). Esta etapa pode envolver a utilização de reagentes químicos que procuram potencializar as diferenças entre os materiais que se procura separar. A etapa de concentração pode envolver operações unitárias correspondentes à concentração gravítica, magnética, eletrostática, flotação, etc...

Nas etapas de classificação e concentração que podem compor um processo de beneficiamento mineral, normalmente, a circulação das misturas sólido/líquido, entre as etapas de tratamento mineral, normalmente é realizada por meio de bombeamento com a utilização de tubulações responsáveis pelo encaminhamento das polpas que compõem o Concentrado e o Rejeito⁴.

A partir do surgimento dos dois produtos resultantes do tratamento mineral, verifica-se que o Concentrado e o Rejeito tomam caminhos distintos dentro do empreendimento, sendo, destinados a etapas que têm por objetivo a redução do volume de água na polpa, com a execução de atividades destinadas a retirada de fluído do processo, fluído este que pode ser reutilizado no processamento mineral. Serão agora apresentadas as etapas subsequentes para cada um dos produtos acima listados:

- **Concentrado:**

- **Espessamento:** Etapa do beneficiamento que consiste na retirada de parte do fluído presente na polpa que forma o concentrado. É basicamente um processo de sedimentação, onde se busca efetuar a separação sólido-líquido baseada nas diferenças de densidades de um material em suspensão. Nesta etapa são utilizados equipamentos denominados espessadores de diferentes tipos;
- **Filtragem:** Etapa de separação de sólido/líquido realizada com a utilização de meio poroso que retêm os sólidos permitindo a passagem do líquido. Existem diferentes alternativas de filtragem, utilizando-se forças físicas (gravidade, vácuo, pressão hidrostática, etc..). De forma geral, a filtragem apresenta dois produtos: a torta (fase sólida resultante da filtragem) e o filtrado (fase líquida resultante da filtragem);

⁴ Em pedreiras normalmente não há geração de rejeitos, visto que praticamente todo material extraído da área de lavra é comercializado como produtos de diferentes granulometrias: pedras de mão, maticos, britas 0, 1, 2, 3, pó de brita, areia industrial, etc... Neste tipo de empreendimento também há pouca geração de material estéril. Isto se deve principalmente a ocorrência de jazidas com capeamento (material estéril) pouco espesso, proporcionando a geração de pouco volume de estéril.

- Secagem: Quando o minério exige e permite é realizada a etapa de secagem do concentrado resultante do tratamento mineral com o intuito de atender a especificações de contrato. Tal etapa consiste na retirada da umidade do produto, podendo ser realizada de forma natural ou com a utilização de secadores industriais.
- **Os rejeitos** gerados no beneficiamento mineral podem passar pelo processo de espessamento, com o objetivo de se retirar um pouco da água do referido produto. Posteriormente, o rejeito normalmente é encaminhado à sua disposição final, podendo ser depositado em barragens, cavas exauridas ou galerias subterrâneas originadas do processo de exploração mineral subterrâneo.

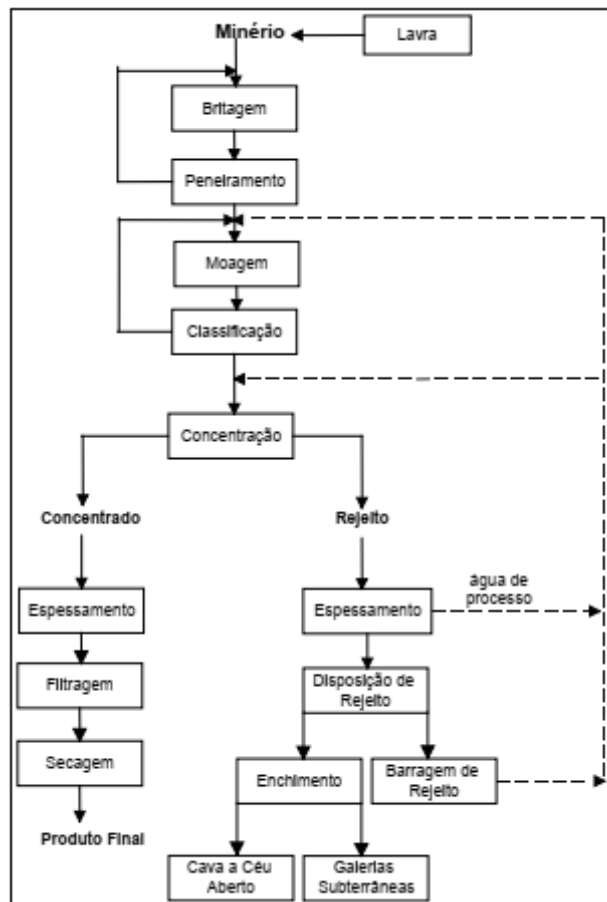


Figura 1 – Fluxograma com as etapas do beneficiamento mineral tradicional.

Fonte: Tratamento de Minérios. cap. 1, pág. 5.

b) Empreendimentos Especiais de Extração Mineral

Neste tópico iremos abordar alguns tipos de atividades de extração mineral que não obedecem necessariamente à sequência de operações listada acima. Com isso, serão descritas de forma geral atividades da extração de areia, lavra de aluviões e lavra de rochas ornamentais.

- **A Extração de Areia em Cursos D'água**

Um tipo de atividade extração mineral que não obedece à ordem de operações apresentadas acima, se trata da atividade de extração de areia em cursos d'água. Neste tipo de atividade, as operações extrativas são realizadas basicamente por uma draga dotada de motor de sucção responsável pela retirada do pacote de areia e argila superficial que compõem o leito do curso d'água, fazendo a deposição deste material diretamente sobre o solo situado nas proximidades do porto de extração, com o retorno imediato das águas carregadas dos depósitos de areia formados para o curso d'água onde se faz a extração.

Neste tipo de atividade, a geração de resíduos sólidos normalmente está associada a restos vegetais submersos e aos sedimentos do tipo cascalho que são separados por meio da colocação de um grelha implantada no ponto de descarga do fluxo oriundo do curso d'água, material argiloso referente ao pacote de argila que se encontra sobreposto à areia retirada do leito do curso d'água, resíduos sólidos domésticos produzidos pelos operadores da draga de sucção, resíduos contaminados oriundos das operações de abastecimento e manutenção mecânica do motor da draga de sucção.

- **A Lavra de Aluviões**

A lavra de aluviões é um tipo de atividade de mineração onde se busca extrair o bem mineral (ouro, areia, diamantes, etc...) em depósitos situados em locais onde houve acúmulo de sedimentos originários de outras rochas (aluviões). Normalmente estes depósitos se formam por sedimentos depositados por sistemas fluviais (cursos d'água), planícies de inundação destes cursos d'água, em áreas de deltas ou nas margens dos cursos d'água.

A atividade de lavra em aluvião pode ser realizada por meio de equipamentos rudimentares (pás, picaretas, bateias, etc...)⁵, de forma semi-mecanizada, com a utilização de carregadeiras e escavadeiras de pequeno porte para a retirada de eventual pacote rochoso sobreposto ao material de interesse econômico, por meio de dragas de sucção escavando seu próprio lago e de forma mecanizada, com a utilização de dragas de grande porte, chamadas dragas de alcatruzes, que podem operar de forma conjunta com uma draga de sucção de menor porte ou escavando o aluvião.

Neste processo de exploração, quando se trata de garimpo ou lavra semi-mecanizada, normalmente o processo de tratamento mineral do empreendimento é executado de forma rudimentar com a utilização de bateias. Já na lavra de aluvião com a utilização de lavra de alcatruzes, tal equipamento é também responsável pelo tratamento mineral inicial, fazendo a separação do material valioso em sua própria estrutura, sendo possivelmente necessária a execução de uma etapa mais detalhada de tratamento mineral em outro local com o objetivo de se obter um material valioso mais concentrado.

⁵ Garimpos rudimentares.

Uma operação também utilizada em lavras de aluviões se refere à execução do desmonte hidráulico, utilizado para fragmentação do pacote rochoso onde se encontra o bem mineral de valor econômico. Neste método se procede à instalação de monitor hidráulico em frente ao pacote mineralizado, a partir daí, este monitor executa jateamento do fluxo hidráulico em alta pressão no barrando rochoso, promovendo sua desagregação. Com isso, esta polpa resultante da mistura entre os sedimentos desagregados e o líquido jateado é direcionada a uma estação de tratamento, onde será lavada com o objetivo de se obter o bem mineral procurado. Com este processo, os resíduos indesejáveis são escoados, devendo ser dispostos em cavas pré-escavadas e capazes de receber o volume de material escoado.

Diante destas características, verifica-se que o desmonte hidráulico se configura como um método de extração de grande risco de ocorrência de impactos ambientais de grande magnitude, podendo causar contaminação de águas superficiais, assoreamento de cursos d'água, intervenção na vegetação, degradação do solo, alterações topográficas e alterações consideráveis na paisagem.

- **A Lavra de Rochas Ornamentais**

Outro tipo de atividade de extração mineral que não obedece a sequência de operações comuns em empreendimentos tradicionais de mineração se refere à atividade de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais (mármore, quartzitos, ardósias, arenitos, esteatito, etc...).

Neste tipo de lavra, as operações de desenvolvimento buscam também proporcionar acesso ao bem mineral buscado, podendo inclusive utilizar explosivos para alcançar este objetivo. Porém, a utilização de explosivos e de equipamentos mecânicos deve ser realizada com o devido cuidado para não inutilizar o maciço onde se encontra o pacote rochoso objeto de exploração.

A lavra de rochas ornamentais depende muito do volume de rocha onde se encontra o bem mineral a ser lavrado, podendo então ser dividida em dois grandes tipos:

- Lavra de maciços rochosos: Lavra de um pacote rochoso de maiores dimensões que normalmente ocupa uma vertente ou grande parte de uma vertente de uma serra. Dentre os métodos de lavra de maciços rochosos, Reis (2003) lista os seguintes: lavra do tipo fossa, lavra do tipo poço, lavra por bancadas baixas, lavra por bancadas altas, lavra por desabamento e lavra subterrânea.
- Lavra de matacões: A lavra de matacões consiste na extração de blocos de rocha a partir de porções maiores de rocha que normalmente se destacaram e se deslocaram do maciço rochoso remanescente devido à ação de agentes intempéricos.

De maneira geral, a lavra de rochas ornamentais busca a extração dos blocos de rocha que poderão ser posteriormente desdobrados em blocos menores que darão origem às placas de rocha que serão beneficiadas, fazendo surgir as peças finais (revestimentos, pias, mesas, etc...).

No processo produtivo, os cortes de rocha são realizados por meio da utilização dos seguintes instrumentos cortadores:

- Maçaricos (flame-jet);
- Fio helicoidal;
- Fio diamantado (principal ferramenta utilizada atualmente);
- Água (water-jet);
- Perfuração contínua;
- Argamassa expansiva;
- Corrente diamantada;
- Perfuratrizes de diâmetros diversos;
- Ferramentas manuais (cunhas, marteletes, marretas, etc).

Normalmente, nos processos de corte de rocha são utilizadas máquinas de corte que impulsionam de forma contínua os instrumentos de corte (fio helicoidal, corrente diamantada e fio diamantado), para isso é adicionado fluido ao processo de corte com o objetivo de facilitar o deslizamento do instrumento de corte e promover seu resfriamento.

O beneficiamento dos blocos de rocha ornamental normalmente é realizado em locais distintos da área de extração, sendo utilizados equipamentos denominados “teares”, que proporcionam a divisão do bloco de rochas em placas, que posteriormente serão resinadas para eliminação de fissuras surgidas nas superfícies das placas produzidas.

Como mencionado anteriormente, a utilização de explosivos em empreendimentos de extração de rochas ornamentais praticamente se restringe ao desenvolvimento da jazida, sendo que sua utilização deve obedecer a controle bastante rigoroso, evitando o comprometimento da qualidade da rocha explorada.

No processo extrativo de rochas ornamentais, o transporte dos blocos de rocha e placas desdobradas normalmente é realizado por caminhões de transporte rodoviário, sendo eventualmente necessária a realização de manutenções mecânicas e abastecimento em tais equipamentos. Também são necessárias atividades de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos e ferramentas que integram as estruturas que compõem as instalações responsáveis pelo processo produtivo relativo à lavra de rochas ornamentais, sendo assim, tais empreendimentos devem também ser dotados de oficinas mecânicas e almoxarifado.

Como pode ser verificado, apesar do processo de extração de rochas ornamentais também apresentar fases distintas de lavra e beneficiamento. As operações unitárias realizadas em empreendimentos desta natureza são completamente distintas das atividades realizadas em empreendimentos tradicionais de extração mineral.

Com relação à geração de resíduos, Castro et al. (2011) apresentam as seguintes considerações:

Os principais impactos ambientais da produção de rochas ornamentais se devem à grande quantidade de resíduos que gera. Nas pedreiras, a taxa de aproveitamento média pode se estimar em 30%, o que resulta em enormes volumes de rejeitos grossos nas frentes de lavra. Já

na etapa de beneficiamento, os rejeitos são finos, provenientes da serragem dos blocos em chapas e do polimento. **Na serragem, 25% do volume da rocha são transformados em resíduo fino. Cattabriga (2010) estimou que no Brasil são produzidas, por ano, mais de 5 milhões de toneladas de resíduos grossos nas pedreiras e mais de 300.000 toneladas de finos no beneficiamento.** (Destaques nossos)

Desta forma se verifica que a lavra de rochas ornamentais é grande geradora de resíduos oriundos do processo produtivo, produzindo também resíduos industriais e domésticos.

- **A Lavra por Lixiviação**

Em minerações de bens minerais preciosos (ouro) também pode ser necessária a realização de uma etapa de beneficiamento mineral posterior às etapas normalmente executadas em empreendimentos minerários tradicionais. Esta etapa se refere à necessidade de execução de atividades de depuração do bem mineral em laboratório com a utilização de substâncias químicas altamente contaminantes (mercúrio). Esta etapa resulta na geração de resíduos contaminados que devem ser dispostos em locais impermeabilizados, evitando assim a contaminação do solo e do lençol freático.

Da mesma forma, outro processo de tratamento mineral normalmente utilizado em depósitos de bens minerais de baixo teor, se refere à atividade de lixiviação em pilha, onde se promove a dissolução do mineral do metal de valor pela água ou por uma solução aquosa do agente lixiviante.

De acordo com Lima et al. (2002), neste método se promove a remoção do metal de valor econômico da pilha de minério grosseiro disposta em uma superfície ligeiramente inclinada, previamente impermeabilizada. No topo da pilha é borrifada ou gotejada uma solução lixiviante que percola a pilha, dissolvendo alguns constituintes da rocha, até se atingir a base impermeabilizada. Neste ponto o licor de lixiviação é recolhido e conduzido para etapa de recuperação do bem mineral objetivado. Conforme Heck et al. (2002), os reagentes mais comumente utilizados são: ácido sulfúrico, sulfeto férrico, amônia e carbonato de amônio.

Os resíduos gerados neste processo se referem principalmente ao material da pilha que não reage ao processo de lixiviação.

- **Operações Auxiliares**

Neste texto serão classificadas como operações auxiliares as operações acessórias às atividades de minerárias relacionadas à manutenção de equipamentos, estruturas e processos executados no empreendimento, monitoramento de estruturas e dispositivos. Desta forma, podem ser classificados como operações auxiliares os serviços de escritório, oficinas mecânicas (leve e pesada), almoxarifado, laboratórios diversos, atividades de limpeza e vigilância, instalações de abastecimento de combustíveis e instalações sanitárias.

Ao analisarmos o número e as características das etapas que compõem os processos relativos ao exercício da atividade de mineração, verificamos que tal atividade exige a utilização de grande número de pessoas, peças, equipamentos e estruturas que por sua vez demandam reposição, manutenção e insumos.

Neste contexto, fica evidente que a atividade é caracterizada como grande geradora de resíduos sólidos e efluentes de naturezas diversas, sendo necessário o gerenciamento do manuseio e disposição de todas estas matérias de forma adequada.

Desta forma, a seguir serão apresentadas as diferentes etapas da mineração com suas respectivas fases, resíduos que podem ser gerados e forma de manuseio e disposição.

2. A Geração e as Formas de Disposição de Resíduos Sólidos na Mineração

Neste item, procuraremos caracterizar quantitativamente a geração de resíduos sólidos em empreendimentos minerários, apresentando as formas mais comuns de disposição dos resíduos gerados.

a) A Geração de Resíduos Sólidos na Mineração

De acordo com a Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002 que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, resíduos sólidos industriais são definidos como *“todos os resíduos que resultem de atividades industriais e que se encontrem nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.”*

Conforme dados do IBAMA obtidos no “Painel: Resíduos Sólidos – Geração por Categoria de Atividade do CTF/APP⁶”, em 2017, em empreendimentos relacionados à indústria mineral (cerca de 3.836 empresas), no Brasil foram gerados cerca de 110.949.395,56 (cento e dez milhões, novecentos e quarenta e nove mil, trezentos e noventa e cinco toneladas e cinquenta e seis quilogramas) de resíduos sólidos, subdivididos em 388 (trezentos e oitenta e oito) tipologias distintas.

Esta classificação adotada pela publicação do IBAMA, consta da Lista Brasileira de Resíduos Sólidos, publicada na Instrução Normativa IBAMA nº IN 13/2012. Desta instrução constam as diferentes tipologias de resíduos sólidos gerados no Brasil, sendo verificado que esta relação de resíduos gerados é composta por uma lista com mais de mil tipos de resíduos sólidos.

⁶ CTF/APP - Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais.

⁷ Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrjoiNjVhNmZhNjgtNTFjYS00NTEwLTkyZDQtNGE3Y2VINzc2Mzdkliwi dCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNGMxZi1hNGJhLTMzZThmM2M1NTBInyJ9> – Acesso em 13/mai/2021.

Destes resíduos gerados, de acordo com a informação constante do sítio eletrônico, 98,7% foram considerados resíduos não perigosos e somente 1,3% foram classificados como resíduos perigosos.

Também é importante destacar que o levantamento apresentado pelo IBAMA inclui os resíduos produzidos pelas atividades de “Perfuração de poços e produção de petróleo e gás natural” e “Pesquisa Mineral com Guia de Utilização”, que são responsáveis em conjunto pela geração de cerca de 297.290 (duzentos e noventa e sete mil duzentas e noventa) toneladas de resíduos sólidos.

Diante da grande variedade de tipos de resíduos sólidos gerados pela atividade de mineração no Brasil, com o objetivo de facilitar a visualização dos dados, adotaremos a metodologia da Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM)⁸ com relação à classificação dos dez principais tipos de resíduos gerados pela indústria minerária. Esta classificação foi apresentada nas publicações anuais do órgão ambiental estadual e se referem aos inventários anuais estaduais de resíduos sólidos da mineração com informações referentes ao período compreendido entre os anos de 2008 e 2017.

De acordo com informações constantes dos inventários, as informações relativas à geração de resíduos sólidos na mineração foram obtidas considerando as seguintes atividades minerárias:

- Lavra subterrânea;
- Lavra a céu aberto;
- Extração de Areia, Cascalho e Argila, para utilização na construção civil;
- Extração de água mineral potável de mesa;
- Unidades Operacionais em área de mineração, inclusive unidades de tratamento de minerais;
- Exploração e extração de gás natural ou de petróleo

Para efeitos do presente documento, analisando os dados relativos a geração de resíduos sólidos em empreendimentos minerários, utilizaremos a seguinte nomenclatura para dividir os diferentes tipos de resíduos gerados:

1. **Estéril:** O termo estéril vem conceituar os resíduos originados nas operações de extração mineral que não são encaminhados à etapa de beneficiamento mineral, sendo, portanto consideradas substâncias sólidas sem valor econômico;
2. **Rejeito:** Serão considerados rejeitos, os resíduos gerados na usina de beneficiamento mineral. Trata-se de substâncias oriundas do tratamento mineral, consideradas sem aproveitamento econômico, tendo normalmente destinadas a depósitos diferentes em relação ao material estéril;
3. **Resíduos Industriais:** Devido à disparidade nos volumes gerados de estéril e rejeitos em relação às outras categorias de resíduos sólidos produzidos em empreendimentos de mineração, optou-se por conceituá-los como resíduos

⁸ Disponível em:

http://www.feam.br/images/stories/2018/RESIDUOS/Inventario_Minera%C3%A7%C3%A3o_ano_base_2017.pdf – Acesso em 15/mai/2021.

Industriais. Esta categoria engloba todos os tipos de resíduos gerados em um empreendimento minerário não incluídos o material estéril ou os rejeitos.

Em relação ao volume de resíduos totais gerados em empreendimentos minerários no período compreendido entre 2008 e 2017, na figura 2, apresentaremos uma tabela com a evolução do volume de resíduos inventariados em Minas Gerais.

Tipo de Resíduo	Ano Base									
	2008		2009		2010		2011		2012	
	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado
Estéril	375.377.784,371	78,59%	286.546.806,201	69,66%	260.328.768,273	53,75%	428.751.253,202	66,29%	501.189.419,440	74,59%
Rejeito	101.452.987,431	21,24%	123.058.761,998	29,92%	212.915.662,894	43,96%	184.457.533,129	28,52%	170.118.179,790	25,32%
Resíduos Industriais	805.230,131	0,17%	1.744.437,478	0,42%	11.082.693,893	2,29%	33.581.244,102	5,19%	579.738,230	0,09%
Total	477.636.001,933	100,00%	411.350.005,677	100,00%	484.327.125,060	100,00%	646.790.030,433	100,00%	671.887.337,450	100,00%

Tipo de Resíduo	Ano Base									
	2013		2014		2015		2016		2017	
	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado	Resíduos Inventariados (ton)	Percentual Gerado
Estéril	379.095.050,975	71,39%	367.595.450,545	64,73%	363.306.236,217	59,97%	293.882.952,916	62,93%	272.248.395,503	48,41%
Rejeito	151.618.473,050	28,55%	200.074.420,080	35,23%	242.357.728,414	40,00%	172.882.183,068	37,02%	289.911.703,261	51,55%
Resíduos Industriais	307.334,824	0,06%	253.307,556	0,04%	157.951,591	0,03%	220.961,987	0,05%	242.197,994	0,04%
Total	531.020.858,854	100,00%	567.923.178,181	100,00%	605.821.916,222	100,00%	466.986.097,971	100,00%	562.402.296,758	100,00%

Figura 2 - Tabela com os dados sobre os resíduos gerados por empreendimentos minerários entre 2008 e 2017.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017⁹

Por meio de análise dos dados apresentados na figura acima, de acordo com os dados dos inventários de resíduos sólidos da mineração, no estado de Minas Gerais, anualmente são geradas em média cerca de 540 milhões de toneladas de resíduos sólidos, destes, cerca de 350 milhões de toneladas se referem a material estéril, 185 milhões foram inventariados como rejeitos e cerca de 5 milhões foram caracterizados como resíduos industriais.

Nas figuras 3 e 4 são apresentados gráficos com a evolução na geração de resíduos sólidos em Minas Gerais.

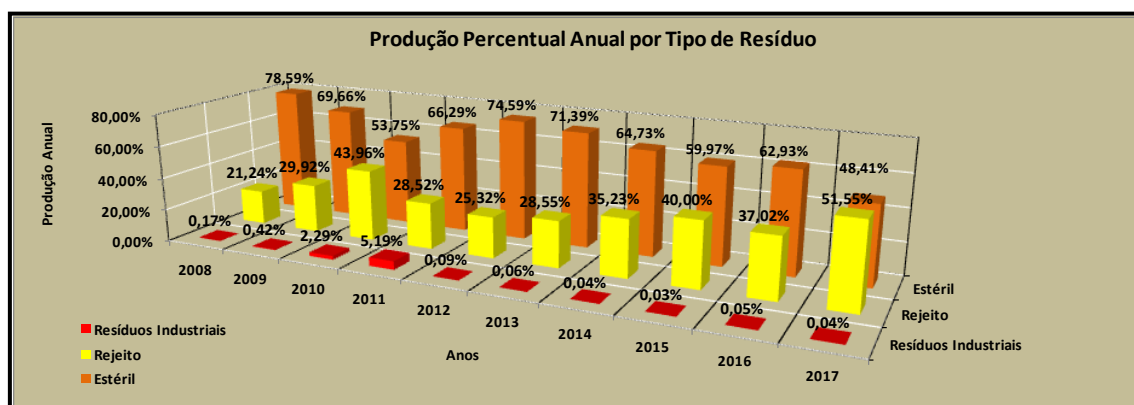


Figura 3 – Gráfico com a evolução na geração dos resíduos sólidos da mineração no período compreendido entre 2008 e 2017.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017¹⁰

⁹ Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

¹⁰ Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

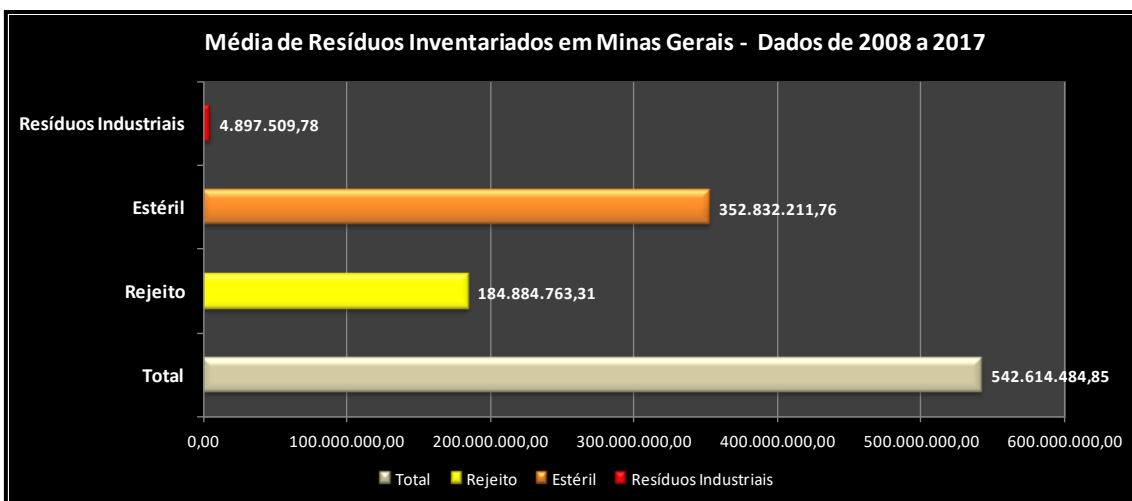


Figura 4 – Gráfico com a média entre 2008 e 2017 de resíduos sólidos da mineração inventariados anualmente, conforme a tipologia do resíduo.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017¹¹

Como pode ser observado nas figuras 3 e 4, no período compreendido entre 2008 e 2017, em Minas Gerais, são gerados resíduos principalmente das tipologias Material Estéril (1º) e Rejeitos (2º).

Na figura a seguir, apresentamos um gráfico com o volume de resíduos industriais inventariados em Minas Gerais, entre 2008 e 2017.

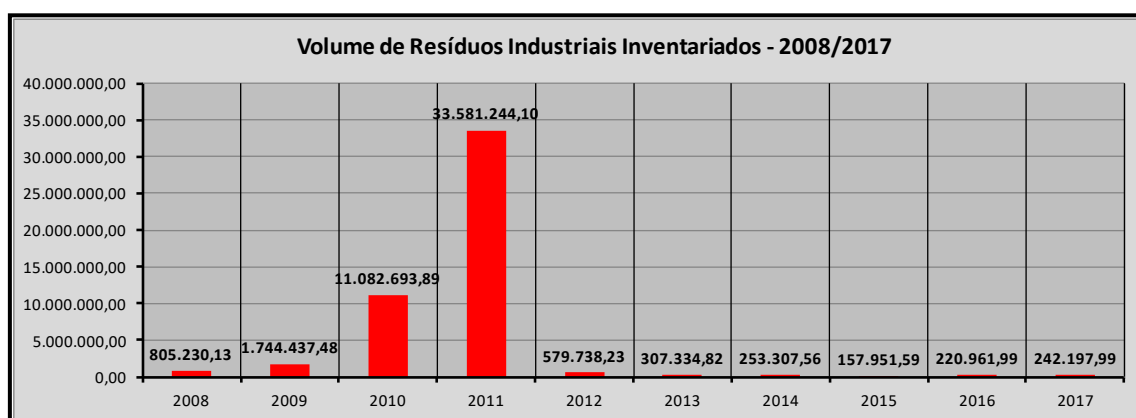


Figura 5 – Gráfico com a evolução da geração de resíduos industriais em Minas Gerais, no período entre 2008 e 2017.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017¹²

Como pode ser verificado na figura 5, houve um aumento na geração de resíduos sólidos industriais nos anos de 2008 a 2011, sendo verificada uma queda brusca na geração nos anos seguintes.

Nas figuras 6 e 7 são apresentados gráficos com a evolução na geração de material estéril e de estéril, respectivamente, no período compreendido entre 2008 e 2017, conforme dados dos Inventários de Resíduos Sólidos da Mineração (FEAM).

¹¹ Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

¹² Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

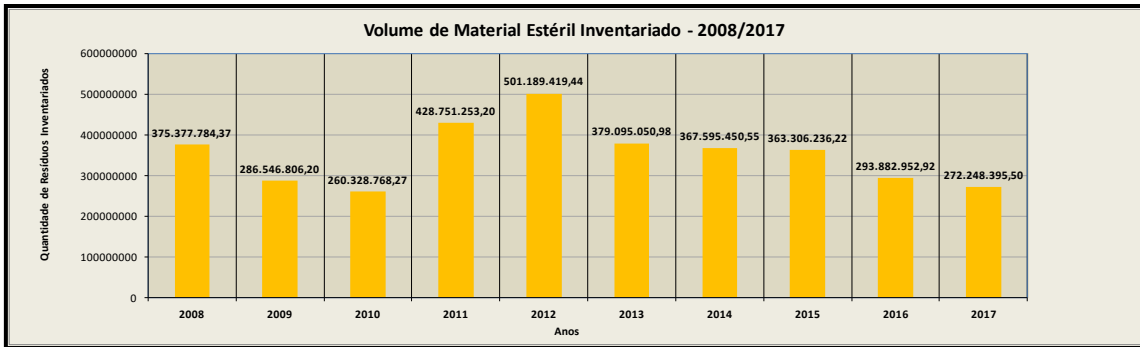


Figura 6 – Gráfico com a evolução da geração de material estéril em Minas Gerais, no período entre 2008 e 2017.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017¹³

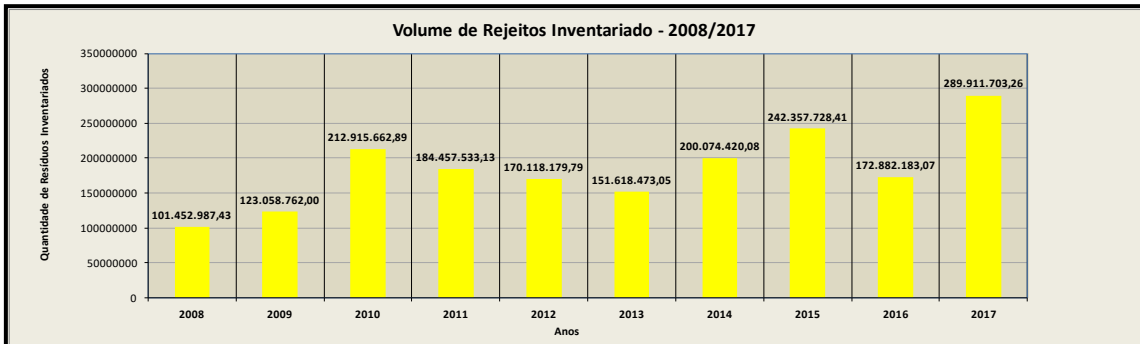


Figura 7 – Gráfico com a evolução da geração de rejeitos em Minas Gerais, no período entre 2008 e 2017.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017¹⁴

Ao analisarmos os dados apresentados nos gráficos das figuras 6 e 7, verifica-se que não há uma tendência de crescimento na produção destes subprodutos em empreendimentos de mineração.

Cabe ressaltar que os volumes apresentados estão diretamente relacionados ao número de empresas que apresentaram seus dados ao órgão ambiental estadual.

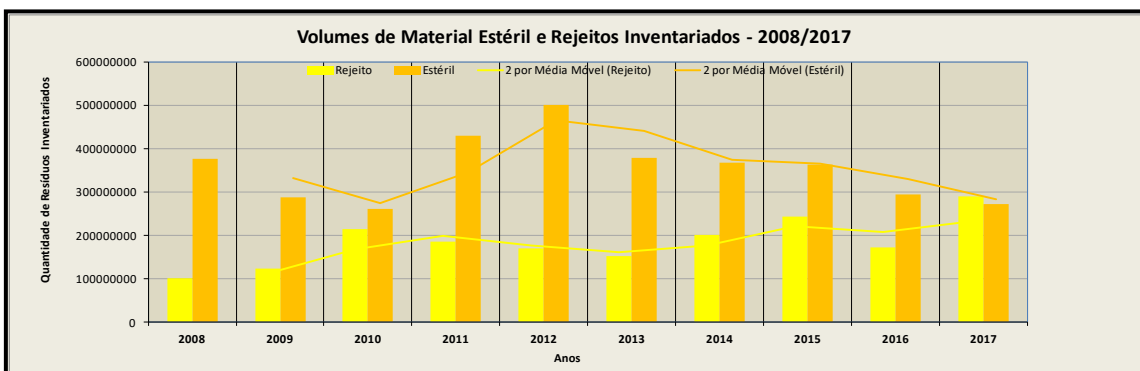


Figura 8 – Gráfico com a evolução da geração de material estéril e rejeitos em Minas Gerais, no período entre 2008 e 2017.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017¹⁵

¹³ Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

¹⁴ Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

¹⁵ Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

Na figura 8, apresentamos um gráfico comparativo entre o volume de rejeitos e material estéril inventariado na FEAM entre 2008 e 2017. Apesar dos volumes estarem relacionados ao número de empresas que preencheram o cadastro, por meio dos dados apresentados, é possível se observar uma tendência na geração dos dois tipos de resíduo. Pelo comportamento das linhas de tendência de geração de resíduos, verifica-se que o aumento na geração de um resíduo, quase sempre significou a diminuição na geração do outro. Ainda que tal tendência, não signifique uma proporcionalidade inversa, os dados apresentados mostram que há uma relação de aumento e decréscimo na geração de um subproduto em comparação a geração do outro.

Com relação ao grau de perigo dos resíduos produzidos, A Norma da ABNT 10.004:2004 estratifica os resíduos nas seguintes classes:

- b) Resíduos Perigosos – Classe I;
- c) Resíduos Não Perigosos – Classe II. Os Resíduos Não Perigosos são subdivididos em:
 - Resíduos Não Perigosos Não Inertes (Classe II A);
 - Resíduos Não Perigosos Inertes (Classe II B).

O Inventário de Resíduos Sólidos publicado pela FEAM – Ano Base: 2017, classifica os resíduos listados a seguir como perigosos:

- Resíduos Sanitários (banheiro químico, ETE, caixa SAO, fossa séptica);
- Óleo lubrificante;
- Resíduos (concreto, EPI (luvas, botas, aventais, capacetes, máscaras, etc.), filtro, varrição da oficina, trapos, estopas, embalagens vazias, lama, serragem) Contaminados (com óleo, graxa, lubrificante, fluido hidráulico (corte, usinagem, isolamento e refrigeração), tintas, borras de tintas, pigmentos, nitrato de amônia, outras substâncias perigosas);
- Pilhas e baterias (inclusive automotiva)
- Lâmpadas (fluorescentes, incandescentes, outras);
- Componentes Eletroeletrônicos;
- Amianto;
- Resíduos de explosivos;
- Resíduos de saúde (hospitalares);
- Reatores e Capacitores contendo ascarel;
- Estéril e Rejeitos perigosos.

Na figura 9, apresentaremos a evolução percentual na geração de resíduos sólidos inventariados em Minas Gerais entre 2008 e 2017, considerando a estratificação estabelecida na Norma da ABNT 10.004:2004.

Tipo de Resíduo	Ano Base									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Resíduos Industriais										
Perigosos	34,75%	20,95%	2,39%	0,74%	48,61%	12,44%	30,52%	20,40%	47,09%	14,45%
Resíduos Não Inertes	42,07%	13,41%	32,62%	97,83%	32,43%	10,00%	16,28%	16,95%	8,03%	55,83%
Resíduos Inertes	23,19%	65,64%	64,99%	1,43%	18,96%	77,56%	53,21%	62,65%	44,88%	29,72%
Material Estéril										
Estéril Perigoso	0,00%	0,80%	1,02%	0,18%	7,71%	10,30%	10,34%	0,54%	0,58%	0,05%
Estéril Não Inerte	63,20%	52,69%	45,13%	50,26%	44,69%	55,64%	48,33%	45,30%	24,80%	34,37%
Estéril Inerte	36,80%	46,51%	53,86%	49,56%	47,60%	34,06%	41,32%	48,33%	74,62%	65,58%
Rejeito										
Rejeito Perigoso	21,38%	3,04%	2,65%	1,44%	2,18%	0,52%	0,74%	0,49%	0,77%	0,78%
Rejeito Não Inerte	4,75%	51,37%	13,40%	30,94%	74,78%	69,25%	71,55%	65,02%	62,36%	95,70%
Rejeito Inerte	73,87%	45,58%	83,95%	67,62%	23,04%	30,23%	27,71%	34,49%	36,87%	3,51%

Figura 9 – Evolução na geração percentual de resíduos em Minas Gerais, entre 2008 e 2017, conforme classificação da Norma da ABNT 10.004:2004.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017¹⁶

Pela análise dos dados apresentados na figura 9:

- Com relação aos resíduos industriais: Observa-se que não há um comportamento contínuo sobre a geração de resíduos perigosos ou não perigosos. Com isso, constata-se que a grande variedade de origem destes tipos de resíduos pode ocasionar a geração de consideráveis volumes de resíduos perigosos em empreendimentos minerários;
- Em referência aos resíduos originados diretamente da atividade minerária (material estéril e rejeitos), pela análise da tabela apresentada na figura 9, é possível se constatar que, em geral, os empreendimentos minerários cadastrados pela FEAM produzem um volume muito maior de rejeitos e material estéril não perigoso. O que, em tese, facilita o armazenamento, disposição e o reaproveitamento deste tipo de resíduo.

b) Destinação dos Resíduos Sólidos na Mineração

Conforme apresentado anteriormente, praticamente todas as etapas produtivas de um empreendimento minerário são responsáveis pela produção de resíduos, sendo a caracterização de tais resíduos, de extrema importância na definição da forma de manuseio, armazenamento e disposição.

i. Destinação dos Resíduos Industriais

Em relação aos resíduos sólidos industriais, de acordo com o Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração, em 2017 foram inventariadas 242.197,994 toneladas de resíduos industriais. Considerando a sua natureza, tal como mostrado na figura 9, verifica-se que tais materiais tiveram destinos variados. Em referência a esta consideração, na tabela a seguir apresentamos um resumo relativo às principais formas de destinação destes resíduos:

¹⁶ Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

Tabela 1 - Destinação dos Resíduos Industriais em 2017.

Item	Destinação	Tipos de Resíduos	Percentual de Resíduos Destinados
1	Reciclagem e Reutilização	Bombonas de plástico (vazias ou contaminadas), Embalagens vazias contaminadas (com óleo, produtos alcalinos, outras substâncias/produtos perigosos), EPI's, Equipamentos elétricos e eletrônicos, Filmes e pequenas embalagens plásticas, Lâmpadas (fluorescentes, incandescentes), Óleo usado, Pilhas e baterias, Pneus, Resíduos de borracha, Resíduos de papel/papelão/plástico, Resíduos de vidro, Sucatas de metais ferrosos, Sucata metais não ferrosos (latão, cobre, alumínio, etc.), Resíduos de madeira (contaminado ou não contaminado), Casca de árvores (madeira, lenha, etc.) e Tambores metálicos com produtos não perigosos.	32,76%
2	Aterro Industrial	Resíduos da construção civil, Resíduo de ETE com material biológico não tóxico (Resíduos sanitários), Resíduos de borracha, Resíduos de papel/papelão/plástico, Resíduos de vidro, Sucatas de metais ferrosos, Sucata metais não ferrosos (latão, cobre, alumínio, etc.), Resíduos de madeira (contaminado ou não contaminado), Resíduos de materiais têxteis (contaminados ou não), Amianto, Materiais contaminados com óleo e graxa, Resíduos de varrição e Tambores metálicos com produtos não perigosos.	11,38%
3	Rerrefino de óleo	Óleo lubrificante usado	6,83%
4	Sucateiros intermediários	Sucata de metais ferrosos e metais não ferrosos, tambores metálicos, resíduos de madeira, resíduos de borracha, pneus, papel, papelão e plástico.	6,54%
5	BLEND de resíduos	Embalagens vazias contaminadas, EPI's contaminados (luvas, botas, aventais, capacetes, máscaras, etc.), Óleo lubrificante usado, Pneus, Resíduos de madeira contaminados ou não, Resíduos oleosos do sistema separador água e óleo, Resíduos contaminados com óleo e graxa.	2,35%
6	Coprocessamento em fornos de cimento	Resíduos contaminados diversos, Embalagens vazias contaminadas, EPI's contaminados (luvas, botas, aventais,	1,77%

Item	Destinação	Tipos de Resíduos	Percentual de Resíduos Destinados
		capacetes, máscaras, etc.), Pneus, Resíduos de borracha, resíduos de madeira (contaminados ou não), Resíduos do sistema separador óleo/água, Material contaminado com óleo e graxa.	
7	Aterros sanitários	EPI's contaminados (luvas, botas, aventais, capacetes, máscaras, etc.), Resíduos de restaurante, Resíduos de papel/papelão/plástico, Resíduos sanitários, Resíduos de vidros.	1,49%
8	Utilização em forno industrial	Resíduos de madeira (contaminado ou não), Pneus, Resíduos de borracha, Embalagens vazias contaminadas com óleo, EPI's, Resíduos sanitários.	0,51%
9	Bota Fora	Pneus e Resíduos sanitários.	0,14%

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração - Ano Base 2017.

Ao analisarmos a tabela 1, observa-se que grande parte dos resíduos industriais inventariados em Minas Gerais no ano de 2017, foi destinada principalmente a Reciclagem e Reutilização, aos Aterros Industriais, ao Rerrefino de óleo e aos sucateiros intermediários. Este fato indica uma tendência em reaproveitamento dos resíduos inventariados

ii. Destinação dos Rejeitos em Empreendimentos Minerários

Conforme apresentado nas informações relativas à geração de resíduos nas atividades de extração mineral, foi possível observar que os rejeitos podem ser considerados quantitativamente como o segundo tipo de resíduo mais gerado em empreendimentos minerários.

Desta forma é importante analisarmos quais são os principais destinos destes resíduos.

Por meio da tabulação dos dados inventariados na FEAM entre 2008 e 2017, foi possível verificarmos que o principal destino dos rejeitos são as barragens de contenção de rejeitos. Tal afirmativa fica evidente pela análise da figura apresentada a seguir:

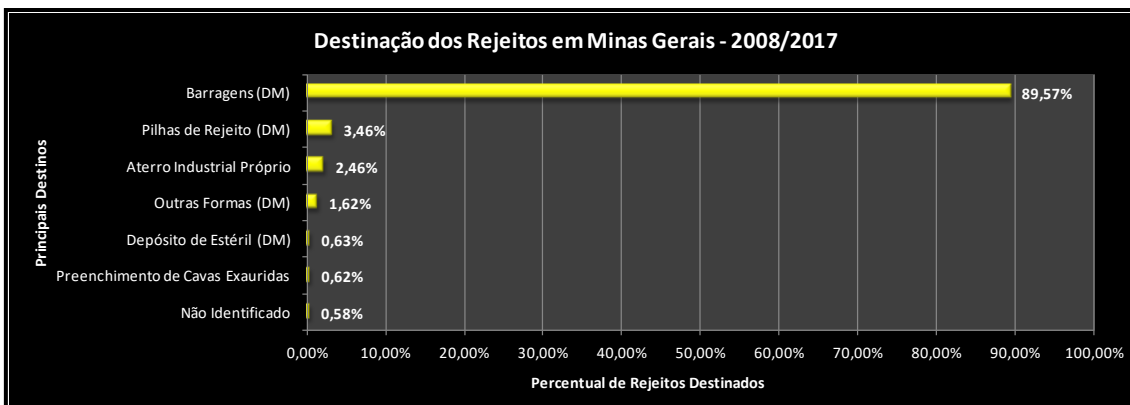


Figura 10 – Gráfico comparativo com principais destinos dos rejeitos inventariados em Minas Gerais, no período compreendido entre 2008 e 2017.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017¹⁷

Como pode ser observado, entre 2008 e 2017, os principais destinos de rejeitos em Minas Gerais, foram, pela ordem: Barragens de Disposição de Rejeitos (89,57% dos rejeitos inventariados neste período); Pilhas de Rejeito Dentro da Mina (3,46%) e Aterros Industriais Próprios (2,46%), os outros destinos receberam cerca de 3,45% dos resíduos inventariados.

A análise dos dados apresentados mostra que a forma mais comum de destinação dos rejeitos gerados em empreendimentos minerários em Minas Gerais é por meio do encaminhamento dos referidos resíduos em forma de polpa, para barragens.

Em relação às barragens de contenção de rejeitos, basicamente existem três métodos construtivos destas estruturas utilizadas no armazenamento de rejeitos, são eles:

- Método a jusante;
- Método a montante
- Método da linha de centro.

As barragens de disposição de rejeitos são construídas por meio da implantação de dique de partida. Basicamente, os métodos de construção se diferenciam pela forma como são realizados os alteamentos deste dique inicial.

Será apresentada uma breve descrição dos métodos de construção das barragens de disposição de rejeitos;

- Método de jusante: Neste método construtivo, o alteamento da barragem é realizado com a colocação de sucessivos diques em posição situada sempre a jusante do dique inicial. Desta forma, o(s) dique(s) responsável (is) pelo alteamento fica(m) assentado(s) sobre o terreno superficial situado a jusante do dique anterior. Este método construtivo, apesar de necessitar de maiores áreas superficiais, maiores volumes de materiais de empréstimo para construção e apresentar maior custo de construção, é considerado mais seguro, pois além do alteamento não estar sendo realizado em rejeito

¹⁷ Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

anteriormente disposto no local, há maior facilidade para controle da drenagem interna da estrutura;

- Método de Montante: No método alteamento a montante, os alteamentos sucessivos da barragem são realizados a partir da implantação dos diques de alteamento em posição situada a montante do dique de partida. Este método construtivo apresenta como vantagens a necessidade de menor área de implantação e menores custos de construção, porém tem a desvantagem de ser considerado um método menos seguro, pois, dentre outros fatores, o processo de alteamento é realizado em cima de rejeitos não consolidados, muitas vezes, com baixa resistência ao cisalhamento;
- Método de Linha de Centro: Este método construtivo é basicamente uma combinação dos dois métodos anteriormente citados. O alteamento é realizado de forma vertical, procurando-se manter o eixo vertical dos alteamentos coincidente com o eixo do dique de partida.

De acordo com dados do Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM) da Agência Nacional de Mineração (ANM)¹⁸ atualmente são cadastradas no órgão federal 179 (cento e setenta e nove) barragens a jusante, 64 (sessenta e quatro) barragens construídas pelo método de montante, 87 (oitenta e sete) barragens construídas pelo método de linha de centro e 448 (quatrocentos e quarenta e oito) barragens construídas em etapa única, resultando em um total de 778 (setecentas e setenta e oito) barragens de contenção de rejeitos cadastrada na ANM.

Além das barragens propriamente ditas, rejeitos do beneficiamento de carvão mineral nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul são dispostos em depósitos, que não obstante possam ter as mesmas características e serem enquadrados como barragens, não são construídos preenchendo vales e podem ter diques laterais em todo o seu entorno, semelhante aos depósitos sanitários.

Ao analisarmos os números relativos às barragens instaladas no país e volume de rejeitos dispostos anualmente nestes depósitos, verifica-se que atualmente se tratam de estruturas de grande relevância para a indústria mineral. Neste contexto, é importante relacionar alguns dos dispositivos legais e técnicos que orientam sua construção, monitoramento e desativação.

Com a publicação da Portaria DNPM (Atual ANM) nº 237, de 18 de outubro de 2001, que aprova as Normas Reguladoras de Mineração - NRM, de que trata o Art. 97 do Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967), foi também publicada a NRM 19, que trata da Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos em empreendimentos minerários.

A NRM 19 estabelece em seus itens, uma série de disposições acerca da implantação, projeto e critérios que devem nortear a construção, monitoramento e reabilitação dos depósitos de material estéril, rejeitos e produtos.

¹⁸ Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem> - Acesso em 16/mai/2021.

Dentre as diretrizes dispostas na NRM 19, podemos destacar:

19.1.3 A construção de depósitos de estéril, rejeitos e produtos deve ser precedida de estudos geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos.

19.1.3.1 Os depósitos de rejeitos devem ser construídos com dispositivos de drenagem interna de forma que não permitam a saturação do maciço.

19.1.3.2 Em caso de colapso dessas estruturas, os fatores de segurança devem ser suficientes para que se possa intervir e corrigir o problema. (Destaques nossos)

Com relação especificamente aos depósitos de rejeitos, a NRM 19 estabelece diretrizes mais genéricas em relação ao processo construtivo dos referidos depósitos. Dentre as diretrizes estabelecidas, citamos:

19.3.1 A construção de barramento para acumulação de rejeitos líquidos deve ser precedida de projeto técnico.

19.3.2 Deve constar no projeto técnico estudo que caracterize aspectos sobre:

a) alternativas para o local da disposição do barramento as quais contemplem a bacia hidrográfica, a geologia, topografia, pedologia, estudos hidrológicos, hidrogeológicos e sedimentológicos, suas implicações sociais e análise econômica;

b) geotecnia, hidrologia e hidrogeologia;

c) a impermeabilização da base, quando couber

d) caracterização do material a ser retido no barramento e da sua construção;

e) descrição do barramento e dimensionamento das obras componentes do mesmo;

f) avaliação dos impactos ambientais e medidas mitigadoras;

g) monitoramento do barramento e efluentes;

h) medidas de abandono do barramento e uso futuro; e

i) cronograma físico e financeiro. (Destaques nossos)

Em termos técnicos, a ABNT publicou em novembro de 2017, a terceira edição da Norma Técnica NBR 13028:2017, este documento técnico versa sobre a elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água.

Na Norma NBR 13028:2017 são apresentadas definições sobre termos técnicos referentes à disposição de rejeitos, tipos de barragens de mineração, Estudos tecnológicos e caracterização física e química dos rejeitos, estudos necessários a implantação das barragens, projeto da barragem, estabilidade e modos de ruptura de barragens, drenagem superficial da estrutura, instrumentação de controle e diretrizes sobre o plano de desativação e fechamento das estruturas de contenção de rejeitos.

Desta forma, a NBR 13028:2017 tornou-se a referência técnica nacional na elaboração de projetos de barragens de rejeitos.

Apesar disto, considerando-se a importância e os riscos ambientais e sociais envolvidos na construção de barragens de disposição de rejeitos, a concepção de tais estruturas deve sempre estar a cargo de profissionais experientes, devendo obedecer a critérios técnicos em literatura técnica internacional.

Apesar destas considerações, é importante ressaltar que a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu diretrizes orientadoras com relação à prática de hábitos sustentáveis de consumo, de reutilização, reciclagem e reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados, bem como a destinação ambientalmente adequada dos resíduos gerados.

Neste contexto, surge a necessidade da indústria mineral, bem como as outras tipologias industriais investirem na redução da geração de resíduos em seus empreendimentos, bem como propor e incentivar iniciativas que prevejam a reutilização, reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos gerados, além de promover a destinação adequada destes resíduos.

No caso dos rejeitos produzidos nos empreendimentos minerários, atualmente já estão disponíveis alternativas de disposição mais seguras, que contemplam a diminuição do volume de água na polpa, promovendo a disposição dos rejeitos com um volume mínimo de umidade (rejeitos drenados) ou praticamente secos (disposição em pilhas).

Além disso, também são estudadas alternativas de reutilização dos rejeitos dispostos em barragens inativas, sendo que, apesar de se caracterizar como uma alternativa de desativação destas estruturas, pelos riscos representa, tais processos devem ser mais profundamente estudados.

Em 9 de setembro de 2019, diante da ocorrência dos recentes eventos de rompimento de barragens de contenção de rejeitos no estado de Minas Gerais, o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) publicou uma carta compromisso perante a sociedade, na qual reconhece suas falhas; que resultaram em perdas de vidas, impactos sociais, econômicos, ambientais, culturais e psicológicos.

Neste documento, o IBRAM propõe uma série de ações relativas diversas áreas e interfaces da indústria mineral com a sociedade. Dentre as áreas contempladas, foram incluídas ações referentes à:

- Segurança Operacional;
- Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos
- Saúde e Segurança Ocupacional;
- Mitigação de Impactos Ambientais;
- Desenvolvimento Local e Futuro dos Territórios;
- Relacionamento com Comunidades;
- Comunicação e Reputação;
- Diversidade e Inclusão;
- Inovação;
- Recursos Hídricos;
- Energia;
- Gestão de Resíduos.

Por fim, o instituto reforça que a carta compromisso era “*fruto da reflexão e do engajamento de 200 profissionais da indústria da mineração e contava com o endosso do corpo de Executivos e Conselheiros das empresas associadas ao IBRAM*”.

iii. Destinação do Material Estéril em Empreendimentos Minerários

Pela análise dos dados referentes à destinação de resíduos sólidos em empreendimentos minerários no estado de Minas Gerais, ficou evidente que o resíduo mais produzido na mineração estadual se refere ao estéril originado na etapa de desenvolvimento da mina e nas operações de lavra de recursos minerais.

Este estéril normalmente é composto por uma rocha com tipologia distinta da rocha onde se encontra o bem mineral valioso. Em alguns casos, o estéril pode ser caracterizado como o solo que recobre a rocha de interesse econômico na jazida.

Por meio dos dados constantes dos inventários de resíduos sólidos da mineração relativos ao período de 2008 a 2017, foi possível elaborar um gráfico com as principais alternativas de destinação de material estéril no Estado de Minas Gerais. Este gráfico é apresentado na figura a seguir:

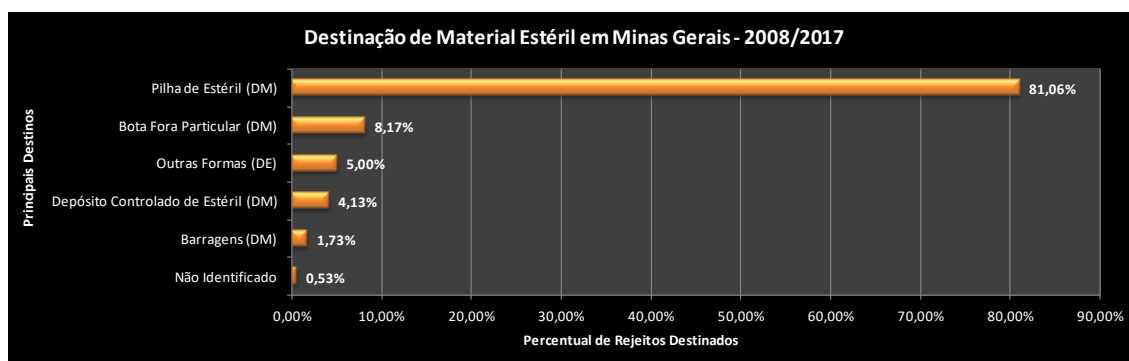


Figura 11 – Gráfico comparativo com principais destinos do material estéril inventariados em Minas Gerais, no período compreendido entre 2008 e 2017.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração – 2008 a 2017¹⁹

Pela análise dos dados apresentados na figura 11, observa-se que o principal destino do material estéril inventariado em Minas Gerais entre 2008 e 2017 são as Pilhas de Disposição de Estéril (PDE's) (81,06% do estéril gerado), vindo posteriormente bota foras particulares (8,17%), Outras formas (5%), depósitos controlados de estéril (4,13%) e barragens (1,73%).

Desta forma, considerando-se o número de pilhas e os volumes de material destinados às pilhas de estéril, fica evidente que tais estruturas devem ser alvo de constante atenção por parte dos empreendedores e dos órgãos de controle.

De acordo com a boa técnica, em empreendimentos minerários, é extremamente importante que a construção da pilha de disposição de estéril (PDE) e os locais mais adequados à sua implantação sejam planejados desde o projeto do empreendimento. Neste contexto, como se trata de uma estrutura que normalmente é implantada de

¹⁹ Disponível em: <http://www.feam.br/biblioteca/residuos> - Acesso em 14/mai/2021.

forma permanente, cabe esclarecer que existem dispositivos legais e técnicos que orientam sua concepção, construção, monitoramento e desativação.

Neste contexto, mais uma vez citamos a Norma Reguladora da Mineração (NRM) nº 19, norma que fornece diretrizes e procedimentos gerais voltados à disposição de estéril em empreendimentos minerários.

A NRM 19 estabelece em seus itens, uma série de disposições acerca da implantação, projeto e critérios que devem nortear a construção, monitoramento e reabilitação das PDEs.

Em termo de normas técnicas, em 2017, a ABNT publicou a terceira edição da Norma NBR 13.029, que veio a substituir a norma 13.029:2006.

Esta norma técnica dispõe sobre os critérios para a elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha, estabelecendo em seus itens uma série de recomendações sobre os requisitos necessários à elaboração e apresentação do projeto, estudos locais, caracterização do estéril, estudos (hidrológicos, hidráulicos, geológico-geotécnicos), geometria da pilha, tratamento das fundações, drenagem (interna e superficial), análises de estabilidade da estrutura, proteção superficial, instrumentação de controle, plano de desativação e fechamento da estrutura, além dos documentos que devem estar anexados ao projeto da estrutura de disposição de material estéril.

Cabe, no entanto, mais uma vez mencionarmos as diretrizes estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos no que se refere à prática de ações que visem a reutilização, reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados pelas atividades industriais.

No que tange ao material estéril e também aos rejeitos gerados em empreendimentos minerários, já foram apresentadas algumas alternativas de reutilização destes resíduos (fabricação de tijolos, recomposição de áreas degradadas, recuperação de processos erosivos, base para compactação de estradas, etc). Alternativas de disposição dos resíduos gerados também foram indicadas, propondo-se a disposição destes subprodutos em cavas paralisadas ou abandonadas, promovendo o correto descomissionamento destas estruturas. Empreendimentos de lavra subterrânea também apresentam a alternativa, já largamente utilizada, de disposição de material economicamente não aproveitável como preenchimento das aberturas subterrâneas escavadas para a execução da lavra, conhecidos como *backfill*.

Desta forma, é nosso entendimento que todas estas possibilidades de reutilização, reciclagem e reaproveitamento de resíduos gerados por empreendimentos de extração mineral devem ser incentivadas e utilizadas, visando a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos e a efetiva busca pelo desenvolvimento sustentável.

Referências Bibliográficas:

- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Portaria 237 de 18 de outubro de 2001. Aprova as Normas Reguladoras de Mineração - NRM, de que trata o Art. 97 do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Brasília: Distrito Federal, [2001]. Disponível em: <
<https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAtoArvore&link=S&tipo=POR&numeroAto=00000237&seqAto=000&valorAno=2001&orgao=DNPM/MME&codTipo=&desItem=&desItemFim=&nomeTitulo=>>. Acesso em 12 de maio de 2021;
- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Norma Reguladora da Mineração 19/2001. NRM-19 - Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos. Brasília: Distrito Federal, [2001]. Disponível em: <
https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&link=S&tipo=NRM&numeroAto=00000019&seqAto=000&valorAno=2001&orgao=DNPM/MME&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_modulo=&cod_menu=>. Acesso em 12 de maio de 2021;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13028. Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 22 p.;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13029. Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 11 p.;
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Distrito Federal, [2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 12 de maio de 2021;
- CASTRO, N. F., MARCON, D. B., FREIRE, L. C., & ALMEIDA, P. F. (2011). Impacto do APL de rochas ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. In F. R. C. Fernandes, M. A. R. S. Enriquez, & R. C. J. Alamino (Eds.), Recursos minerais e sustentabilidade territorial: arranjos produtivos locais. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. pp. 152. Disponível em: <
<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1180/1/Impacto%20do%20APL%20de%20rochas%20ornamentais.pdf>>. Acesso em 12 de maio de 2021;
- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2008. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2010. 104 p. Disponível em: <
http://www.feam.br/images/stories/arquivos/INVENTARIO/inventarioindustria12009/inventario%202009_versao2.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021;
- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2009. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2010. 105 p. Disponível em: <
http://www.feam.br/images/stories/Flavia/inventrio_2010_ano_base_2009_verso_final_1.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021;

- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2010. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2011. 47 p. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/arquivos/inventarios/relatorio_inventario_mineracao_2010.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021;
- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2011. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2012. 47 p. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/inventario/relatorio_inventario_mineracao_2012_ano-base-2011-revisao03.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021;
- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2012. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2013. 46 p. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/Inventarios_mineracao/inventario_estadual_de_residuos_solidos_da_mineracao-2013.pdf>;
- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2013. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2014. 46 p. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/Inventarios_mineracao/inventario_mineracao_ano-base-2013.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021;
- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2014. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2015. 46 p. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/2016/RESIDUOS/Inventario_Minera%C3%A7%C3%A3o_ano_base_2014.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021;
- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2015. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2016. 48 p. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/2017/RESIDUOS/Inventario_Residuos_Solidos_Minerarios_2016_Rev1_COM_FICHA.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021;
- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2016. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2017. 48 p. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/2017/RESIDUOS/Inventario_Minera%C3%A7%C3%A3o_ano_base_2016_COM_FICHA.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021;
- FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários – Minas Gerais, ano-base 2017. Belo Horizonte, Minas Gerais: Feam, 2018. 47 p. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/2018/RESIDUOS/Inventario_Minera%C3%A7%C3%A3o_ano_base_2017.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021;
- IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Carta Compromisso do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) perante a sociedade. Belo Horizonte: Ibram, 2019. 6 p. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp->

<content/uploads/2019/09/carta-compromisso-setor-mineral-setembro-2019-2.pdf>. Acesso em 14 de maio de 2021;

- HECK, N. C. A lavra por lixiviação. Notas de Aula. p 1. <Disponível em: <http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG06631/Lixiviacao.pdf>>;
- LIMA, L. R. P. A.; VILAS BÔAS, R. C.; KOHLER, H.M. Modelagem e simulação do processo de lixiviação em pilha de minérios auríferos voltados ao desenvolvimento de critérios de sustentabilidade. In: Indicadores de sustentabilidade para la industria extrativa mineral. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, 2002. pp. 241-242. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1351> Acesso em 12 de maio de 2021> . Acesso em 12 de maio de 2021;
- LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Introdução ao Tratamento de Minérios. In: A. B. LUZ, J. A. SAMPAIO, S. L. M. de ALMEIDA (Eds.) Tratamento de Minérios. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. cap. 1, p. 3-5.

Belo Horizonte, 20 de junho de 2021.



Reinaldo Paulino Pimenta

Analista do Ministério Público de Minas Gerais – Engenheiro de minas – Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Minas