Revista Engenharia de Interesse Social
http://revista.uemg.br/index.php/reis/index
ISSN: 2525-6041

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS | UEMG
UNIDADE JOÃO MONLEVADE

Manuseio e aproveitamento de estéreis em mineração

Marcos Delgado Gontijo[1]

RESUMO

Nas operações de lavra, grandes quantidades de solo e estéreis são retirados da mina e entornos, sem que haja utilização no beneficiamento dos minérios ou outro fim comercial. Nesse contexto, é de grande importância considerar e minimizar os efeitos das gerações dos resíduos sólidos, decorrentes das atividades mineradoras e correlacionados aos locais, aos relevos, às situações ambientais, às atividades econômicas e sociais envolvidas, assim como às tecnologias disponíveis para as construções dos projetos bem-sucedidos. O presente trabalho aborda análises bibliográficas e empíricas das gerações e destinos dos resíduos sólidos de mina: os estéreis. Identificação de casos, estudos e propostas para manuseios e reduções dos estéreis estão aqui abordados, têm sido desenvolvidos visando o aproveitamento máximo dos bens minerais extraídos do subsolo, de forma inteligente, responsável e enriquecedora. Conclui-se que o conhecimento, o bom planejamento, a disposição dos descartes adequadamente, bem como as utilizações racionais dos estéreis são alicerces da mineração moderna e sustentável.

Palavras-chave: Mineração. Estéril. Pilha de Estéreis.

[1]Graduado e Mestre em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Especialista em Gestão de Projetos, Segurança do Trabalho e em Meio Ambiente, Desenvolvimento e Sustentabilidade. Trabalha na Agência Nacional de Mineração – ANM, MG, Brasil. E-mail: marcosdgontijo@yahoo.com.br.

Handling and use of mining sterils

ABSTRACT

In mining operations, large amounts of soil and waste are removed from the mine and its surroundings, without using it for processing ores or for any other commercial purpose. In this context, it is of great importance to consider and minimize the effects of solid waste generation resulting from mining activities and locations, reliefs, environmental situations, economic and social activities involved, as well as the technologies available for the construction of successful projects. The present work approaches bibliographic and empirical analyzes of the generations and destinations of mine solid residues: the sterile ones. Here are discussed the identification of cases, studies and proposals for treatment and reduction of waste, developed with the objective of valuing the mineral goods extracted from the subsoil, in an intelligent, responsible and enriching way. It is possible to conclude that knowledge, good planning, proper disposal of waste, as well as rational uses of waste are the foundations of modern and sustainable mining.

Keywords: *Mining. Sterile. Pile of Sterile.*

Artigo recebido em: 13/08/2021

Aceito em: 04/11/2021

1. INTRODUÇÃO

1.1 Estéreis de mineração

Os estéreis são os materiais sólidos extraídos da mina, na atividade de lavra, e que, por características tais como teores ou propriedades físicas, não valem a pena serem processados ou comercializados. Sendo, portanto, direcionados a locais específicos para estocagens ou descartes. Baseado em Gontijo (2018), eles são compostos de fragmentos de rochas e capeamentos (solos) e, dependendo da substância de valor, das características do depósito e do método de lavra adotado, podem corresponder a 50% dos materiais extraídos, ocorrendo casos em que o estéril representa mais de 90% da parte não aproveitável, como para extração de gemas e ouro, por exemplo.

Conforme a NRM 19 (DNPM, 2001) as características e quantidades dos estéreis, rejeitos e produtos devem ser definidos de acordo com a composição mineralógica da jazida, as condições de mercado, a economicidade do empreendimento e sob a ótica das tecnologias atuais. É fundamental, assim, que os métodos de extração, beneficiamento e demais atividades sigam os preceitos que facilitam a posterior recuperação ambiental. A elaboração de drenos, de bancadas com inclinações estáveis e uso de rejeitos e estéreis para recobrimento de áreas escavadas são exemplos de atenuantes dos custos e impactos (GONTIJO, 2019).

Os resíduos sólidos são os principais responsáveis pelo impacto ambiental nas atividades mineradoras. Seu tratamento e armazenamento visando minimizar os custos e maximizar a segurança estão entre os principais objetivos das mineradoras para cumprir as exigências ambientais. (VICTORINO, 2016).

Segundo Rocha (2015), os estéreis são geralmente aqueles materiais que:

- Não existe possibilidade de aproveitamento econômico (estéril-franco ou estéril-nato);
- Não possuem valor econômico ou seu valor não é momentaneamente significativo (minério marginal);
- Não possuem rota de processo industrial conhecida (minério não-processável);

- Não atendem às especificações de qualidade da rota de processo implantada (minério contaminado).

O manejo do minério pobre responde a uma estratégia de negócio e tem um caráter de provisoriedade, a remoção do estéril da área de lavra e sua disposição final são atividades que podem ter um impacto desfavorável no desenvolvimento de uma mina com implicações de ordem econômica, de segurança e ambiental (FERREIRA, 2016). Porém, quando tratados de forma estratégica, os estéreis podem se tornar menos dispendiosos e menos danosos, podendo inclusive tornarem-se lucrativos.

1.2 Uso sustentável dos resíduos sólidos

Conforme Gomes (2017) e MMA (2009), para minimizar as quantidades lançadas em pilhas de estéreis e barragens de rejeitos sugere-se a adoção dos 5 princípios básicos da educação ambiental (5R´s):

- Reduzir: Trabalha com o conceito de exploração e consumo responsáveis;
- Reutilizar: Segundo este princípio, um material recuperado deve voltar ao ciclo de produção;
- Reempregar: Consiste em encontrar nova utilidade para um material que não pode mais ser aproveitado no seu ciclo de origem;
- Reciclar: transformar um material quanto às suas propriedades físicas ou físico--químicas para produção de descartes em novos produtos;
- Repensar: promove a conscientização sobre o consumismo e estimula a preferência da compra de produtos que geram menos impacto ambiental.

Baseando-se em Sant'ana Filho (2013), a reciclagem e reutilização de estéreis podem apresentar os seguintes benefícios:

- Reduzir a poluição de uma forma geral, nos grandes centros consumidores de matéria-prima para construção civil, além de apresentar balanço ambiental satisfatório;
- Reduzir o consumo de recursos naturais;

- Reduzir volume de aterros de rejeitos;
- Apresentar significativas vantagens econômicas;
- Proporcionar a produção de novos materiais de base tecnológica, implicando em redução do custo de habitações, obras de infraestrutura, rodovias, dentre outras.

1.3 Pilhas de estéreis

As pilhas de estéreis são sistemas planejados de "reservações" ou estocagens, definitivas ou temporárias para os materiais sólidos, ora inservíveis, advindos da lavra.

É necessário que um projeto de pilha de estéril seja concebido e executado de maneira adequada, atendendo à empresa de mineração e aos requisitos básicos definidos pelas normas de segurança e proteção ambiental. (ARAGÃO, 2008).

Os condicionantes de projeto exigem análises de estabilidade da pilha, implantação de sistemas de controle e percolação de fluxos naturais ou de águas pluviais e a adoção de dispositivos para proteção superficial das bermas e dos taludes. (CARVALHO, 2017)

As pilhas podem ser classificadas da seguinte forma:

- **Pilhas via seca por método descendente** – o material é lançado por caminhões ou tratores em encostas, aterros ou vales, sem altura definida dos taludes, dependendo da topografia;
- **Pilhas via seca por método ascendente** – o material é lançado por caminhões, tratores, correias ou *scrapes* em planaltos ou planícies, disposto em camadas horizontalizadas a partir da base, formando bancadas;
- **Pilhas via úmida** – o material é lançado por bombeamento ou gravidade, utilizando tubulações ou calhas – podem ser utilizados ciclones de adensamento sobre a pilha para separar materiais mais e menos úmidos ou grosseiros;
- **Pilhas em codisposição** (conjugadas) – o empilhamento faz-se usando estéreis e rejeitos combinados, reduzindo as barragens e melhorando a consistência das pilhas com materiais finos preenchendo espaços entre fragmentos grosseiros.

As pilhas dispostas em encostas tendem a apresentar menores capacidades, custos menores e melhores estabilidades (dependendo das características das ombreiras), dos

materiais e do sistema de disposição. Também, podem apresentar maiores dificuldades de seletividade e mapeamento dos materiais depositados (importante para uma possível remoção), assim como dificuldades de estabilização, drenagens e manutenção.

Vários aspectos devem ser considerados nas escolhas e procedimentos de disposição de estéreis, dentre os quais:

- Os riscos: especialmente os ambientais e humanos;
- Os custos: de construção e manutenção;
- A operacionalidade: distâncias de transporte, equipamentos utilizados e disponíveis, granulometria e forma dos fragmentos, química, mineralogia e contaminações dos materiais estocados;
- Características geotécnicas dos terrenos, encostas, escavações e dos materiais empilhados;
- Umidade dos materiais e pluviosidade local;
- Drenagem, presença de cursos d'água e lençol freático;
- Presença de cavas exauridas ou outros locais disponíveis e próximos, passíveis de "servidão" e fora de áreas de preservação;
- Planejamento para posterior recuperação ambiental ou retomada futura.

A NRM 19.2.6 (DNPM, 2001) define as seguintes regras básicas para conformação das pilhas:

a) Desmatamento, preparo da fundação, retirando-se a terra vegetal;
b) Impermeabilização da base da pilha, onde couber;
c) Implantação do sistema de drenagem na base e no interior da pilha visando a estabilidade do talude;
d) Compactação da base da pilha, quando couber;
e) Disposição do material em camadas;
f) Obediência a uma geometria definida com base em análises de estabilidade;
g) Efetuar drenagem das bermas e plataformas;
h) Construir canais periféricos a fim de desviar a drenagem natural da água da pilha;
i) Proteção superficial com vegetação dos taludes e bermas já construídos.

Para pilhas de estéreis, os perigos principais podem ser de duas origens: a estabilidade física do aterro (p.ex. perigo de uma ruptura) e a estabilidade química (p.ex. potencial para geração de drenagem ácida) (ARAGÃO, 2008).

Os projetos de disposição de estéreis, em mineração, devem seguir os procedimentos técnicos da NBR 13.029: elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2006).

1.4 Solos

Cuidados especiais devem ser tomados com os solos que, pelas suas características físicas e químicas, são úteis nas áreas de recuperações ambientais e aterros, necessários à operacionalidade da extração, transporte e pátios de estocagens. Também os solos por terem características friáveis e solúveis, algumas vezes com presença de sais minerais ou materiais sulfídricos e orgânicos, devem ser armazenados em locais que permitam a drenagem sem carreamento de finos, assoreamentos e contaminações.

2. PLANEJAMENTO E ESTRATÉGIAS

Os estéreis são materiais especiais, porque, embora inservíveis para o momento, normalmente possuem concentrações dos minerais-minérios ou materiais úteis, embora em quantidades ou qualidades inferiores aos minérios, e que, eventualmente, por mudanças de tecnologias, comerciais ou outras, podem vir a tornarem-se viáveis, consequentemente minérios.

Dessa forma, estéreis devem ser tratados com zelo, estocados em pilhas próprias, preferencialmente classificados e mapeados por teores ou outras características, de modo a possibilitarem seu provável aproveitamento futuro: podem ser considerados “passivos estratégicos” e, eventualmente, tornarem-se ativos em algum momento ou circunstância.

Vale salientar que o aproveitamento dos estéreis, diferentemente das jazidas (dos materiais *in situ*), possui duas grandes vantagens:

1. O seu “custo zero” de extração – pois já foram extraídos;

2. O seu impacto positivo ao meio ambiente – porque sua utilização reduz ou elimina as pilhas de estéreis e seus impactos ambientais, assim como os controles e os custos de manutenção. Podem inclusive, mesmo que momentaneamente, suprir a necessidade de abertura de uma nova mina para abastecer o mercado.

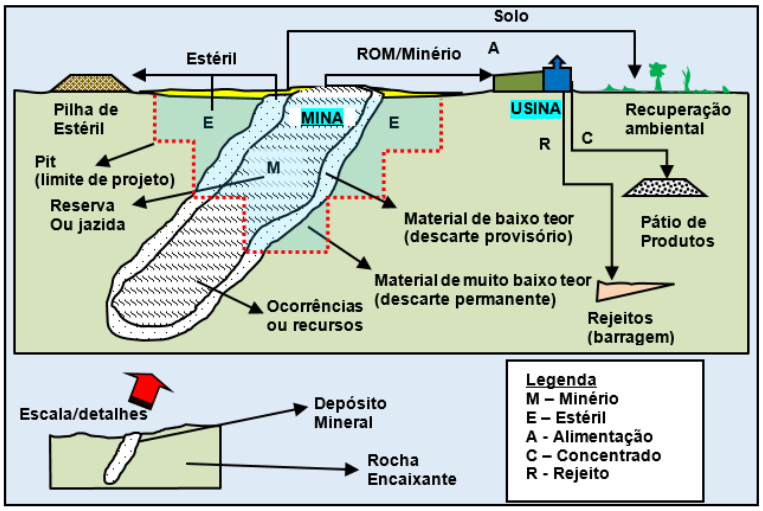
Os chamados rejeitos de usina de beneficiamento de minérios, de modo semelhante aos descartes de mina, podem ser considerados potencialmente aproveitáveis. Os mesmos podem ser sólidos ou pastosos e estocados em barragens ou outros locais, com complicações e cuidados específicos.

Os estéreis podem ser separados conforme suas características, em:

- **Estéril rico** (descarte temporário) – parte retirada da mina que no momento atual não pode ser beneficiada com lucratividade – estocado em pilhas para possível uso futuro;
- **Estéril pobre** (descarte permanente**)** – são materiais muito pobres, que não serão utilizados no futuro – além de descartados adequadamente podem ser usados para recomposição topográfica, estabilização de taludes, construção de barramentos e outros fins;
- **Capeamento superficial** (solos) – material relativamente friável retirado para acesso ao minério, é bastante útil e pode ser estocado para variados fins.

A seguir tem-se uma representação simplificada de um depósito, Figura 1, e as projeções das escavações para visualização dos conceitos e destinos dos materiais de mina:

Figura 1: Visualização de um depósito mineral e perfil das escavações



Fonte: Autoria própria, 2021.

Pelo fato de a lavra não ser perfeitamente seletiva e os depósitos geralmente possuírem regiões de transição (com teores intermediários ou marginais), tanto minério como estéril contêm mineral-minério (parte útil) e ganga (parte não útil). No entanto, espera-se que o minério possua um teor de mineral-minério maior que o estéril.

3. DISPOSIÇÃO DE ESTÉREIS

O depósito de estéril deve estar tão próximo quanto possível das frentes de lavra, por questões de custos de remoção e relativamente afastado, para não trazer interferências nas mesmas, como bloquear os avanços e comprometer o pleno aproveitamento do depósito. Devem-se amostrar, conhecer as características físicas e químicas dos estéreis, para dispor seletivamente em regiões ou camadas pré-definidas na pilha.

A forma de disposição dependerá das características granulométricas, da composição dos materiais, da homogeneidade, da umidade, dos equipamentos disponíveis, da topografia local, dentre outros aspectos. Ver a seguir, na Figura 2, uma pilha de estéril em desenvolvimento:

Figura 2: Pilha de estéril

Fonte: Gontijo, 2018.

Certos métodos a céu aberto, como o método de lavra em tiras *(strip mining*) permitem a disposição dos estéreis quase que concomitante com a extração, favorecendo ambiental e tecnicamente os descartes. Porém, essa metodologia somente é empregada sob condições geológicas e morfológicas favoráveis dos depósitos.

Atualmente, outros estudos e procedimentos têm sido desenvolvidos para a reutilização de estéreis e rejeitos no preenchimento de cavas exauridas, para métodos de lavra em cava, conforme mostrado na Figura 3 (a seguir). Essa estratégia, quando executada de forma devidamente planejada, permite uma destinação sustentável dos estéreis.

Figura 3: Uso de estéreis em cavas exauridas

Fonte: Gontijo, 2018.

A mineração por métodos de lavra subterrâneos segue princípios semelhantes aos processos da lavra a céu aberto quanto aos estéreis e suas destinações. No entanto, em alguns métodos, como corte e enchimento (*cut and fill*), os estéreis podem ser reutilizados, quase que imediatamente, para preencher espaços vazios de realces ou painéis, após a extração dos minérios, reduzindo os custos, favorecendo a operacionalidade da extração e a recuperação ambiental.

4. OUTRAS ALTERNATIVAS PARA ESTÉREIS

As empresas podem criar ou adotar alternativas e parcerias sinérgicas com cooperativas, órgãos públicos e consumidores para viabilizar a utilização dos estéreis. Dentre os principais aproveitamentos ou usos dos estéreis, podem-se destacar:

1) Como produtos com qualidades inferiores;
2) Como substâncias secundárias: subprodutos. Aproveitando outros minerais ou para usos diferentes do minério principal;
3) Em barragens, recuperação ambiental, enchimentos de aterros de minas;
4) Como matérias primas para artesanatos e decorativos;
5) Em construção civil (pavimentação e agregados);
6) Para aterros sanitários e outras obras urbanas etc.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A gestão dos estéreis é parte fundamental do processo de mineração responsável e pode ter seus custos reduzidos e mesmo produzir benefícios. Dentre os vários aspectos e benefícios dos controles dos resíduos sólidos de mina, tem-se os seguintes itens a recomendar:

Aprimorar as pesquisas e projetos, com adoção das melhores práticas e tecnologias;

Procurar o aproveitamento dos resíduos para usos comerciais e outros;

Otimizar os parâmetros técnicos (como *cut off*, relação estéril-minério e índices de lucratividade) para redução da geração de estéreis e rejeitos;

Adotar os melhores métodos de lavra, métodos mais seletivos e eficientes;

Aperfeiçoar os estudos de geologia e amostragem, de modo a permitir o correto aproveitamento da jazida e a redução dos descartes de encaixantes e contaminantes;

Investir na modernização de equipamentos e procedimentos adequados de operações, transportes e disposições;

Eliminar as áreas de descartes sem planejamentos (“bota fora”) e adotar os sistemas de disposições controladas, de forma dimensionada e otimizada, usando *softwares* de otimização de *pit* (planejamento de mina), de operação de lavra e de confecção de pilhas;

Promover disposições classificadas, com separação dos materiais em descartes provisórios (de qualidade inferior, com potencial) e descartes permanentes (sem utilidade, a longo prazo);

Pensar estrategicamente e buscar sempre a redução dos riscos sociais e ambientais.

REFERÊNCIAS

ABNT (2006). NBR 13.029: *Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Rio de Janeiro, 2006.

ARAGÃO, G. A. S. *Classificação de pilhas de estéril na mineração de ferro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2470. Acesso em: 15 mar. 2020.

CARVALHO, Wesley Durval Soares de. *Sistema de disposição compartilhada de estéreis e rejeitos desaguados da mina de Fernandinho*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/9803. Acesso em: 20 fev. 2020.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. *Normas Regulamentadoras de Mineração – NRM 19*. pág. 74 - 82. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_19.htm. Acesso em: 10 mai. 2020.

FERREIRA, Felipe Artur Bernardo. *Pilha estéril: dimensionamento e classificação.* Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geologia de Minas e Técnicas de Lavra a Céu aberto) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 2016. Disponível em: http://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/1958. Acesso em: 21 jun. 2020.

GOMES, A. C. F. *Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração.* Dissertação de Mestrado. Curso de pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e Minas da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-AN9QQC. Acesso em: 26 fev. 2020.

GONTIJO, Marcos Delgado. *Mineração: Meio Ambiente & Sustentabilidade.* 1. ed. Editora Multifoco: Rio de Janeiro, 2018. v. 1. 157 p.

GONTIJO Marcos Delgado. *Uso sustentável de áreas mineradas*. Brasil Mining Site. 2019. Disponível em: https://brasilminingsite.com.br/uso-sustentavel-das-areas-mineradas/. Acesso em: 12 mar. 2020.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. *Agenda ambiental na administração pública.* 5. ed. | Revista e atualizada. Brasília – DF | 2009. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/cartilha_a3p_36.pdf. Acesso em: 11 abr. 2020.

ROCHA, A. C. P. *Avaliação do material estéril de formação ferrífera em mineração para disposição seletiva e reaproveitamento futuro.* Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Ouro Preto, 2015. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/5932/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Avalia%C3%A7%C3%A3oMaterialEst%C3%A9ril.pdf. Acesso em: 20 mar. 2020.

SANT'ANA FILHO, Joaquim Nery de. *Estudos de reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para fabricação de blocos intertravados.* 2013. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: http://www.posmat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/120/2017/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Joaquim_Nery_Filho.pdf. Acesso em: 24 fev. 2020.

VICTORINO, Heloísa da Silva. *Análise de deformação em pilhas de disposição de estéril (NWI, W e SIV) no complexo minerador de Carajás com uso de dados stripmap do satélite TerraSAR- X.* Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2016. Disponível em: http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.09.15.39/doc/publicacao.pdf?metadatarepository=&mirror=iconet.com.br/banon/2007/02.23.11.08. Acesso em: 15 jun. 2020.