

Uso de separadores magnéticos no tratamento de minérios para a busca da manutenção e conservação do meio ambiente

Tauana Soares de Sousa¹, Thalles Ferreira Possapp², Julianne Cutrim Nazareno^{3*}, Diego Neves de Sousa⁴

Resumo

A mineração compreende um ramo importante que dinamiza a economia nacional. Com o tratamento ou beneficiamento de minérios, pode-se otimizar muitas atividades, dentre elas a busca de uma técnica sustentável utilizando separadores magnéticos. Dessa forma, o trabalho objetiva revisar e refletir, por meio de revisão bibliográfica, a importância da mineração, as formas de tratamento ou beneficiamento dos minérios com a utilização das técnicas de separação magnética, bem como os separadores magnéticos mais utilizados e sua importância para a manutenção e conservação do meio ambiente. Deste mapeamento, concluiu-se que os principais separadores são: separador de tambor de baixa intensidade, separador de tambor de alta intensidade de terras raras, separador magnético de rolos induzido, separador magnético do tipo Jones, separador magnético do tipo Ferrous Wheel e o separador magnético vertical de pulsação de alto gradiente. Entre as principais vantagens e utilizações da separação magnética estão o ato de aperfeiçoar os processos para ser obtido o máximo de aproveitamento dos minérios extraídos e dos insumos, além de desenvolver as atividades com a observância específicas do ramo visando atender aos aspectos de segurança, saúde operacional e proteção ao meio ambiente.

Palavras-chave: mineração; meio ambiente; separação magnética.

Use of magnetic separators in the treatment of ores for the search of maintenance and conservation of the environment.

Abstract

Mining comprises an important branch that invigorates the national economy. With the treatment or beneficiation of ores, many activities can be optimized, among them the search for a sustainable technique using magnetic separators. Thus, the objective of this work is to review and reflect, through a literature review, the importance of mining, ways of treatment / beneficiation of ores with the use of magnetic separation techniques, as well as the most used magnetic separators and their importance for maintenance and conservation of the environment. From this mapping, it was concluded that the main separators are: low-intensity drum separator, rare earth high-intensity drum separator, induced magnetic roller separator, Jones type magnetic separator, ferrous wheel type magnetic separator and separator high-velocity vertical magnetic pulse. Among the main advantages and uses of magnetic separation are the act of perfecting the processes to obtain the maximum use of the minerals extracted and the inputs, besides developing the activities with the specific observance of the branch aiming to attend to the aspects of safety, operational health and protection of the environment.

Keywords: Mining; environment; magnetic separation.

¹Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins.

²Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins.

³Mestre em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins.

⁴Doutorando em Desenvolvimento Rural pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

*Autora para correspondência: juliannenazareno@gmail.com

Introdução

A complexidade de extração dos minérios, nos aspectos físicos e químicos, vem exigindo que estudos de caracterização das propriedades dos seus minerais constituintes precedam num desenvolvimento dos seus processos de concentração, o que se torna significativo pelas questões intrínsecas aos minérios e pela necessidade de se otimizar o produto ao menor custo e à menor geração de impacto ambiental (Salum; Peres, 2002).

Considera-se que uma das técnicas de separação mais utilizada é denominada de separação magnética, que é um método de concentração para o beneficiamento de minérios e remoção de materiais caracterizados como resíduos (Moraes, 2011). A separação magnética pode ser feita com equipamentos de alta e baixa densidade, assim como equipamentos de correia cruzada (Cui; Forsberg, 2003).

O uso de separadores magnéticos compreende uma técnica sustentável, principalmente por serem utilizados na concentração de vários minerais ferrosos e não ferrosos, na remoção de impurezas magnéticas contidas nos minerais industriais, na purificação de águas residuais, na reciclagem de metais contidos em resíduos industriais entre outras utilizações (Svoboda; Fujita, 2003).

Dessa forma, o presente estudo objetivou estudar a importância da mineração, as formas de tratamento/beneficiamento dos minérios com a utilização das técnicas de separação magnética, bem como os separadores magnéticos mais utilizados e sua importância para a manutenção e conservação do meio ambiente através de revisão bibliográfica.

Esta pesquisa científica é predominantemente exploratória, pois proporciona maior familiaridade com o supracitado objetivo do estudo por meio de pesquisa bibliográfica (Gil, 2008). Com essa finalidade realizou-se uma revisão de trabalhos científicos publicados na área de separação magnética. A pesquisa foi realizada entre os meses de janeiro a maio do ano de 2017.

Mineração e tratamento de minérios

O subsolo brasileiro possui importantes depósitos de minerais, no qual o setor mineral do país produz cerca de 70 substâncias, sendo 21 dos grupos de minerais metálicos, 45 dos não-metálicos e quatro dos energéticos (Barreto, 2001). A mineração é considerada um dos setores mais dinâmicos da economia nacional, pois é a maior fornecedora de matéria-prima para a fabricação de produtos para uso do homem no seu cotidiano. Assim, essa área contribui para o bem-estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento de uma sociedade igualitária; entretanto, a mineração deve ser operada com responsabilidade social, estando sempre

em voga os preceitos que orientam o desenvolvimento sustentável (Farias; Coelho, 2002).

A mineração é uma atividade do setor primário da economia, importante e necessária, embora possa produzir impactos ambientais nas fases de extração, beneficiamento, refino e fechamento de mina. Os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em seis categorias: (1) poluição da água, (2) poluição do ar, (3) poluição sonora, (4) subsidência do terreno, (5) incêndios causados pelo carvão e (6) rejeitos radioativos (CPRM, 2002).

No Brasil, o ramo da mineração está submetida a um conjunto de regulamentações pautadas pela relação simétrica entre mineração e meio ambiente, regidos por órgãos federais, estaduais e municipais, compostas por leis, decretos, portarias e fiscalizações, por ser considerada como uma atividade econômica muito agressiva ao meio ambiente. No entanto, segundo relata Machado (1995) outras atividades, tais como: a agricultura, a petroquímica, a siderurgia, as grandes barragens e a própria urbanização, têm características mais impactantes do que a mineração.

Tratamento ou beneficiamento de minérios consiste em operações aplicadas aos bens minerais visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou na sua forma, sem, contudo modificar a identidade química ou física dos minerais. As operações de concentração, em especial a separação seletiva de minerais, baseiam-se nas diferenças de propriedades entre o mineral-minério (o mineral de interesse) e os minerais de ganga (não aproveitados), conforme explanam Luz *et al.* (2010).

As técnicas de estudo de caracterização de minérios são inúmeras e de diferentes graus de complexidade que varia desde o uso de avançados microscópios eletrônicos, tomógrafos computadorizados, até na análise granulométrica em peneiras ou análise química via úmida. Dessa forma, a separação magnética, separação eletrostática e separação por diferença de densidade são técnicas utilizadas individualmente ou combinadas entre si para se atingir o objetivo definido de se individualizarem, ao máximo, os minerais presentes em um determinado minério (Salum; Peres, 2002).

Separação magnética

A separação magnética é um método consagrado na área de processamento de minérios para concentração ou purificação de diversas substâncias minerais. Pode ser empregada, dependendo das diferentes respostas ao campo magnético associadas às espécies mineralógicas individualmente, no beneficiamento de minério e na remoção de sucata (Luz *et al.*, 2010).

A propriedade de um material que determina sua resposta a um campo magnético é chamada de susceptibilidade magnética, nos quais os materiais ou minerais são classificados em aqueles que são atraídos pelo campo magnético e os que são repelidos por ele. São classificados em três categorias: (1) os ferromagnéticos, os quais são atraídos fortemente pelo campo, como exemplo tem-se a magnetita; (2) os paramagnéticos, que são atraídos fracamente, como exemplo tem-se a hematita e (3) os diamagnéticos que são repelidos pelo campo, como exemplo tem-se o quartzo, calcita e fluorita (Silva, 2012).

Assim, a separação magnética é uma técnica amigável ambientalmente e pode ser usada tanto a seco quanto a úmido, viabilizando o seu uso em regiões áridas ou onde há disponibilidade de água. O método a seco é usado, em geral, para granulometria grossa e o método úmido para aquelas mais finas. Na história da separação magnética, verifica-se avanços em ambos os métodos, sem contar a utilização da tecnologia dos supercondutores, que abriu um novo horizonte na área de processamento de minérios. Estes são conhecidos como separadores magnéticos que operam industrialmente num campo que varia de 5 a 6 T, sendo, 1 tesla (T) = 10^4 Gauss (Svoboda; Fujita, 2003).

O campo de aplicação da separação magnética é bastante amplo. É usada na concentração de vários minerais ferrosos e não ferrosos, na remoção de impurezas magnéticas contidas nos minerais industriais, na purificação de águas residuais, na reciclagem de metais contidos em resíduos industriais entre outras funções (Svoboda; Fujita, 2003).

Segundo Crisóstomo (2015), a separação magnética é classificada quanto ao meio carreador, que pode ser a seco ou a úmido, baseado nas necessidades do sistema como a remoção de ferro e de materiais similares para proteção de equipamentos; extração de constituintes magnéticos de valor; remoção de impurezas magnéticas prejudiciais; separação de materiais baseada em outras propriedades, tais como: densidade e condutividade; manuseio de materiais, baseado na forma de geração do campo, que podem ser ímãs permanentes, eletroímãs, solenóides resistivos e ímãs supercondutores baseados na magnitude do campo e seu gradiente: alta intensidade; baixa intensidade; alto gradiente.

No estudo realizado por Gomes (2009), objetivando produzir concentrado de minério de ferro, averiguou-se que a melhor opção de concentração estudada constituiu na utilização de separação magnética.

Principais aplicações da separação magnética

Segundo Crisóstomo (2015), o uso da separação magnética no beneficiamento de minérios consiste não só na remoção dos minerais de ferro considerados contaminantes em diversos sistemas de processamento

mineral, mas também principalmente na concentração de minérios de ferro contendo hematita e magnetita. Outra significativa aplicação da separação magnética é no beneficiamento de caulim, removendo minerais de ferro e titânio, prejudiciais à alvura do produto.

Em outras utilizações estão inclusas a aplicação na remoção de impurezas magnéticas, dos concentrados de cassiterita, scheelita, areia quartzosa e do feldspato; remoção da magnetita do amianto e dos minérios fosfatados; purificação do talco, na recuperação de wolframita e minerais não sulfetados de molibdênio, contidos em rejeitos de flotação; beneficiamento de minérios de urânio e de minerais pesados; remoção da pirita por separação magnética, contida no carvão; purificação da água, por meio do uso de separadores magnéticos, no qual se pode remover as impurezas magnéticas e em alguns casos podem ser cancerígenas, como também certos vírus e/ou bactérias que podem associar-se ao material magnético (Abreu Filho, 2015).

A separação magnética pode também ser utilizada na reciclagem do plástico, removendo os materiais ferrosos da linha de produção, sendo indispensáveis nesse processo, pois separam os metais que vêm junto com as sucatas que provem do lixo (resíduos sólidos) evitando que tais metais danifiquem as facas do moinho de reciclagem do PET. Já na reciclagem do concreto, os britadores móveis podem ser alimentados somente com resíduos de concreto. É estimado que cada metro cúbico de concreto contenha cerca 200 kg de aço e nas indústrias de beneficiamento de trigo são usados tambores magnéticos, na saída do transportador para assegurar que o trigo não esteja contaminado por substâncias estranhas (Abreu Filho, 2015).

Separadores magnéticos

A variedade de separadores magnéticos úteis para fracionar as amostras para caracterização é enorme (Neumann *et al.*, 2004). Separadores magnéticos são máquinas que promovem a separação das partículas a partir da diferença nos valores de suscetibilidade magnética de forma que as partículas com maior suscetibilidade se concentrem na fração magnética, enquanto que as partículas com menor suscetibilidade magnética concentrem-se na fração não magnética (Silva, 2014).

Nos equipamentos modernos tanto o campo quanto o gradiente são responsáveis pelo processo de separação. A intensidade de campo refere-se ao número de linhas de fluxo que passa por uma determinada área, já o gradiente descreve a convergência ou divergência das linhas de fluxo. O gradiente de campo é obtido pela correta colocação das peças que compõem os polos do ímã. A escolha do tipo de matrizes e suas dimensões dependem do tamanho das partículas e da força magnética necessária a ser alcançada (Papini, 2014).

Existem duas formas de se produzir um gradiente. A primeira, a mais simples, consiste na construção de um polo de eletroímã com a área bem menor que a do polo oposto. A segunda forma consiste na utilização de matrizes entre os polos do eletroímã. A finalidade dessas matrizes consiste em aumentar o gradiente produzindo sítios dentro das mesmas com campo de alta intensidade. Vários modelos foram propostos e/ou utilizados, dentre os quais se destacam as: esferas, hastes, placas sulcadas, grades, lâ de aço etc. A matriz deve ser escolhida de tal modo que melhor se ajuste as características do minério (Crisóstomo, 2015).

No processo de seleção da matriz devem ser feitas algumas considerações de ajustes, tais como: gradiente máximo de campo; área superficial de captação por unidade de volume da zona da matriz; capacidade de limpeza da matriz, rapidez para manter o sistema de fluxo contínuo; porosidade da matriz. Assim, o material usado na fabricação das matrizes deve reter o mínimo de magnetização quando as mesmas são removidas do campo, no caso da matriz reter quantidade significativa de magnetização, torna-se impossível a remoção das partículas magnetizadas (Luz et al., 2004).

Principais equipamentos

Existe uma diversidade de separadores magnéticos que podem ser classificados de acordo com o uso, em dois grupos: (1) separadores a seco e (2) separadores a úmido, os quais podem ser subdivididos de acordo com as características do campo de indução. Logo, são encontrados os separadores de baixa e alta intensidade, tanto para a operação a seco, quanto a úmido (Crisóstomo, 2015).

Separador de tambor de baixa intensidade (LIMS)

Esses separadores são utilizados na separação de minerais ferromagnéticos e na recuperação de magnetita e ferrosilício, os quais são utilizados na formação de meios densos, desde que as intensidades de campo desses equipamentos atinjam valores de até 0,1 T. A principal aplicação de separação magnética de baixa intensidade é a recuperação de meio-denso nas plantas de preparação de carvão (Crisóstomo, 2015).

Separador de tambor de alta intensidade de terras raras (WDRE)

Funciona por meio do separador a úmido com intensidade de campo magnético médio, polossalientes e com tanque tipo concorrente. A polpa (minério + água) é alimentada a uma caixa posicionada em uma das laterais do tambor e, assim, flui no sentido da rotação do mesmo (Crisóstomo, 2015).

Separador magnético de rolos induzido

São utilizados na remoção das impurezas ferroginosas presentes nos concentrados de sílica (areia), feldspato, barita entre outros (Silva, 2008).

A separação por separador de rolo induzido ocorre quando o minério passa através dos campos magnéticos com intensidades de até 2 T, produzidos por rotores localizados entre os pólos de eletroímãs (Crisóstomo, 2015).

Separador magnético tipo Jones

É utilizado para concentrar e/ou separar materiais de baixa e média suscetibilidade magnética, no qual trabalha com um campo que varia entre 0,9 a 1,2 T. Também é utilizado para concentrar minerais de ferro com granulometria variando de 1,0 a 0,040 mm (Gomes, 2009).

Caracteriza-se por ser um campo magnético de alta intensidade criado por eletroímã. O aparelho tem dois níveis que trabalham de forma simultânea. Em cada nível existe uma estrutura circular com movimento rotatório. As placas que recebem a alimentação sob a ação do campo são escaneladas e paralelas. É um concentrador eletromagnético de carrossel, via úmido, que utiliza da propriedade magnética para realizar a separação dos minerais magnéticos dos não magnéticos (Crisóstomo, 2015).

Separador magnético do tipo Ferrous Wheel

Utilizado para concentrar e/ou separar materiais de baixa e média suscetibilidade magnética, o separador magnético do tipo Ferrous Wheel é utilizado principalmente para recuperar hematitas, goetitas com granulometria inferior a 0,040 mm, sendo que pode ser utilizado para granulometrias entre 0,15 a 0,040 mm. Está entre as mais recentes inovações em beneficiamento para a produção de *pellet feed* (Gomes, 2009).

Separador magnético vertical de pulsação de alto gradiente (SLon)

É aplicado para concentração de minério de ferro, ilmenita, cromita e manganês na purificação de minerais não-metálicos e na recuperação de materiais finos (Crisóstomo, 2015).

A aplicação industrial destes itens demonstrou que é possível produzir concentrados mais limpos e com alimentação composta de partículas menores que 100 μm . O desenvolvimento desta tecnologia foi conduzido em grande parte pela necessidade de concentrar minérios com teores abaixo de 30% de ferro no contexto da China (Hearn; Dobbins, 2007).

Vantagens e desvantagens da separação magnética

Segundo [Abreu Filho \(2015\)](#), as principais vantagens da utilização da separação magnética são: (a) poder operar tanto a seco, quanto a úmido para um mesmo sistema; (b) não há necessidade de um controle elétrico e nem dos dispositivos de resfriamento de bobinas; (c) campos magnéticos estáveis; (d) não há aprisionamento do material grosso ou fortemente magnético; (e) o consumo de energia é demasiadamente baixo comparado aos equipamentos com eletroímãs; (f) são mais eficazes quando utilizados em determinado líquido; (g) elevada taxa de produção, tanto para material fino quanto grosso; e, por último, (h) é um método que não produz resíduos que possam causar danos ambientais.

Ainda, conforme delimita [Abreu Filho \(2015\)](#), as principais desvantagens são: (a) necessidade de manutenção constante; (b) necessitam sempre de lubrificação com óleos a quaisquer partes móveis; (c) sensível à variação de temperatura; (d) só podem ser utilizados em misturas que contenham componentes com ligas de ferro; (e) lavados com alta pressão e limpos para remover materiais magnéticos que se acumulam; (f) pouca flexibilidade para variar a intensidade de campo e, por

último, (g) elevado consumo de água no processo por separação magnética úmida.

Conclusão

A ação conjunta de todos os que participam do ramo da mineração torna-se fundamental para o desenvolvimento sustentável do setor.

A separação magnética pode ser feita tanto a seco como a úmido. Assim, a mesma é utilizada para remoção de ferro e de materiais similares para proteção de equipamentos, para extração de constituintes magnéticos de valor, na remoção de impurezas magnéticas prejudiciais na separação de materiais baseadas em propriedades como densidade e condutividade.

Portanto, os separadores magnéticos são de grande importância e trazem diversas melhorias nos processos de tratamento de minerais, ao aumentar a recuperação de minério e ao reduzir o volume de rejeitos. Entre as principais vantagens em utilizá-los, citam-se: otimizar os processos para ser obtido o máximo do aproveitamento dos minérios extraídos e dos insumos, além de permitir o desenvolvimento de atividades atinentes às questões de segurança, saúde operacional e proteção ao meio ambiente.

Referências

- Barreto, M. L. 2001. Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.
- Cui, J.; Forsserberg, E. 2003. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 99: 243- 263.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2002. Perspectivas do meio ambiente do Brasil: uso do subsolo. Disponível em <www.cprm.gov.br>.
- Crisóstomo, R. C. 2015. A separação magnética de minérios de ferro no Brasil: uma revisão. Monografia de Especialização. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Farias, C. E. G.; Coelho, J. M. 2002. Mineração e meio ambiente no Brasil. Disponível em <<https://bit.ly/2KOqkZW>>.
- Abreu Filho, H. M. 2015. Separação magnética e eletrostática. Disponível em: <<https://bit.ly/2Ltor5N>>.
- Gil, A. C. 2008. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas.
- Gomes, M. A. 2009. Caracterização tecnológica no aproveitamento de rejeitos de minérios de ferro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Hearn, S. B.; Dobbins, M. N. 2007. Slon magnetic separator: A new approach for recovering and concentrating iron ore fines. Canada: Montreal Energy & Mines, Montreal.
- Luz, A. B.; Sampaio, J. A.; Almeida, S. L. M. 2004. Tratamento de minérios. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM- MCT.
- Luz, A. B.; Sampaio, J. A.; França, S. C. A. 2010. Tratamento de Minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM- MCT.
- Machado, I. F. 1995. O meio ambiente e a mineração. Disponível em: <<https://bit.ly/2s8cB8o>>.
- Moraes, V. T. 2011. Recuperação de metais a partir do processamento mecânico e hidrometalúrgico de placas de circuito impressos de celulares obsoletos. Tese de doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Papini, R. M. 2014. Notas de Aula. Curso de Pós Graduação. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG.
- Silva, A. C. 2012. Separação magnética. Disponível em: <<https://bit.ly/2KOGTES>>.
- Silva, F. G. 2008. Estudo da recuperação de metais presentes na escória de aço inox fina por beneficiamento magnético. Disponível em: <<https://bit.ly/2Lrvwnl>>.
- Silva, J. P. M. 2014. Aplicação de separação magnética de alta intensidade (WHIMS) no beneficiamento de itabiritos pobres. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Salum, M. J. G.; Peres, A. E. C. 2002. Caracterização de minérios: uso do Magstream-Model 100, suas vantagens e limitações. *Revista da Escola de Minas* 55: 55-59.
- Svoboda, J.; Fujita, T. 2003. Innovation in magnetic techniques of material treatment: technology at a crossroad. Proceeding of the 22th International Mineral Processing Congress (IMPC). South Africa: Cape Town.