

MANUSEIO, ESTOCAGEM E QUALIDADE DO MINÉRIO DE FERRO

Fabiana Fonseca Fortes¹

Carlos Alberto Pereira²

Resumo

Este trabalho busca identificar os impactos do manuseio e da estocagem na qualidade do minério de ferro, com relação às suas características físicas e químicas de maior interesse para a mineradora. Pretende-se identificar as interferências na qualidade do minério ocasionadas pelos equipamentos de manuseio e pela estocagem em pilhas de homogeneização. O estudo é delimitado ao Complexo Vargem Grande (Vale). O espaço temporal foi demarcado com base na formação das pilhas de homogeneização. A pesquisa de campo possibilitou coleta de dados e distinção entre procedimentos rotineiros e casuais nas operações de manuseio. A análise quantitativa é conduzida pelo método estatístico. Conclui-se que as atividades de estocagem e manuseio identificadas são capazes de inserir alterações nas características do minério de ferro. Os estoques tanto contribuem para a redução da variabilidade dos teores de sílica e alumina quanto para a deterioração granulométrica. O manuseio induz a degradação e a segregação. Porém, existe a possibilidade de diminuição do manuseio do minério e redimensionamento dos estoques com vista à maior eficiência do sistema e consequente redução de custo.

Palavras-chave: Minério de ferro; Qualidade; Manuseio; Estocagem.

HANDLING, STORAGE AND IRON ORE QUALITY

Abstract

This paper aims to identify handling and storage impact in iron ore quality, in their physical and chemical characteristics most important for a mining. It is tried to show the interferences in iron ore quality caused by the handling equipment and stockpiling. The research is restricted to Complexo Vargem Grande (Vale). The timeline was demarcated based on the formation of stockpiling. The fieldwork enables data collection and distinction of the routine procedures of casual operations handling. The quantitative analysis is conducted by the statistical method. As a conclusion, handling and storage identified are able to insert changes in physical and chemical characteristics of iron ore. Storage contributes to reduce variability of silica and alumina concentrations, but contributes too particle size deterioration. The handling induces degradation and segregation. However, there is the possibility to decrease handling of the ore and to establish the ideal size of stocks on the system in study, improving the efficiency of the system and consequent in global costs.

Key words: Iron ore; Quality; Handling; Storage.

I INTRODUÇÃO

A produção brasileira de minério de ferro em 2010 foi estimada em 370 milhões de toneladas, cerca de 16% da produção mundial. O Brasil ocupava a 2ª posição no ranking da produção mundial de minério de ferro e 1ª posição como exportador global.⁽¹⁾

Na busca por maior produtividade, qualidade e redução de custos na indústria mineral, uma das principais questões é o transporte; no entanto, não deve ser a única a ser considerada. Estocagem e manuseio são atividades logísticas igualmente importantes para o alcance desses objetivos. O minério de ferro, antes de seguir rumo aos

consumidores, sofre uma série de manuseios e estocagem desde o momento de extração.

As atividades de manuseio e estocagem, dentro da perspectiva da logística empresarial, evoluíram muito e passaram a agregar valor de lugar, de tempo, de qualidade e de informação à cadeia produtiva. O movimento pela qualidade, empreendido na década de 80, muito contribuiu para a expansão da mentalidade de otimização dos recursos. Dentro desse contexto, segundo Bowersox e Closs,⁽²⁾ um dos mais importantes mecanismos propulsores da transformação logística foi a ampla adoção do Gerenciamento da Qualidade Total nos mais diferentes segmentos industriais. Dessa forma, de acordo com Novaes,⁽³⁾ a

¹Mestranda Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Engenheira Vale, Mina Águas Claras, Av. Ligação, 3580, Cep 34000-000, Nova Lima, MG, Brasil. E-mail: ffonsecafortes@yahoo.com.br

²Doutor Tecnologia Mineral, Chefe do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Rua Diogo de Vasconcelos, 122, Cep 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil. E-mail: pereira@demin.ufop.br

“Logística está muito ligada, hoje, ao produto”. Sua obra está repleta de exemplos quando a Logística interfere na qualidade do produto. Porém, entre os exemplos citados por ele nenhum se refere a produtos a granel. “A organização deve preservar a conformidade do produto durante processo interno e entrega no destino pretendido. Esta preservação deve incluir identificação, manuseio, embalagem, armazenamento e proteção”.⁽⁴⁾

Quando se voltam os olhos para a mineração, o cenário não se parece muito distante da realidade da produção discreta. Nos estoques de minério, a qualidade é deteriorada. Cada etapa do manuseio é capaz de trazer consequências vistas como negativas para a qualidade do produto. Podem acontecer segregação granulométrica, degradação granulométrica (por queda ou esmagamento), desprendimento de poeira ou perda de rastreabilidade do material.

A segregação granulométrica pode ser promovida por diferentes propriedades do material: tamanho, massa específica, forma, aspereza e resiliência.⁽⁵⁾ As partículas de maiores dimensões tendem a rolar sobre a superfície de deposição, enquanto os finos tendem a se mover apenas por escorregamento. Esse movimento das partículas caracteriza a segregação granulométrica que ocorre, principalmente, durante a descarga em transportador de correia e no empilhamento.^(5,6) Devido à segregação granulométrica, os grossos estarão concentrados junto à base e os finos, no centro de uma pilha.

A degradação granulométrica apresenta relação com a resistência que a partícula apresenta. Chaves e Ferreira⁽⁶⁾ afirmam que um material de baixa resistência, quando cai de uma altura muito alta, pode se fragmentar ao atingir a superfície e também pode ser esmagado pelo peso das camadas posteriores.

O desprendimento de poeira, antes de ser um problema que afeta a qualidade, é um problema ambiental. Além das perdas de material arrastado pelo vento, que podem ser significativas em muitos casos, elas podem ser seletivas, isto é, as frações finas arrastadas podem apresentar características diferentes das da média da população, e a sua perda alterar a composição ou as características do material estocado.⁽⁶⁾ Chaves e Ferreira⁽⁶⁾ abordam o desprendimento de poeira somente das pilhas, o que não significa que este fato não possa acontecer em outros momentos.

A rastreabilidade⁽⁴⁾ refere-se à capacidade de recuperar o histórico, a aplicação ou a localização daquilo que está sendo considerado. No caso do lote de minério em pilha, não se saberá, com segurança, qual o lote de produção estará sendo transferido para o destino.

Apesar disso, Chaves e Ferreira⁽⁶⁾ afirmam que os estoques podem ser bastante úteis além de apresentarem a vantagem de permitir a estocagem de grandes quantidades, por longos períodos de tempo e a custo relativamente baixo.⁽⁷⁾ Os estoques funcionam como

reserva para a operação em épocas de chuva, nas paradas previstas ou não, amortecer oscilações na produção entre operações com *lead times* diferentes, aguardar embarque ou mesmo homogeneizar o material.

Nas pilhas de homogeneização, formadas segundo o Método *Chevron*, partículas maiores tendem a segregar e se concentrar ao pé da pilha e os finos se concentram no centro da pilha. Como forma de suprimir esse problema, “é comum não consumir as ‘cabeças’ das pilhas homogeneizadas, porque, devido à segregação granulométrica, a qualidade química dessas regiões difere sensivelmente da média”.⁽⁸⁾ Segundo Chaves e Ferreira,⁽⁶⁾ as extremidades das pilhas são depósitos perturbados que não representam a média do lote e afetarão o resultado da homogeneização. Como tais podem: i) ser abandonadas como morto no pátio e servir de aparo para a próxima pilha a ser formada; ii) ser retomada e redistribuída sobre a pilha; ou iii) direcionar o material das pontas para outra pilha do mesmo material, não o enviando para o destino. Com exceção da primeira alternativa, todas as outras geram custos adicionais ao processo de homogeneização. Quando a razão entre o comprimento entre os ápices dos semicones (L) e a largura da base da pilha (D) é maior do que cinco unidades ($L/D > 5$), o efeito da perturbação pode ser desprezado. Schofield⁽⁵⁾ afirma que a segregação granulométrica passa a ser problema somente quando está associada a características químicas particulares a uma faixa granulométrica.

A avaliação da homogeneização pode ser feita utilizando-se o Método Gaussiano, embasado em relações estatísticas do desvio-padrão, partindo inicialmente para a definição do número N de camadas necessárias para a obtenção da redução de variabilidade pretendida.^(5,9) A relação entre essas variáveis segue uma função exponencial, de tal forma que, a partir de um determinado número de camadas, a redução de variabilidade torna-se insignificante.⁽⁵⁾ Pierre Gy afirmou, verbalmente, que $N > 40$ nunca se justifica técnica e economicamente.⁽⁹⁾ Resultado parcial semelhante foi alcançado no estudo realizado por Costa et al.⁽¹⁰⁾ Os autores concluem que, a partir de 35 camadas, o benefício tende a não ser significativo.

Nesse processo de homogeneização, a empilhadeira exerce influência direta nos resultados devido ao tipo de liberdade de movimento da lança e a retomadora, pela posição de retomada na pilha, podendo ser na face lateral ou da seção transversal da pilha.

Dentro de um complexo de mineração, equipamentos como transportadores de correias, alimentadores, chutes de transferência e equipamentos auxiliares são bastante comuns e aptos a inserir modificações nas características do produto mineral.

Os transportadores de correia de longa distância (TCLD) para materiais a granel são enquadrados por Pelzer⁽¹¹⁾ como um tipo convencional de equipamento de transporte com característica de baixo custo. Porém, devido à sua grande extensão, o material transferido

através dele pode ser arrastado pelo vento ao longo do percurso. Chute de transferência é uma parte essencial de qualquer sistema de transporte por correia para manuseio de sólidos granulados. Por se tratar de um equipamento que promove a queda do material, Price⁽⁷⁾ aponta como efeitos o desgaste excessivo da correia, degradação do mineral e empoeiramento excessivos. Os alimentadores sob pilha são utilizados para descarregar material em transportadores a uma taxa controlada.⁽¹²⁾ Essa é uma forma cara e a mais penosa de retomar o minério pelo fato de que apenas 25% da pilha é disponível para ser retomada livremente. Nesses casos, 75% do material empilhado⁽⁷⁾ constitui o “morto”, que deve ser periodicamente forçar o escoamento com o auxílio de tratores de lâmina,⁽⁶⁾ promovendo além disso a perda de rastreabilidade do material.

O minério de ferro, assim como outros produtos, devem satisfazer exigências dos consumidores com vista à utilização satisfatória do recurso e antes disso, ainda, que possa garantir a seu produtor uma margem de lucro satisfatória que o torne competitivo frente à concorrência. Sendo assim, o presente artigo visa identificar as interferências do manuseio e estocagem na qualidade do minério de ferro em uma empresa do setor de mineração.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolvimento deste trabalho, optou-se pela investigação empírica de estudo de caso, conforme evidenciado por Yin.⁽¹³⁾ A técnica de observação partici-

pante foi viabilizada pela vivência na empresa estudada. A coleta de dados deu-se por formulários, consulta ao sistema informatizado de monitoramento da qualidade, projetos, documentos internos e técnica de entrevista, conforme definido por Cruz e Ribeiro.⁽¹⁴⁾ Em conjunto com a empresa, foi delimitado o espaço temporal para realização da pesquisa de campo e as variáveis da qualidade do minério a serem tratadas. O estudo de caso foi realizado no Complexo Vargem Grande, localizado no município de Itabirito, Minas Gerais. Visando a preservação de informações da empresa, os nomes das unidades produtivas são substituídos por nomes fantasia. Os valores originais dos teores apresentados neste trabalho são multiplicados por um fator aleatório de tal forma que os coeficientes apresentados são valores reais.

O estudo compreende o processo à montante da Instalação de Tratamento de Minério e à jusante das instalações de cominuição do minério proveniente das minas aqui denominadas Mina C e Mina T. O sistema em estudo abrange pátio de pré-produto, sistema de transferência por TCLD e pátio de homogeneização (Figura 1).

3 RESULTADOS

O *Run of Mine* (ROM) cominuído em 35 mm é conduzido pela TCLD até o Pátio de Homogeneização (PH). No Pátio de Pré-Produto, o ROM britado é depositado em pilhas cônicas que são retomadas por alimentadores de correia sob pilha. O material estacionado

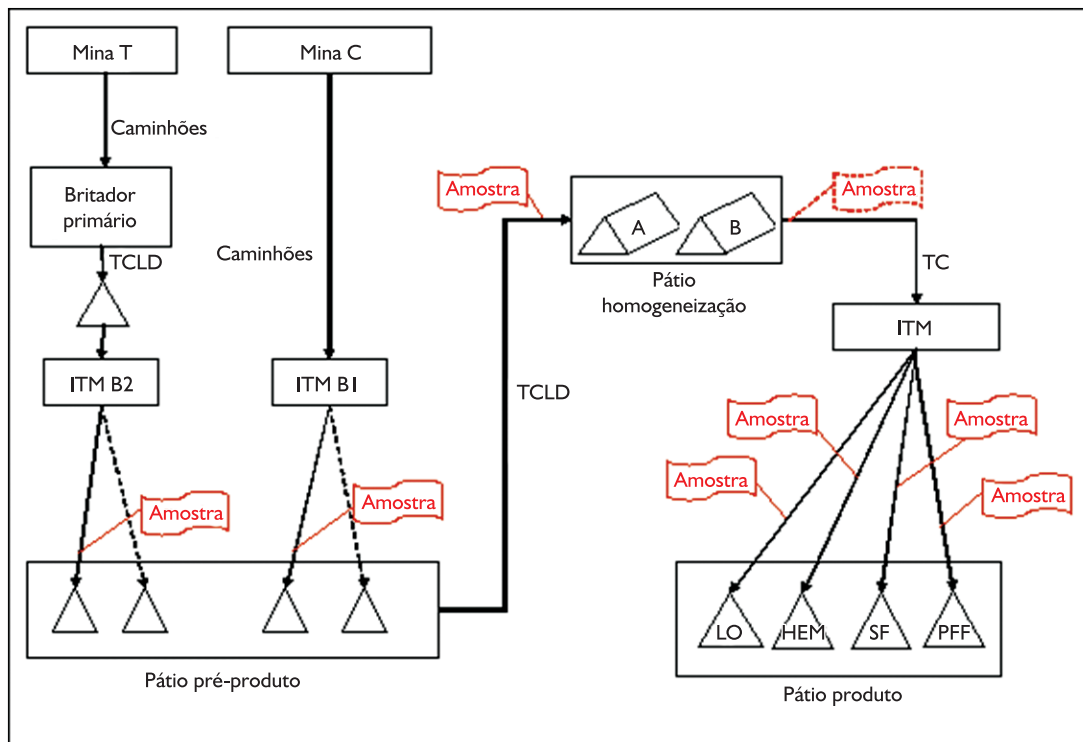


Figura 1. Sistema em estudo.

nas pilhas é removido por equipamentos auxiliares que se movimentam sobre as laterais das pilhas. Essa remoção implica em custo adicional de manuseio e também na degradação do minério por esmagamento, o que se agrava no caso da ocorrência de segregação granulométrica.

O minério das minas T e C apresentaram características bem distintas em cada fração granulométrica no período considerado. A fração 31,5 a 6,3 mm apresentou menores teores médios de sílica e alumina quando comparada com a fração inferior, a 0,150 mm. A fração 6,3 a 0,150 mm apresentou teores médios intermediários às duas outras frações.

O material das quatro pilhas cônicas no Pátio de Pré-Produto (PPP) escoia através dos respectivos alimentadores, simultaneamente sobre o mesmo transportador de correia. O material “blendando” é então encaminhado ao Pátio de Homogeneização, através da TCLD, que possui 11 km de extensão, divididos em três lances e dois chutes de transferência.

A sequência de transferência do material estocado nas pilhas é determinada pelo seu formato. Caso um determinado alimentador esteja em funcionamento e a lança da empilhadeira direcionada para o centro da pilha, o material escoará diretamente direção ao alimentador, formando-se assim um cone invertido. Nesta situação, a ordem de entrada/saída será FIFO (*First In - First Out*). Estima-se que o material empilhado chegue ao Pátio de Homogeneização dentro de alguns minutos. É compreensível que o material depositado nas laterais da pilha permaneça indefinidamente nessa posição se não houver intervenção de equipamento auxiliar para remoção.

O material transferido pelo TCLD é empilhado na pilha no Pátio de Homogeneização A e B. No pátio, operam uma empilhadeira e uma retomadora. Essas pilhas, alternadamente, alimentam a ITM em um fluxo aproximadamente constante. Cada pilha de base retangular tem dimensões máximas de 36 m de largura, 269 m de comprimento (restringidas pelas dimensões do pátio) e 15 m de altura (limitada pela inclinação vertical da lança da empilhadeira). Cada uma das pilhas é formada em dois blocos. Assim, uma dada pilha A, terá o bloco 1 formado e, posteriormente, o bloco 2. Essa prática comum viabiliza a constância na alimentação da ITM, uma vez que tão logo o primeiro bloco atinja a altura máxima ele é recuperado.

De posse das informações: tempo de operação da empilhadeira (h), velocidade de traslado da empilhadeira (m/min), comprimento da pilha (m) e massa de minério depositada na pilha (t), calculou-se o número de camadas e a massa depositada por camada nas pilhas. O número de camadas nas pilhas variou de 52 a 225. Conseqüentemente, a massa depositada por camada oscilou de 332 t a 1.426 t. A inconstância da massa por camada pode ser justificada pela variação do fluxo de minério na TCLD, uma vez que a velocidade da TCLD é constante. Pode-se afirmar que a moda entre os valores de comprimento dos blocos de pilha foi 130 m e 100 m para as pilhas A e B,

respectivamente. Os comprimentos dos blocos de pilha B bem como a massa empilhada se trata valores incomuns e ocorreram devido a obras civis do lado B do pátio. Dessa forma, cinco das seis pilhas do lado A observadas atingiram massa superior a 90 kt e todas as pilhas do lado B tinham massa inferior a 80 kt.

A recuperação da pilha homogeneizada é feita em uma operação contínua não discriminando o bloco de pilha. Na maioria das vezes, o final da pilha não tem o mesmo destino do material do corpo da pilha. A remoção se dá por tratores e caminhões com destino a alimentação de uma instalação de tratamento de minério auxiliar. No período de observação, a massa total removida alcançou valor em torno de 18 kt.

O modo como é formada a pilha *Chevron* propicia a segregação granulométrica o que não ocorre somente nas extremidades. Ela se manifesta também na interface dos blocos de pilha. Consideradas as pilhas de homogeneização formadas e retomadas durante o ano de 2004, para as quais foi possível reunir registros de resultados laboratoriais das amostras de empilhamento e retomada, calcula-se o Coeficiente de Redução de Variabilidade médio pelo Método Gaussiano, para os teores de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), para cada fração granulométrica. O Coeficiente de Redução de Variabilidade é a razão entre o desvio-padrão de saída da pilha pelo desvio-padrão de entrada na pilha. Quando menor, mais eficiente o processo de homogeneização na pilha. Ao contrário, a eficiência expressa a redução percentual da variabilidade dos teores em relação à variabilidade de entrada na pilha.

O manuseio do minério pré-britado nas pilhas de homogeneização sugere uma migração das partículas entre as frações granulométricas. As partículas de maior diâmetro (31,5 e 6,3 mm) tendem a se quebrar em partículas menores, diminuindo o percentual nessa fração. Seguindo essa lógica, todos os dados de pilhas para as quais a percentagem de material retido na fração 31,5 a 6,3 mm aumentou depois de retomado foram expurgados, entendendo que se tratavam de causas especiais. Sabe-se que o aumento percentual de material, com granulometria compreendida entre 31,5 mm e 6,3 mm, é atribuído ao desgaste do amostrador tipo Cross Belt e à amostragem manual, inevitáveis em um processo operando acima de sua capacidade.

Com relação às propriedades físicas do minério de ferro, calculando-se as equações de regressão para a porcentagem média do material retido em cada fração granulométrica do minério empilhado no PPP (x) e o empilhado no PH (y), observa-se: i) a diminuição da porcentagem do material mais grosso (31,5 mm a 6,3 mm) ao chegar no PH; ii) ao aumento da porcentagem de material na fração intermediária (6,3 mm a 0,15 mm), e iii) diminuição relativa da quantidade do minério mais fino (-0,150 mm).

Avaliando a equação de regressão ($y = 1,1698x - 4,5063$), pode-se afirmar que a porcentagem do material intermediário aumenta aproximadamente 17% ao chegar no Pátio de Homogeneização.

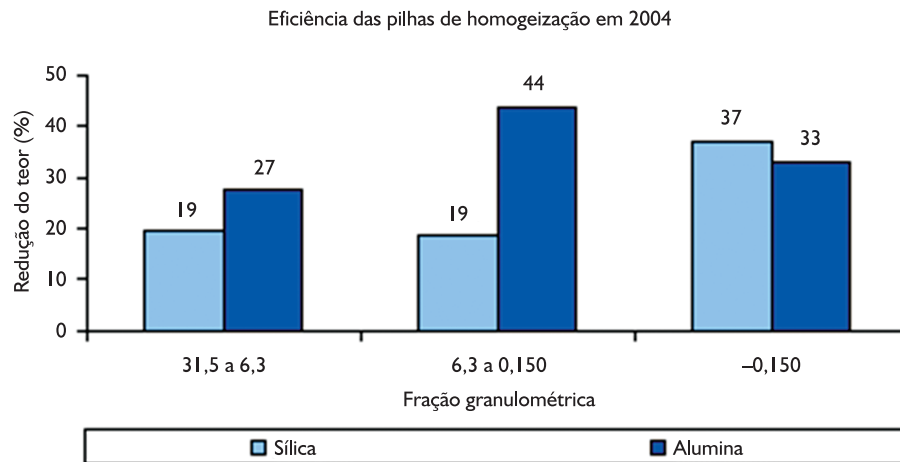


Figura 2. Eficiência do processo de homogeneização em 2004.

Para avaliação do impacto do manuseio nas propriedades químicas do minério, empregou-se o Coeficiente de Redução de Variabilidade. O resultado é apresentado na Figura 2.

A maior redução de variabilidade no teor de sílica ocorre nos finos do minério (-0,150 mm). A variabilidade no teor de alumina é menor na fração granulométrica intermediária (6,3 a 0,150 mm), atingindo 44% de redução.

4 DISCUSSÃO

O primeiro estudo realizado nas Minerações Brasileiras Reunidas (MBR), em 1997, sobre o assunto conclui que, para uma pilha Chevron com 50.000 m³, há uma redução de variabilidade do teor de sílica de cerca de 50%. Analisando dados históricos do processo de homogeneização em Vargem Grande, o melhor resultado para o teor de sílica é encontrado para a fração dos finos (-0,150 mm), para a qual ocorre uma redução da variabilidade de aproximadamente 37%.

Os fatos apontados até aqui sugerem que a qualidade do minério é influenciada pela degradação granulométrica, segregação granulométrica no empilhamento e na pilha, perda de rastreabilidade e até mesmo desprendimento de poeira ao longo da correia transportadora de longa distância (TCLD). Assim, recomenda-se que sejam estabelecidos os estoques operacionais mínimo e máximo, que minimizem os efeitos negativos dos estoques.

Se for levada em consideração a inequação $L/D > 5$ para tomar a decisão da retomada ou não do final da pilha, a conclusão seria que um bloco com metade do comprimento máximo possível da pilha não possibilitará sua retomada. Caso a pilha atingisse o comprimento máximo, o final da pilha poderia ser retomado sem prejuízo na qualidade, pois a razão entre L (igual a 269) e D (igual a 36) é maior que 5.

O número de camadas nas pilhas foi superior ao máximo necessário indicado na bibliografia desse trabalho. No entanto, é recomendável a utilização de maior número de camadas operacionalmente possível. O acréscimo do número de camadas acima de 40 pode ser entendido como um estoque pulmão que alimentará a instalação de tratamento de minério continuamente por um período de tempo.

As partículas de maior diâmetro (31,5 a 6,3 mm) tendem a se quebrar em partículas menores, diminuindo o percentual nessa fração e contribuindo para o aumento percentual nas frações inferiores. A equação ($Y_1 = 0,8679 x_1 + 2,2419$) e o coeficiente de correlação $R_1 = 0,89$ indicam a diminuição percentual da quantidade de minério na fração (31,5 a 6,3 mm). Seguindo essa lógica, a equação ($Y_2 = 1,003 x_2 + 0,8989$) e o coeficiente $R_2 = 0,91$ apontam para um pequeno aumento percentual da quantidade de material na fração (-0,150 mm).

O mesmo não se pode afirmar para a fração granulométrica intermediária. Por existir correlação fraca entre o empilhamento e a retomada do minério na pilha de homogeneização, pode-se especular que essa fração tanto recebe material proveniente da quebra das partículas de maior diâmetro, quanto perde material que quebra para a fração imediatamente inferior.

Os menores teores de impurezas são encontrados no intervalo 31,5 a 6,3 mm. A porcentagem de material nessa fração diminui depois de retomado da pilha e o maior valor agregado é atribuído ao produto originado a partir do material dessa fração, o *Lump Ore*. Tais fatores somados à redução de custo, com a exclusão da prática de remoção do final da pilha utilizando equipamentos auxiliares, justificam a retomada do final da pilha nesse caso particular.

5 CONCLUSÃO

As características da qualidade do minério de ferro abordadas são a granulometria e o teor de alumina e sílica

nas frações 31,5 a 6,3 mm; 6,3 a 0,150 mm e abaixo de 0,150 mm. Elas devem ser controladas visando o cumprimento dos requisitos da qualidade estabelecidos na empresa, com reflexo na satisfação do cliente.

Os impactos identificados na qualidade do minério de ferro durante o manuseio e estocagem são: a segregação granulométrica, a degradação, a perda de material por desprendimento de poeira e perda da rastreabilidade do minério dentro do sistema. O manuseio para transferência é inevitável; porém, pode ser reduzido em alguns momentos, com vista a minimizar os efeitos negativos sobre a qualidade do minério e redução dos custos.

Os estoques têm importância estratégica na mineração, no entanto, eles incorrem em avarias no produto mineral. Os equipamentos de manuseio, em maior ou

menor grau, também contribuem para a deterioração da qualidade do minério de ferro. As pilhas de homogeneização *Chevron*, além de serem estoques para estabilizar a alimentação da instalação de tratamento de minério, são eficientes para redução da variabilidade dos teores em diferentes graus. A utilização equivocada dos estoques e equipamentos de manuseio pode representar acréscimo de custo ao sistema.

Agradecimentos

Ao professor André César Figueiredo, pelo comprometimento durante o desenvolvimento deste trabalho de conclusão do Curso de Graduação, e ao senhor George Liu, pela oportunidade e desafio.

REFERÊNCIAS

- 1 INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Informações e análises da economia mineral brasileira. 5. ed. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br>>. Acesso em: 10 fev. 2011.
- 2 BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento*. São Paulo: Atlas, 2001.
- 3 NOVAES, A. G. *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- 4 4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2000.
- 5 SCHOFIELD, C. G. *Homogenisation/blending systems design and control for minerals processing*. Clausthal: Trans Tech, 1980.
- 6 CHAVES, A. P.; FERREIRA, F. M. *Estocagem, homogeneização*. [S.l.: s.n.], 1996. [Apostila].
- 7 PRICE, W. L. Storage and transportation of minerals. In: HARTMAN, H. L. *SME mining engineering handbook*. 2. ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1992. v. 1.
- 8 USIMINAS. *Utilização do minério de ferro na siderurgia*. [S.l.]: Usiminas, 2005.
- 9 VALENTE, J. M. G. P. Estatística aplicada ao processamento de minerais. Curso de especialização em processamento de minerais. Departamento de Mineração da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto: Fundação Gorceix, 1984.
- 10 COSTA, J. F. C. L. et al. Aperfeiçoamento da estratégia de homogeneização em pilhas chevron utilizando simulação geostatística. *REM: Revista da Escola de Minas*, v. 61, n. 3, p. 291-6, jul.-set. 2008.
- 11 PELZER, H. K. Long distance conveyors: economics and operating experience with the Sahara phosphate conveyor. In: ARGALL JR., G. O. *Mineral Transportation 3: proceedings; International Symposium on Transport and Handling of Minerals*, 3., 1979, Vancouver. *Proceedings...* Canadá: Miller Freeman, 1979.
- 12 Metso Minerals. *Manual de britagem*. 3. ed. São Paulo: Metso Minerals, 2005.
- 13 YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- 14 CRUZ, C.; RIBEIRO, U. *Metodologia científica: teoria e prática*. 2. ed. Rio de Janeiro: Axcel, 2004.

Recebido em: 15/02/2011

Aceito em: 02/03/2012