

MANUSEIO DO MINÉRIO DE FERRO E A QUALIDADE DO PRODUTO MINERAL¹

Fabiana Fonseca Fortes²

Carlos Alberto Pereira³

Resumo

Este trabalho buscou identificar o impacto do manuseio e estocagem na qualidade do minério de ferro em Vargem Grande (Vale), principalmente, com relação às suas características físicas e químicas. Buscou-se identificar as interferências na qualidade do minério ocasionadas pelos equipamentos de manuseio e pela estocagem em pilhas de homogeneização, sendo relevante para a pesquisa a limitação do sistema. O estudo foi restrito a um dos complexos mineradores. O espaço temporal foi demarcado com base na formação das pilhas de homogeneização. As características de qualidade do minério estudadas foram aquelas de maior interesse para a mineradora. A pesquisa de campo possibilitou coleta de dados e distinção entre procedimentos rotineiros e casuais nas operações de manuseio. A análise quantitativa foi conduzida pelo método estatístico. Concluiu-se que as atividades de estocagem e manuseio identificadas são capazes de inserir alterações nas características físicas e químicas 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 redimensionando dos estoques com vista à maior eficiência do sistema e conseqüente redução de custo.

Palavras-chave: Manuseio; Pilha de homogeneização; Qualidade; Minério de ferro.

IRON ORE HANDLING AND MINERAL PRODUCT QUALITY

Abstract

This paper aims identify the handling and storage impact in iron ore quality at Vargem Grande (Vale), mainly, in their physical and chemical characteristics. Identifying interferences in iron ore quality caused by the handling equipment and stockpiling, being relevant for the research the limitation of system. The research was restricted to one of the mining complex. The timeline was demarcated based on the formation of stockpiling. The variables of quality were chose for mining company was studied. The fieldwork enabled data collection and distinction of the routine procedures of casual operations handling. The quantitative analysis was 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 contribute to reducing variability of silica and alumina concentrations, but contribute too particle size deterioration. The handling induces degradation and segregation. However, there is the possibility decreases of the handling of the ore and establish the ideal size of stocks on the system in study, improving the efficiency of the system and consequent in global costs.

Key-words: Handling; Stockpiling; Quality; Iron ore.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Especialista em Beneficiamento Mineral e Engenharia na Diretoria de Ferrosos Sul / Vale.

³ Dr. Tecnologia Mineral e chefe do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - UFOP

1 INTRODUÇÃO

A indústria da mineração do ferro tem grande importância econômica na sociedade brasileira. O valor de sua produção em 2007 representou 18,4% da produção mundial. O Brasil ocupa a 2ª posição no ranking da produção mundial de minério de ferro beneficiado, e é grande exportador.⁽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 ser carregado em trens, caminhões ou navios para seguirem rumo aos consumidores, sofre uma série de transferências e estocagem desde o momento de extração nas minas, passando pelas instalações de tratamento até chegar aos pontos de despacho.

Uma empresa mineradora pode optar em estocar o minério de diferentes formas. Segundo Chaves e Ferreira,⁽²⁾ ela pode ser feita em vagões ferroviários, em silos e em pilhas no caso de produto beneficiado. A estocagem em vagões ferroviários não é prática comum no Brasil. Ela é usada principalmente para evitar a movimentação do minério do vagão para a pilha e da pilha para outro vagão, evitando os efeitos negativos do manuseio sobre o material. A estocagem em silos é característica de estoques intermediários ou de estoques de material em processamento durante o beneficiamento e, portanto, em quantidade reduzida.

A estocagem em pilhas, por sua vez, é um método bastante usado na mineração. Segundo Chaves e Ferreira,⁽²⁾ a grande vantagem sobre os outros tipos de estocagem é a de permitir a estocagem de grandes quantidades, por longos períodos de tempo e a custo relativamente baixo. Price⁽³⁾ afirma que a pilha cônica com maior altura prática representa o mais baixo custo nominal de estocagem por tonelada. A altura da pilha é governada pelo espaço disponível, segregação por tamanho e degradação por queda da descarga do transportador.

Chaves e Ferreira⁽²⁾ afirmam que é sempre necessária a formação de estoques de minério por alguma razão. Os estoques podem ser bastante úteis funcionando como reserva para a operação em época de chuva, nas paradas previstas ou de emergência para a mina. O estoque pulmão entre operações com *lead time* diferentes amortiza oscilações na produção. O estoque pode ser formado para aguardar a chegada do meio de transporte (trem ou navio) para ser embarcado. O estoque em pilhas pode ter a finalidade de homogeneizar o material que entrará em determinada unidade, para evitar flutuações das características (teor médio e variabilidade) da alimentação e conseqüente perda de controle do processo como se verá a frente.

A pilha de homogeneização consiste basicamente na combinação adequada de materiais de composição química e granulométrica diferentes, de modo a se obter um produto homogêneo, com características desejadas, constantes e de maior estabilidade de composição química. No método Chevron, o material é depositado pela empilhadeira movendo-se longitudinalmente na crista da pilha e retomado através da seção inteira da face da pilha.

A avaliação da homogeneização pode ser feita utilizando-se do Método Gaussiano que se baseia em relações estatísticas macroscópicas clássicas (desvio-padrão), partindo inicialmente para a definição do número N de camadas necessárias para a obtenção da redução de variabilidade pretendida pelo usuário da pilha.^(4,5) 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 se torna insignificante.⁽⁴⁾ Sendo assim, Pierre Gy afirmou verbalmente que $N > 40$ nunca se justifica técnica e economicamente.⁽⁵⁾ Resultado parcial semelhante foi alcançado no estudo realizado por Costa et al.⁽⁶⁾ Os autores concluem que a partir de 35 camadas, o benefício tende a não ser significativo.

Dentro de um complexo de mineração, o minério defronta com diversos equipamentos de manuseio aptos a inserir alterações na qualidade do produto até atingir o ponto de destino. Equipamentos como transportadores de correias, alimentadores, chutes de transferência, equipamentos de apoio ou auxiliares, além dos equipamentos especializados (empilhadeira e retomadora) são bastante comuns nas mineradoras.

Os transportadores de correia de longa distância (TCLD) para materiais a granel são enquadrados por Pelzer⁽⁷⁾ como um tipo convencional de equipamento de transporte com característica de baixo custo. Porém, devido à 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⁽³⁾ aponta como efeitos o desgaste excessivo da correia, degradação do mineral e empoeiramento excessivos.

Os alimentadores são utilizados para extrair material de tremonhas de basculamento, silos e pilhas de estocagem. Normalmente descarregam material em britadores, peneiras de escalpe e transportadores, que exigem uma taxa controlada de alimentação.⁽⁸⁾ Essa é uma forma cara e a mais penosa de retomar o minério pelo fato de que apenas 25% da pilha estar disponível para ser retomada livremente. O restante deverá ser recuperado a um custo mais alto por equipamentos auxiliares.⁽³⁾

A empilhadeira e a recuperadora exercem influência direta nos resultados da homogeneização. As empilhadeiras se diferem basicamente pelo tipo de liberdade de movimento da lança de empilhamento. O tipo de equipamento de retomada do material empilhado difere pela posição de retomada na pilha, podendo ser na face lateral ou da secção transversal da pilha.

Nas pilhas de homogeneização formadas segundo o Método *Chevron*, grande número de partículas do material bruto tende a segregar e se concentrar ao pé da pilha e os finos se concentrarem 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 destas regiões difere sensivelmente da média”.⁽⁹⁾ Cabe observar que a Usiminas recebe nos seus pátios de homogeneização, dentre outros materiais, o *sinter feed* e não o minério de ferro bruto.

Segundo Chaves e Ferreira,⁽²⁾ as extremidades das pilhas são depósitos perturbados que não representam a média do lote e afetarão o resultado da homogeneização. E 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 indicada por Chaves e Ferreira,⁽²⁾ todas as outras geram custos adicionais ao processo de homogeneização. Existe, porém, uma situação quando não é necessário tomar quaisquer das ações corretivas sugeridas. Quando a razão entre o comprimento entre os ápices dos semi-cones (L) e a largura da base da pilha (D) for maior do que cinco unidades ($L/D > 5$), o efeito da perturbação pode ser desprezada na operação normal. Schofield⁽⁴⁾ afirma que a

segregação granulométrica passa a ser problema somente quando está associada a características químicas particulares a uma faixa granulométrica.

A segregação granulométrica pode ser promovida por diferentes propriedades do material: tamanho, densidade, forma, aspereza e resiliência.⁽⁴⁾ As partículas de maiores dimensões tendem a rolar sobre a superfície de deposição enquanto os finos tendem a se moverem apenas por escorregamento. Esse movimento das partículas caracteriza a segregação granulométrica que ocorre durante a descarga em transportador de correia e no empilhamento,^(2,4) principalmente. Devido à segregação granulométrica, em uma pilha, os grossos estarão concentrados junto à base e os finos no centro.

A degradação granulométrica apresenta relação com a resistência que a partícula apresenta. Chaves e Ferreira⁽²⁾ afirmam que um material de baixa resistência quando cai de uma altura muito alta, pode se fragmentar ao atingir a superfície. E também podem ser esmagados 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, ocorre que estas perdas podem ser seletivas, isto é, as frações finas arrastadas podem ter características diferentes das da média da população, e a sua perda alterando a composição ou as características do material estocado.⁽²⁾ Chaves e Ferreira⁽²⁾ abordam o desprendimento de poeira somente das pilhas, o que não significa que este fato não possa acontecer em outros momentos.

Algumas pilhas cônicas são retomadas por baixo por alimentadores. Nesses casos, 75% do material empilhado não escoam livremente através do alimentador,⁽³⁾ constituindo o “morto”. Para remover o material estacionado, a solução oferecida por Chaves e Ferreira⁽²⁾ é, periodicamente, rearrumar as pilhas com o auxílio de tratores de lamina, forçando o escoamento do “morto” através do alimentador. Procedendo-se dessa forma, perde-se a capacidade de recuperar o histórico, a aplicação ou a localização daquilo que está sendo considerado, ou seja, a rastreabilidade.⁽¹⁰⁾ No caso do lote de minério, não se saberá com segurança qual o lote de produção estará sendo transferido para o destino. Não será possível conhecer a qualidade do material que sai do estoque.

As atividades de manuseio e estocagem vistas 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 através da filosofia “faça certo desde a primeira vez” e elimine o retrabalho. Dentro desse contexto, segundo Bowersox e Closs,⁽¹¹⁾ um dos mais importantes mecanismos propulsores da transformação Logística foram a ampla adoção do Gerenciamento da Qualidade Total (TQM – *Total Quality Management*) nos mais diferentes segmentos industriais. Um produto excelente entregue com atraso ou danificado não era aceitável. Isso poderia comprometer os movimentos da qualidade do produto.

Dessa forma, de acordo com Novaes,⁽¹²⁾ a “Logística está muito ligada, hoje, ao produto”. Sua obra está repleta de exemplos quando a Logística interfere na qualidade do produto. Ele cita o caso de um caminhão transportador de iogurte sem refrigeração adequada e a rede de drogarias que mantém um grupo de especialistas para monitorar a qualidade dos produtos e expedir as encomendas. Porém, entre os exemplos citados por ele nenhum se refere a produtos a granel, apenas unitizados.

“A gratificação ou prazer que o consumidor frui no consumo ou no uso do produto adquirido está basicamente ligada à mercadoria em si, mas a interferência da

Logística nesse processo não é desprezível”.⁽¹²⁾ Produtos de primeira necessidade vencidos ou deteriorados, bens de consumo durável com partes faltando ou com componentes errados, produtos entregues na cor errada prejudicam seriamente o *marketing* dos produtos comercializados e a imagem das empresas.

“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”.⁽¹⁰⁾

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. Pode acontecer segregação granulométrica, degradação granulométrica por queda ou esmagamento, desprendimento de poeira ou perda de rastreabilidade do material.

O minério de ferro, como a grande maioria dos produtos, deve satisfazer algumas 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 através de um estudo de caso conforme evidenciados por Yin.⁽¹³⁾

A técnica de observação participante⁽¹³⁾ foi viabilizada pela vivência na empresa estudada. Envolveu as técnicas de coleta e apresentação dos dados e uma discussão qualitativa dos resultados, conforme orienta Cruz e Ribeiro.⁽³⁾ A coleta de dados se deu 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, pertencente a Vale e localizado em Itabirito, Minas Gerais. Visto a complexidade, a pesquisa restringiu-se às atividades do complexo produtivo, dando atenção à análise das características físicas e químicas do minério de ferro mais relevantes para a empresa.

Visando a preservação de informações da empresa, os nomes das unidades produtivas foram substituídos por nomes fantasias. E, apenas os valores originais dos teores apresentados neste trabalho foram multiplicados por um fator aleatório de tal forma que os coeficientes apresentados são valores reais.

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

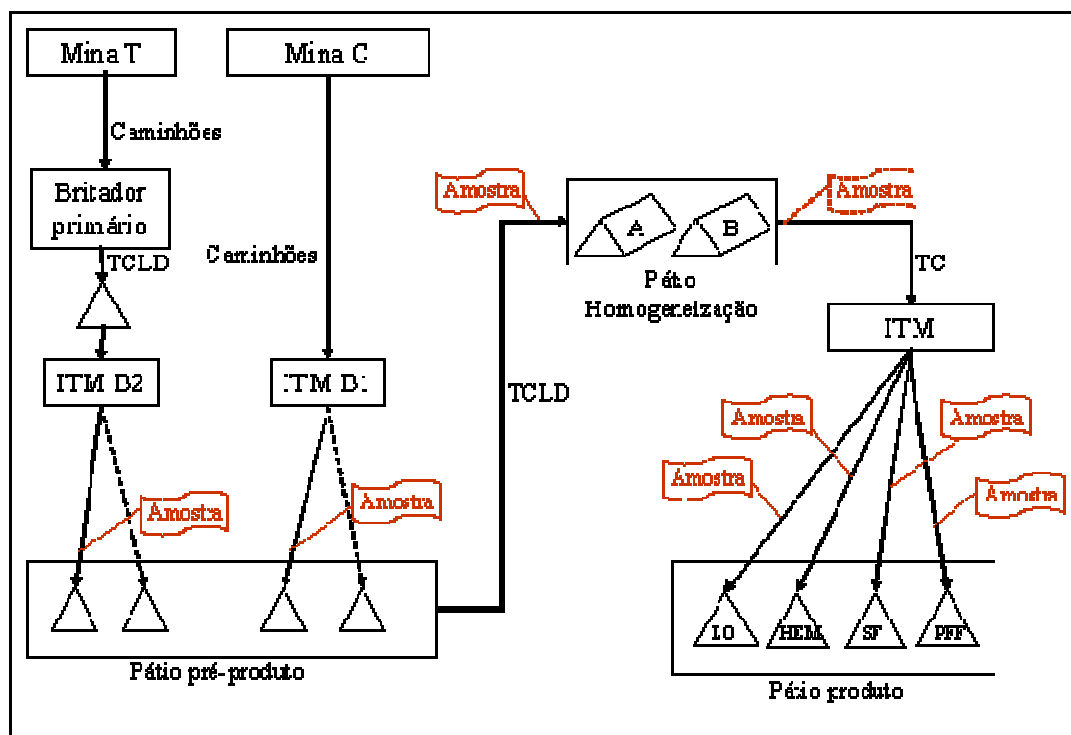


Figura 1: Sistema em estudo.

Nesse complexo, são produzidos quatro tipos de produto: Lump Ore e Hematitinha a partir da fração granulométrica (31,5 mm a 6,3 mm), *Sinter Feed* (6,3 mm a 0,150 mm) e *Pellet Feed Fine* (-0,150 mm).

3 RESULTADOS

O minério cominuído, intitulado Run of Mine (ROM), cujo tamanho máximo das partículas é 35 mm, é conduzido pela TCLD até o Pátio de Homogeneização (PH). No Pátio de Pré-Produto, o ROM é depositado em pilhas cônicas que são retomadas por alimentadores de correia. O material estacionado nas pilhas cônicas é removido por equipamentos auxiliares que se movimentam sobre as laterais das pilhas. Esta 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.

As minas T e C apresentaram características bem distintas em cada fração granulométrica no período considerado. A fração (31,5 mm 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 mm 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 contabiliza 11 km de extensão, divididos em três lances (dois chutes de transferência).

A sequência de transferência do material estocado nas pilhas é determinada pelo seu formato. Caso um determinado alimentador (AL) esteja em funcionamento e a lança da empilhadeira direcionada para o centro de uma das pilhas, o material que for depositado 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, ambas atuando nos dois lados do pátio alternadamente. Essas pilhas de homogeneização, 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 em toneladas (t), calculou-se o número de camadas na pilha e a massa depositada por camada.

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. O comprimento dos blocos de pilha B, bem como a massa empilhada se trata de 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 algo em torno de 18 kt.

O modo como é formada a pilha *Chevron* propicia a segregação granulométrica e 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, calculou-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 (compreendidas entre 31,5 mm 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 tratava de causas especiais. Sabe-se que o aumento percentual de material com granulometria compreendida entre (31,5 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 percentagem 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 percentagem do material mais grosso (fração 31,5 mm a 6,3 mm) ao chegar no PH; ii) aumento da percentagem de material na fração intermediária (6,3 mm a 0,15 mm), e; iii) diminuição relativa da quantidade do minério mais fino (fração -0,150mm). Avaliando a equação de regressão ($y = 1,1698x - 4,5063$), pode-se afirmar que a percentagem do material intermediário aumentou aproximadamente 17% ao chegar no Pátio de Homogeneização.

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

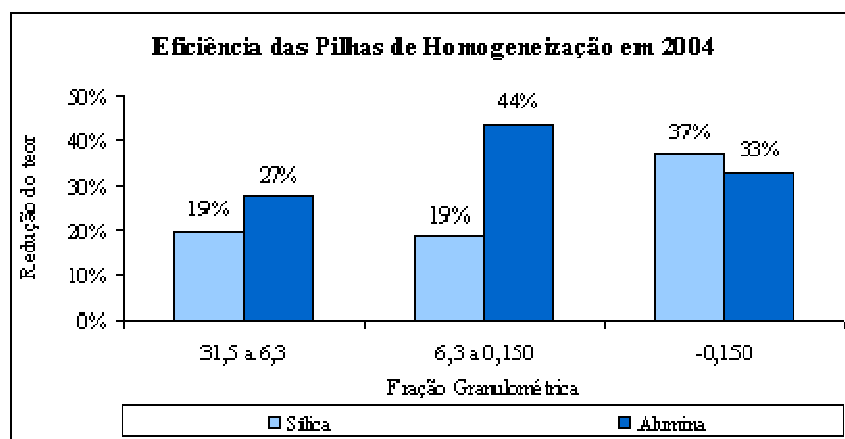


Figura 2: Eficiência do processo de homogeneização em 2004.

Para o teor de sílica, o melhor resultado da homogeneização foi encontrado para os finos do minério (fração -0,150 mm), para a qual ocorre uma redução da variabilidade de aproximadamente 37%. As frações (31,5 a 63,5 mm) e (6,3 a 0,150mm) obtiveram coeficientes semelhantes e de aproximadamente 0,81, ou seja, 19% de redução da variabilidade.

O teor de alumina apresentou melhor homogeneização na fração granulométrica intermediária (6,3 a 0,150 mm), atingindo 44% de redução de variabilidade. Para a fração (31,5 a 6,3 mm) a eficiência da homogeneização foi de 27% e na fração -0,150 mm, a homogeneização alcançou 33% de eficiência.

4 DISCUSSÃO

O primeiro estudo realizado na MBR, em 1997, sobre o assunto concluiu 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 foi 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 foi influenciada pela degradação granulométrica (queda do minério na pilha, queda do minério no alimentador, esmagamento pelo peso da pilha, esmagamento pela movimentação do equipamento auxiliar), 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 o estoque mínimo operacional e o máximo que minimize 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 (35 camadas a 40 camadas). 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 unidade de tratamento de minério continuamente por um período de tempo.

As partículas de maior diâmetro (31,5 mm 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 ($Y1 = 0,8679 \times x1 + 2,2419$) e o coeficiente de correlação $R1 = 0,89$ indicam a diminuição percentual da quantidade de minério na fração (31,5 mm a 6,3 mm). Seguindo essa lógica, a equação ($Y2 = 1,003 \times x2 + 0,8989$) e o coeficiente $R2 = 0,91$ 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 na fração (31,5 mm 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 a 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 foram a granulometria e o teor de alumina e sílica nas frações (31,5 mm a 6,3 mm), (6,3 mm a 0,150 mm) e (-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 foram: 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, na maior parte das vezes, 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. Conclui-se, portanto, que as atividades de estocagem e manuseio na mineração estudada interferem na qualidade física e química do minério de ferro.

Agradecimentos

Ao professor André César Figueiredo pelo comprometimento durante o desenvolvimento deste trabalho de conclusão do curso de graduação. Ao senhor George Liu pela oportunidade e desafio.

REFERÊNCIAS

- 1 IBRAM. Ferro. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000039.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2010.
- 2 CHAVES, A. P.; FERREIRA, F. M. Apostila Estocagem, Homogeneização. [S.l.]: [S.n.], 1996. (mimeo).
- 3 PRICE, W. L.. Storage and transportation of minerals. In: HARTMAN, Howard L. SME Mining Engineering Handbook. 2. ed. vol.1. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1992.
- 4 SCHOFIELD, C. G. Homogenisation/Blending Systems Design and Control for Minerals Processing. Clausthal: Trans Tech, 1980.
- 5 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.
- 6 COSTA, J. F. C. L.; MARQUES, D. M.; BATISTON, E. L.; PILGER, G.G.; RIBEIRO, D. T.; KOPPE, J. C. Aperfeiçoamento da estratégia de homogeneização em pilhas chevron utilizando simulação geoestatística. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 61(3): 291-296, jul. set. 2008.
- 7 PELZER, H. K. Long Distance Conveyors: Economics and Operating Experience with the Sahara Phosphate Conveyor. In: ARGALL, George O., Jr. Mineral Transportation 3. Proceedings of the third international symposium on transport and handling of minerals. Canadá: Miller Freeman Publications, 1979.
- 8 Metso Minerals. Disponível em: <http://www.metsominerals.com.br/>. Acesso em: 17 fev. 2006.
- 9 USIMINAS. Utilização do Minério de Ferro na Siderurgia. [S.l.]: Usiminas, 2005.
- 10 NBR ISO 9001. NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas [S.l.], 2000. 26 p.
- 11 BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J. Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001, p.29.
- 12 NOVAES, A. G.. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004, p. 35.

- 13 YIN, R. K. Estudo de Caso: planejamento e métodos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- 14 CRUZ, C. e RIBEIRO, U. Metodologia Científica: Teoria e Prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2004.