



Fernanda Soares Reis

**PROPOSTAS METODOLÓGICAS PARA QUANTIFICAÇÃO MÁSSICA DE  
PILHAS DE MINÉRIO DE FERRO**

Belo Horizonte

2011

Fernanda Soares Reis

**PROPOSTAS METODOLÓGICAS PARA QUANTIFICAÇÃO MÁSSICA DE  
PILHAS DE MINÉRIO DE FERRO**

Monografia apresentada ao Curso de  
Especialização em Engenharia de Recursos  
Minerais da Universidade Federal de  
Minas Gerais - UFMG para a obtenção do  
título de Especialista em Engenharia de  
Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Cláudio Lúcio Lopes Filho

Belo Horizonte

2011

Ao Senhor e salvador da minha vida, Jesus.

Ao meu saudoso pai, Antônio.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família e amigos pelo apoio e compreensão.

Agradeço aos professores do Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais e em especial ao professor orientador Cláudio Lúcio por sua disponibilidade, sugestões, discussões e colaborações enriquecedoras para esta monografia.

## **RESUMO**

No processo de contabilização dos estoques das mineradoras de ferro o estoque contábil das pilhas é ajustado por meio da medição do estoque físico. O estoque físico é estimado realizando uma medição topográfica e convertendo-se os valores de volume obtidos em massa utilizando-se a densidade aparente da pilha.

Este estudo tem como objetivo descrever as metodologias mais utilizadas atualmente para a determinação da geometria e estimação da massa de pilhas de minério de ferro, indicando, na visão da autora, os principais benefícios, restrições e dificuldades na aplicação destes métodos. Este trabalho visa, também, descrever as principais variáveis que influenciam a determinação da massa das pilhas e apresentar metodologias para estimar a densidade aparente em pilhas com o objetivo de contabilizar mais precisamente o estoque físico das pilhas de minério de ferro.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Estoque físico, estoque contábil, medição topográfica, densidade aparente, pilhas de minério.

## **ABSTRACT**

In the process of stock inventory of iron ore mines, the accountable stock is adjusted by measuring the physical stock. The volumetric physical stock is estimated by topographic procedures and converting the values obtained into mass using the ore pile bulk density.

This study aims to describe nowadays most used methods to assess the geometry and to estimate the mass of iron ore piles and to show the author's view about the benefits, constraints and difficulties in applying these methods. This work also aims to describe the main variables that influence the determination of pile mass and to present other methodologies to estimate the bulk density of piles for measuring the physical stock piles of iron ore more precisely.

## **KEYWORDS**

Accountable stock, physical stock, topographic measurements and bulk density, ore piles.

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 3.1 – Ajuste contábil em toneladas .....	16
Gráfico 3.2 – Ajuste contábil em reais.....	16

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Representação do processo de conciliação de estoques .....	18
Figura 5.1 – Estação total .....	19
Figura 5.2 – Representação, em planta, da pilha regular .....	21
Figura 5.3 – Representação, em planta, da pilha irregular .....	22
Figura 5.4 – Representação, em planta, da pilha muito irregular .....	23
Figura 5.5 – Scanner a laser .....	24
Figura 6.1 – Determinação do ponto de amostragem .....	30
Figura 6.2 – Locação do ponto de amostragem.....	30
Figura 6.3 – Nivelando a área .....	31
Figura 6.4 – Gabarito .....	31
Figura 6.5 – Cavando o poço .....	31
Figura 6.6 – Retirando o material .....	31
Figura 6.7 – Retirando o material .....	32
Figura 6.8 – Acondicionando o material.....	32
Figura 6.9 – Material acondicionado .....	32
Figura 6.10 – Pesagem do material.....	32
Figura 6.11 – Revestindo o poço com plástico.....	33
Figura 6.12 – Colocando água na proveta.....	33
Figura 6.13 – Vertendo a água da proveta no poço .....	33
Figura 6.14 – Controle da água vertida no poço.....	33
Figura 6.15 – Controle da água vertida no poço.....	33
Figura 6.16 – Poço cheio de água .....	34
Figura 6.17 – Poço cheio de água.....	34
Figura 6.18 – Formação das bancadas .....	35
Figura 6.19 – Formação das bancadas .....	35
Figura 6.20 – Preparação da bancada (capitel) .....	35
Figura 6.21 – Preparação da bancada (capitel) .....	35
Figura 6.22 – Volume do cilindro de amostras .....	36
Figura 6.23 – Espaçamento entre as amostras .....	36
Figura 6.24 – Lâminas para coleta de amostras.....	37
Figura 6.25 – Exemplo de volumetria da pilha antes da retomada.....	39



Figura 6.26 – Exemplo de volumetria da pilha após a retomada .....	39
Figura 6.27 – Diferença entre os volumes inicial e final da pilha, correspondente ao volume total embarcado .....	39
Figura 6.28 – Pilha em sua fase inicial .....	40
Figura 6.29 – Pilha final.....	41
Figura 6.30 – Retroescavadeira abrindo uma trincheira .....	43
Figura 6.31 – Material bem compactado.....	43
Figura 6.32 – Nivelamento desejado no fundo da trincheira .....	43
Figura 6.33 – Exemplo de medições topográficas de trincheiras .....	43
Figura 6.34 – Exemplo de resultados de medições topográficas de trincheiras .....	43

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	12
2. Objetivos .....	14
3. Relevância .....	15
4. Processo de conciliação de estoques .....	17
5. Método de determinação da geometria de uma pilha de minério de ferro .....	19
5.1 Medições topográficas das pilhas utilizando estação total .....	19
5.1.1 Descrição do procedimento para execução da medição com estação total .....	20
5.2 Medições topográficas das pilhas utilizando scanner a laser .....	23
5.2.1 Descrição do procedimento para execução da medição com scanner a laser .....	24
6. Métodos de determinação da massa de uma pilha de minério de ferro .....	26
6.1 Fator de conversão da volumetria das pilhas de minério de ferro em massa .....	26
6.2 Principais fatores que influenciam a determinação de massa das pilhas .....	26
• Compactação .....	27
• Umidade .....	27
• Método de formação das pilhas .....	27
• Qualidade do material estocado .....	28
• Materiais estocados na mesma pilha .....	28
6.3 Métodos utilizados atualmente para determinação da densidade aparente .....	28
6.3.1 Amostragem de pilhas de minério para determinação de densidade aparente utilizando o método de cilindro de amostra e o método de preenchimento com água ou areia .....	29
6.3.2 Método de preenchimento com água ou areia .....	30
6.3.3 Método do cilindro de amostra .....	34
6.3.4 Considerações .....	37
6.3.5 Método da retomada .....	38
6.3.6 Método do empilhamento .....	40
6.3.7 Considerações .....	41
6.3.8 Método da abertura de trincheiras .....	42
6.3.9 Considerações .....	44

7. Proposta de metodologia para determinação da densidade aparente das pilhas de minério de ferro .....	45
7.1 Procedimento para execução do método de empilhamento e recuperação total .....	46
7.2 Outro procedimento para determinação da densidade aparente .....	47
8. Conclusões.....	48
9. Referências bibliográficas .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial e o desenvolvimento tecnológico é cada vez maior a influência dos minerais sobre a vida e o desenvolvimento de um país, tornando necessária uma maior quantidade destes para atender as crescentes necessidades da sociedade.

A mineração de ferro é um dos maiores exemplos. Esta atividade tem demonstrado ao longo dos últimos anos elevados níveis de crescimento de produção e de valorização do produto, conseqüentes de uma crescente demanda. O minério de ferro, como insumo essencial na fabricação do aço, está presente em todas as áreas da sociedade moderna.

Como a maioria dos bens minerais, o minério de ferro necessita ser beneficiado para que haja a transformação do mineral bruto, tal como extraído na lavra, em produtos com qualidade controlada e constante, atendendo às especificações dos demais setores industriais.

O tratamento ou beneficiamento de minérios tem três objetivos fundamentais:

- adequar a granulometria do material lavrado à solicitada nas especificações dos clientes;
- promover a liberação do mineral de interesse econômico, utilizando operações de britagem, moagem e classificação;
- adequar as características químicas, como o teor de ferro e o teor dos contaminantes, por meio de operações de concentração.

Dependendo de suas características químicas e físicas, o material lavrado na mina pode se tornar produto final após processo de classificação ou precisará sofrer processos de concentração nas usinas de beneficiamento.

O material britado pode alimentar diretamente as usinas de beneficiamento ou pode ser estocados em pilhas de homogeneização.

As pilhas de homogeneização visam garantir uma alimentação mais homogênea e controlada nas usinas de beneficiamento. Elas são constituídas pelo minério lavrado e britado que é estocado utilizando métodos de empilhamento e recuperação que assegurem melhor homogeneidade deste material.

Após o processo de beneficiamento obtêm-se os produtos finais que serão comercializados separadamente ou blendados visando atender a demanda dos clientes. Estes produtos finais são estocados de forma controlada em pilhas de produto.

As pilhas de produto constituem o chamado estoque e desde então passam a fazer parte do ativo de uma empresa. O desconhecimento detalhado deste material influencia diretamente no resultado financeiro da empresa, portanto, faz-se necessário um constante acompanhamento qualitativo e também quantitativo deste estoque visando um bom controle contábil.

## 2. OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo são:

- descrever as metodologias mais utilizadas atualmente para determinar a geometria e estimar a massa de pilhas de minério de ferro ;
- expor a visão da autora sobre os principais benefícios, restrições e dificuldades na aplicação destes métodos;
- descrever as principais variáveis que influenciam na determinação da massa das pilhas;
- apresentar metodologias para estimar a densidade aparente em pilhas com o objetivo de contabilizar mais precisamente o estoque físico das pilhas de minério de ferro.

### 3. RELEVÂNCIA

Todo o material, que constitui as pilhas de produto, é pesado antes de ser estocado e pesado quando carregado para ser entregue aos clientes. Este material somado ao estoque do mês anterior, oferece um indicativo do estoque físico atual de uma mineradora.

Porém, devido a diversos fatores como umidade, erros de pesagem das balanças, compactação, arraste de material, entre outros; este indicativo, conhecido como estoque contábil, muitas vezes não corresponde ao estoque físico existente nos pátios de produto.

A fim de controlar a massa real de material estocado visando uma correta contabilização dos seus ativos, muitas mineradoras de ferro utilizam a medição topográfica para determinação volumétrica dos seus estoques. Atualmente, esta é a metodologia aceita pelos órgãos internacionais que auditam e certificam as empresas de mineração para garantir a veracidade de suas reservas e estoques nas bolsas de valores.

Entretanto, para realizar a conciliação entre o estoque físico e o contábil é necessário transformar o volume medido topograficamente em massa, considerando a densidade do material na pilha.

As diversas metodologias utilizadas atualmente nas mineradoras para determinação da densidade em pilhas apresentam deficiências, gerando diferenças durante o processo de conciliação, podendo comprometer a determinação dos estoques e contabilização da produção.

Nos gráficos 3.1 e 3.2, pode-se verificar os ajustes de estoque em toneladas e valores monetários (R\$) realizados no período de agosto de 2008 a Julho de 2009 em uma unidade operacional de uma grande mineradora. Nota-se que as somas envolvidas neste processo podem chegar a milhões de reais.

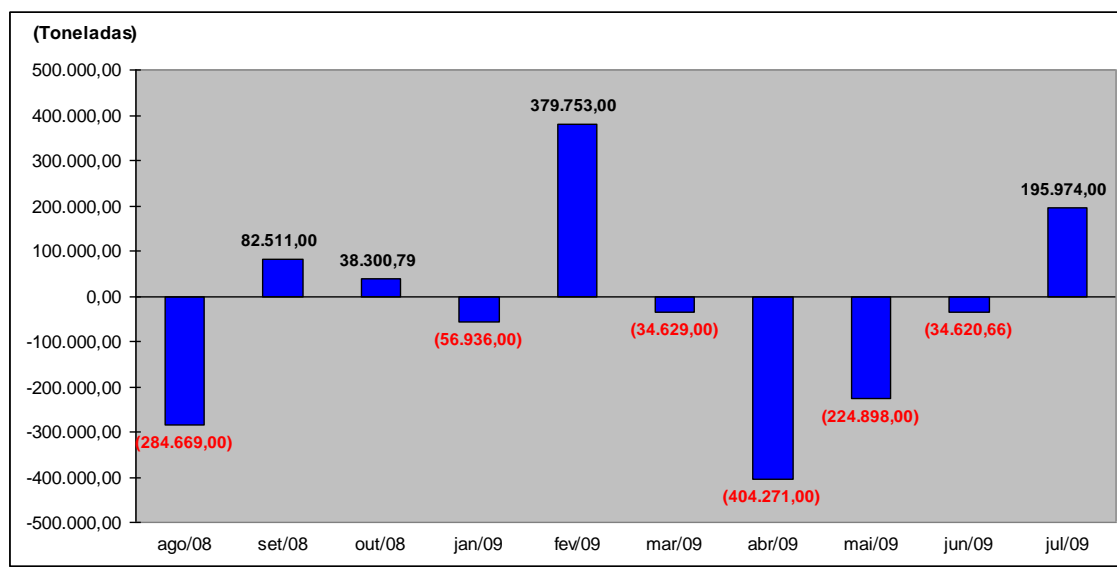


Gráfico 3.1: Ajuste contábil em toneladas.

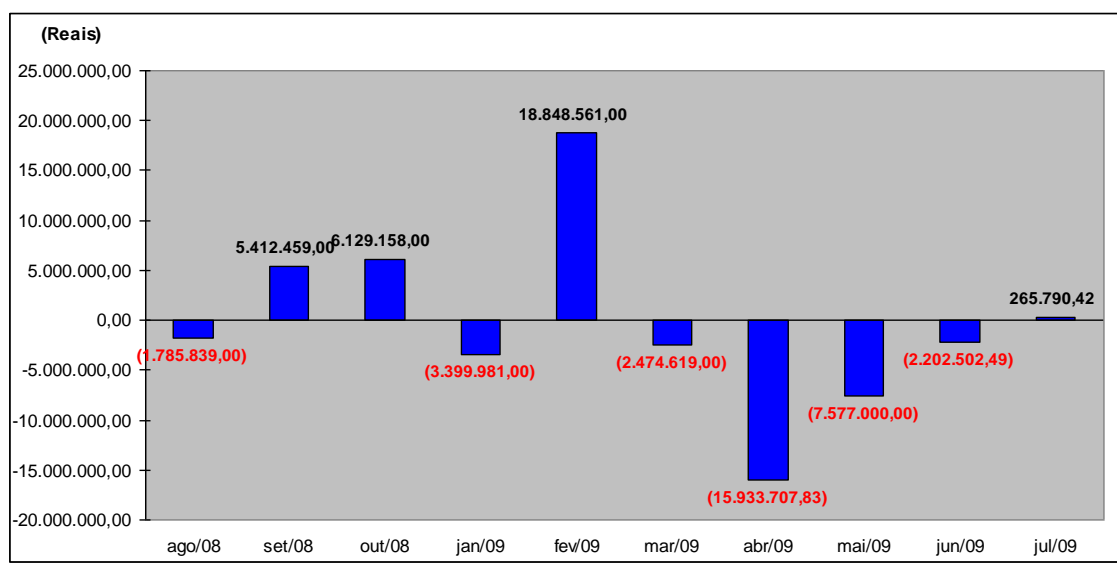


Gráfico 3.2: Ajuste contábil em reais.

Os valores do ajuste contábil em reais foram calculados considerando a tonelada ajustada de cada produto multiplicada pelo preço corrente daquele produto no mês em questão.



#### 4. PROCESSO DE CONCILIAÇÃO DE ESTOQUE

No balanço patrimonial de qualquer empresa, um fator de grande importância e que influencia diretamente a avaliação do seu ativo são os bens que esta possui. Entende-se por bens os itens úteis, capazes de satisfazer as necessidades das pessoas e das empresas. Se eles têm forma física denominam-se bens tangíveis. Têm-se como exemplos os veículos, imóveis, estoques de mercadorias, valores em espécie, móveis e utensílios, ferramentas, etc.

Os estoques, como bens tangíveis, requerem um bom controle contábil, já que são cruciais na determinação da real saúde financeira de uma empresa. Na mineração, este processo de contabilização dos estoques acontece em dois momentos: geralmente, depois de produzido, o minério é pesado e estocado em pátios de produto até sua total recuperação e expedição para os clientes finais; a massa produzida, somada ao estoque que já existia anteriormente menos o que foi expedido indica o estoque contábil naquele período.

Porém, fatores como incertezas nos instrumentos de medição, balança de produção e balança de carregamento; diferença de umidade entre o minério produzido e o expedido, perdas eólicas e por arraste comprometem a determinação do estoque contábil que então, pode não representar o estoque realmente presente nos pátios de produto, ou seja, o estoque físico.

Portanto, torna-se necessário um segundo procedimento no processo de contabilização dos estoques na mineração, que consiste em medir o estoque físico e conciliá-lo ao estoque contábil.

O processo de determinação do estoque físico é realizado com a determinação da geometria da pilha por medição topográfica. Para realizar a conciliação, o volume topográfico é convergido em massa utilizando um fator conhecido como densidade aparente ou a granel.

De posse do valor do estoque contábil e do estoque físico é possível realizar o processo de conciliação entre estes estoques conforme representado na figura 4.1. Sendo o

estoque físico, estimado pelo volume medido e a densidade aparente, maior que o estoque contábil, calculado pela relação entre produção e expedição, ocorre um ajuste positivo, ou seja, há um acréscimo no estoque contábil da empresa. Sendo o estoque físico menor que o estoque contábil ocorre um ajuste negativo, ou seja, há um decréscimo no estoque contábil da empresa.



Figura 4.1: Representação do processo de conciliação de estoques.

## 5. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA DE UMA PILHA DE MINÉRIO DE FERRO

Segundo A - Cavalcanti (2009) a determinação da geometria das pilhas de produto é realizada por meio de medições topográficas. Nos levantamentos topográficos, são coletadas as coordenadas georeferenciadas (X, Y, Z) de diversos pontos. Com a nuvem de pontos coletados é possível produzir informações planimétricas e altimétricas, gerando plantas cadastrais, curvas de nível, perfis longitudinais e seções transversais. Também é possível gerar superfícies tridimensionais, executar cálculos de volume e modelar estruturas, que permitem reproduzir com fidelidade e precisão o volume das pilhas.

Os equipamentos topográficos utilizados para execução destes serviços são, geralmente, estações totais terrestres e geodésicas de alta precisão e scanner a laser.

### 5.1 Medições topográficas de pilhas utilizando estação total

Almeida (2010) descreve que a estação total eletrônica (figura 5.1) é um distanciômetro acoplado a um teodolito eletrônico, equipado com cartões magnéticos ou outro sistema de armazenamento e transferência de dados e um microprocessador que automaticamente monitora o estado de operação do instrumento. Os cartões de armazenamento eliminam as tradicionais cadernetas de campo.



Figura 5.1: Estação total. (Manfra, 2011).

### **5.1.1 Descrição do procedimento para execução da medição com estação total**

Segundo Almeida (2010), para realizar o levantamento topográfico utilizando a estação total deve-se determinar o tipo da pilha que será medida. A estação total deve ser instalada num ponto topográfico de coordenadas conhecidas. Após ligar o GPS deve-se seguir a rotina específica para medição com o mesmo, objetivando ajustar e orientar o equipamento nas coordenadas locais do pátio.

Durante o levantamento topográfico, o bastão, que contém um prisma em sua extremidade superior, deve ser posicionado exatamente sobre o ponto que será levantado, com seu lado de reflexão direcionado ao aparelho e mantido rigorosamente na vertical. Após cada série de leitura, deve-se posicionar o equipamento em outro ponto para novas leituras e repetir esta operação até concluir todo levantamento. Finalizado o trabalho de campo, os dados são transferidos do equipamento para o computador utilizando software específico, que irá desenhar/ plotar as curvas de nível e determinar a área e o volume das pilhas.

Conforme o método de empilhamento e retomada utilizado pela mineradora as pilhas apresentam geometria que podem ser classificadas como regular, irregular e muito irregular.

#### **- Para pilha regular**

Deve-se identificar a pilha no equipamento estação total e levantar todos os detalhes que melhor caracterize a pilha, considerando, aproximadamente, 10 metros como distância máxima entre os pontos utilizados no levantamento (pé, crista, pontos de nível).

Conforme demonstrado na figura 5.2, este levantamento permitirá representar em planta a pilha, identificando-a por pontos e linhas com cotas altimétricas.

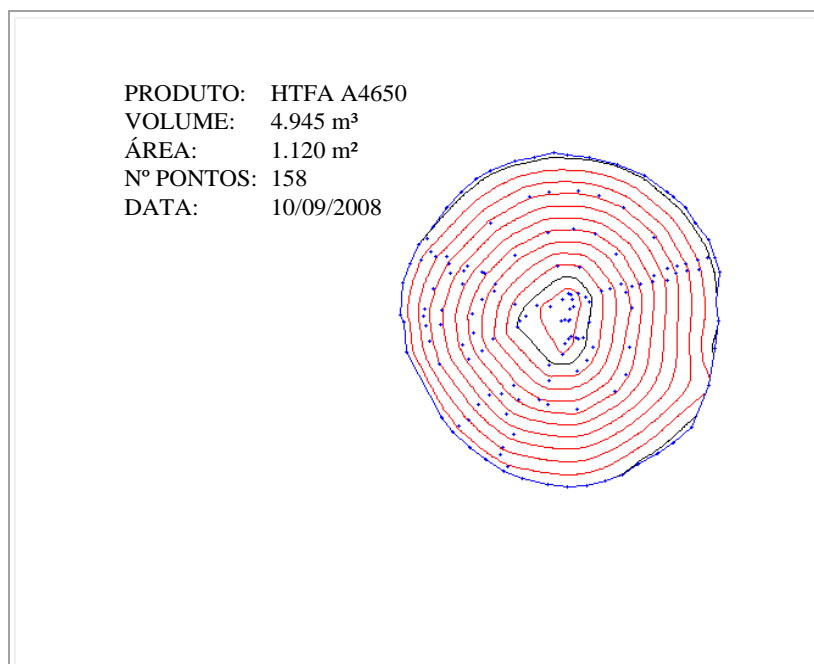


Figura 5.2: Representação, em planta, da pilha regular. (Almeida, 2010).

#### - Para pilha irregular

Deve-se executar o mesmo procedimento da pilha regular, considerando, porém, 5 metros, aproximadamente, como distância máxima entre os pontos utilizados no levantamento (pés, crista, pontos de nível).

Como se pode verificar na figura 5.3, este levantamento permitirá representar em planta a pilha, identificando-a por pontos e linhas com cotas altimétricas.

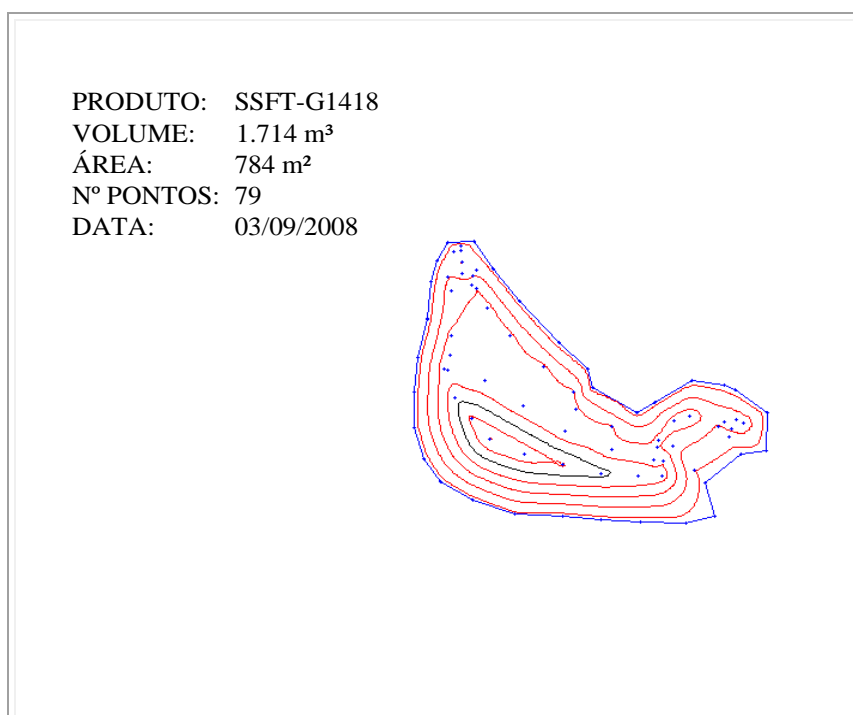


Figura 5.3: Representação, em planta, da pilha irregular. (Almeida, 2010).

#### - Para pilha muito irregular

Deve-se executar o mesmo procedimento da pilha regular, considerando, porém, 3 metros, aproximadamente, como distância máxima entre os pontos do levantamento topográfico (pés, crista, pontos de nível).

Na figura 5.4 é demonstrado um exemplo de representação em planta da medição topográfica de uma pilha muito irregular.

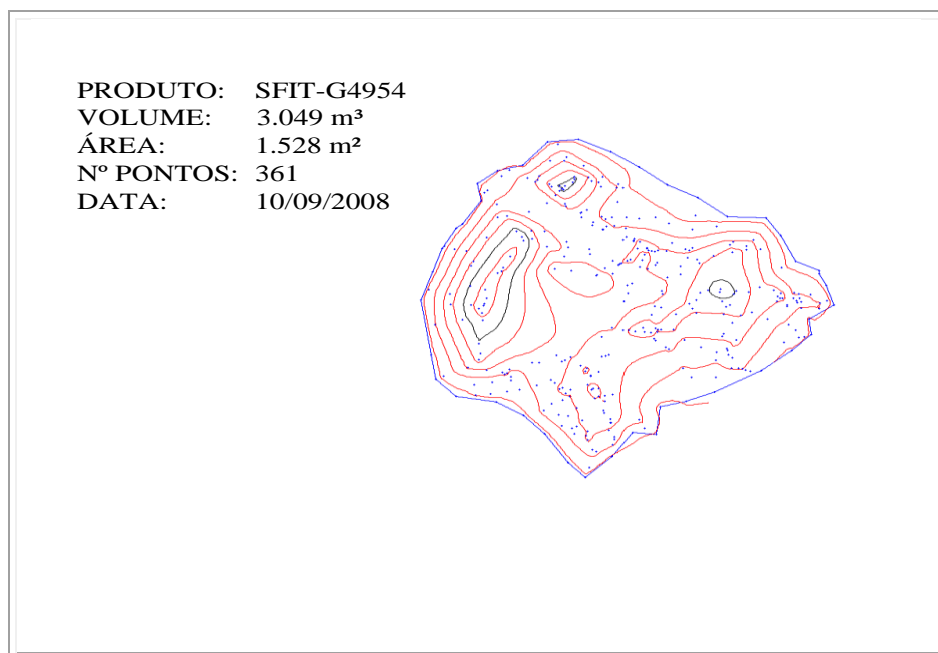


Figura 5.4: Representação, em planta, da pilha muito irregular. (Almeida, 2010).

## 5.2 Medições topográficas de pilhas utilizando scanner a laser

Conforme Almeida (2009) o scanner a laser, apresentado na figura 5.5, permite determinar a posição espacial de uma grande nuvem de pontos, além de inferir características superficiais como reflectância, detalhando em três dimensões objetos, superfícies e estruturas.



Figura 5.5: Scanner a laser (Rocha, 2002).

### 5.2.1 Descrição do procedimento para execução da medição com scanner a laser

Almeida (2009) descreve que para realizar o levantamento topográfico utilizando o scanner a laser deve-se determinar qual o tipo de pilha que será medida. Com base nos elementos a serem levantados, define-se a quantidade e posição das tomadas a serem feitas com o scanner a laser de forma a não deixar áreas sombreadas (áreas não cobertas) no levantamento.

Após a instalação e nivelamento do scanner, instala-se um GPS geodésico identificando a sua posição referencial em relação ao ponto de referência do scanner. Deve-se informar as coordenadas do GPS no scanner e iniciar o levantamento topográfico. Este procedimento permite a determinação das coordenadas dos pontos escaneados.

Executam-se então as tomadas necessárias para concluir o levantamento. Quando o levantamento estiver concluído, devem-se recolher os equipamentos (ou apenas o pen



drive – coletor), efetuar a transferência de dados para o computador e executar o processamento dos dados coletados utilizando software específico.

Visualiza-se o desenho em três dimensões para verificar a existência de áreas sombreadas. Deve-se verificar se foi realizado o mapeamento de todos os elementos propostos e repetir os procedimentos de levantamento em campo para eliminar os pontos não mapeados. Solucionando os problemas de sombreamento, o volume existente no pátio pode então ser cubado.

## **6. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA MASSA DE UMA PILHA DE MINÉRIO DE FERRO**

No processo de determinação do estoque físico dos minérios estocados nos pátios de produto, a determinação do volume das pilhas não apresenta problemas. Os métodos de medições topográficas adotados atualmente proporcionam medir o volume das pilhas com grande precisão. As dificuldades surgem na transformação dos valores de volume em valores de massa, já que a densidade do minério em uma pilha apresenta diferenças que dependem de uma série de variáveis.

### **6.1 Fator de conversão da volumetria das pilhas de minério de ferro em massa**

A densidade, também conhecida como massa volúmica ou massa volumétrica de um corpo, é definida como a razão entre a massa e o volume desse corpo. Desta forma pode-se dizer que a densidade mede o grau de concentração de massa em determinado volume e expressa uma característica física deste corpo.

Devido à complexidade da formação e da composição das pilhas de minério de ferro, o fator utilizado para converter o volume da pilha em massa é conhecido como densidade a granel ou densidade aparente.

De acordo com a ISO 11323, densidade a granel é a massa de uma unidade de volume de minério de ferro ou de ferro esponja, incluindo os espaços preenchidos com o ar atmosférico entre e dentro das partículas. Na prática industrial, a densidade a granel do minério de ferro é expressa como a razão da massa em relação ao volume de um recipiente de medida preenchido sob condições especificadas.

### **6.2 Principais fatores que influenciam a determinação de massa das pilhas**

Existem diversos fatores que influenciam a determinação da densidade a granel, contribuindo para que o estoque contábil nem sempre corresponda ao estoque físico de minério no pátio.

Estes fatores são:

- **Compactação**

O minério de ferro, quando estocado em pilha, apresenta diferentes compactações. O material mais superficial pressiona o material que está na parte inferior da pilha diminuindo os espaços vazios entre uma partícula e outra. Com isto, a massa presente num dado volume tende a aumentar com a profundidade ou com a altura da pilha, alterando assim o valor da densidade. O grau de compactação apresenta também uma grande influência na percolação de água e conseqüentemente na drenagem da pilha.

- **Umidade**

Os processos de produção e beneficiamento de minério de ferro ocorrem geralmente na presença de água. Os produtos são pesados, mas carregam com eles uma massa referente à quantidade de água, ou seja, sua umidade. As balanças das usinas são programadas para debitar um percentual desta massa considerando um fator de umidade característico daquele material, porém sabe-se que este fator não pode ser considerado constante e que isto pode acarretar erros no processo de determinação da massa produzida.

Ao serem estocados no pátio, estes materiais podem ganhar umidade no período chuvoso, ou perder umidade devido ao escoamento de água. Este ganho ou perda de umidade influenciam na determinação da massa nas balanças de carregamento podendo comprometer a determinação da massa de minério em estoque.

- **Método de formação das pilhas**

Os modelos de formação de pilhas mais usuais utilizam empilhadeiras ou caminhões. Ao utilizar empilhadeiras, independente do método empregado, a compactação do material é causada somente pelo peso do próprio material empilhado e por sua queda no momento do empilhamento. Fatores como a altura da empilhadeira e a altura da pilha devem ser levados em consideração na determinação do grau de compactação e conseqüentemente na densidade aparente.

No caso do empilhamento utilizando caminhões, além da compactação causada pelo próprio empilhamento, deve-se considerar a compactação causada pela pressão exercida pelos caminhões ao transitar sobre a pilha.

- **Qualidade do material estocado**

Os teores de ferro e dos contaminantes influenciam diretamente na determinação da densidade do material do estoque, partículas ou pelotas, e conseqüentemente na densidade a granel das pilhas. Quanto maior o teor de ferro maior a densidade.

- **Materiais estocados na mesma pilha**

Dentro de uma pilha de minério de ferro podemos ter variações causadas pela utilização de ROM com características geológicas, químicas e físicas diferentes. Estas variações influenciam diretamente no valor da densidade aparente e podem contribuir para que o fator medido pelos métodos usuais não representem fielmente a densidade da pilha.

Em uma pilha não homogênea, a amostragem do material para teste torna-se ainda mais complexa. Para determinar a densidade da pilha a partir das amostras coletadas são utilizadas as metodologias propostas nas teorias de amostragem, como as discutidas por Pierre Gy (1982).

### **6.3 Métodos utilizados atualmente para determinação da densidade aparente**

Segundo Abreu (2009) existem vários métodos indicados para a determinação da densidade de minério estocado em pilhas. A escolha do método mais adequado depende da característica, localização, formação, retomada da pilha e das facilidades operacionais.

Em geral, os métodos adotados consistem basicamente em verificar o volume ocupado pela pilha, utilizando os processos discutidos anteriormente, e a massa correspondente a este volume. Para a determinação da massa, todo material retirado da pilha deve ser pesado em balanças calibradas utilizando procedimentos padronizados.

A densidade aparente é a relação entre a massa recuperada e o volume medido:

$$Densidade = \frac{massa}{volume}, \text{ expressa em } \frac{g}{cm^3}, \frac{kg}{dm^3} \text{ ou } \frac{t}{m^3}$$

### **6.3.1 Amostragem de pilhas de minério para determinação de densidade aparente utilizando o método de cilindro de amostra e o método de preenchimento com água ou areia**

Abreu (2009) afirma que durante uma operação de expedição, pilhas com grande movimentação de material devem ser preparadas formando bancadas onde serão coletadas amostras. Essas bancadas devem ter altura e largura médias de 2 metros, cobrindo a maior área possível da pilha. As amostras devem ser coletadas uma a profundidade de 0,5 metros e outra a 1 metro da superfície da bancada. Por questões de segurança, dependendo das características da operação e da bancada, as amostras podem ser coletas com auxílio de uma retro-escavadeira ou manualmente. Em cada bancada, sugere-se retirar um par de amostras a cada 5 metros lineares de comprimento. A densidade do material de cada nível da bancada é estimada como a média das densidades das amostras daquele nível.

A massa da pilha será calculada usando o somatório do produto do volume de material estocado em cada nível da bancada multiplicado pela densidade média daquele nível, considerando todos os níveis da pilha.

Para pilhas com pouca movimentação onde não é possível fazer as bancadas, devem-se retirar amostras em diferentes níveis de profundidade. A primeira amostra deve ser retirada ao nível do solo, a segunda amostra a uma profundidade de 50 cm, a terceira a 100 cm, a quarta a 150 cm e a quinta amostra a 200 cm de profundidade. Os incrementos a cada 0,5 m a partir da superfície da pilha ficam condicionados à altura total da pilha. Sugere-se tomar um conjunto de amostras a cada 200 m<sup>2</sup> de superfície da pilha.

A densidade de cada nível da pilha será a densidade média obtida para cada profundidade. A massa total determinada para a pilha deve ser o produto do volume medido para cada nível pela densidade média obtida para aquele nível. Para material estocado abaixo dos 2 m de profundidade da pilha, a massa será o produto do volume abaixo da linha de 2 m pela densidade média da pilha na profundidade de 2 m.

A amostragem de pilhas permite a determinação precisa de características químicas e físicas do material de formação da pilha como tipologia, densidade das partículas e teores dos componentes. A densidade a granel, entretanto, não pode ser obtida com precisão por estas metodologias. O processo de amostragem utilizado não preserva a compactação observada no interior das pilhas e, como já discutido anteriormente, o grau de compactação apresenta uma grande influência na determinação da densidade a granel.

### 6.3.2 Método de preenchimento com água ou areia

Conforme descrito por Abreu (2009), o método consiste em cavar um poço com paredes regulares, retirar e pesar o material que o ocupava e então revestir o poço com um plástico e preenchê-lo com água de forma a se obter o volume da área de onde foi retirada a massa. No método de preenchimento com areia, o poço é preenchido com areia em substituição à água.

Para realizar a medição da densidade aparente utilizando o método de preenchimento, deve-se verificar o histórico da formação da pilha e suas características e então determinar os pontos de amostragem conforme as figura 6.1 e 6.2.



Figura 6.1: Determinação do ponto de amostragem.  
Abreu (2009).



Figura 6.2: Locação do ponto de amostragem.  
Abreu (2009).

Após a determinação dos pontos de amostragem, a área deve ser nivelada (figura 6.3) e o gabarito posicionado e fixo (figura 6.4) para então iniciar a coleta. O gabarito tem a função de limitar a área do poço e evitar perda de massa no início da coleta. Pode ser do tipo caixa sem fundo ou moldura.



Figura 6.3: Nivelando a área.(Abreu, 2009).



Figura 6.4: Gabarito. (Abreu, 2009).

O poço deve ser escavado (figura 6.5) para a retirada do material (figuras 6.6 e 6.7) que deve ser acondicionado nos recipientes de coleta (figura 6.8), evitando a perda de massa.

Quanto às dimensões do gabarito, sugere-se, para o produto fino com granulometria menores que 12,5 mm, dimensões mínimas de 200 mm x 200 mm com a coleta atingindo 400 mm de profundidade. Para o produto granulado, com granulometria maior que 12,5 mm, é sugerido gabarito com dimensões mínimas de 300 mm x 300 mm com a coleta atingindo 400 mm de profundidade.



Figura 6.5: Cavando o poço.(Abreu, 2009).



Figura 6.6: Retirando o material (Abreu, 2009).



Figura 6.7: Retirando o material  
(Abreu, 2009).



Figura 6.8: Acondicionando o  
material (Abreu, 2009).

O material escavado é pesado para determinação de sua massa em uma balança aferida e este valor é registrado (figuras 6.9 e 6.10).



Figura 6.9: Material acondicionado  
(Abreu, 2009).



Figura 6.10: Pesagem do material  
(Abreu, 2009).

Para estimar o volume, o poço é revestido com um plástico (figura 6.11) e preenchido com água ou areia (figuras 6.13, 6.16 e 6.17). Deve-se ter todo cuidado para usar somente a quantidade necessária para preencher todo poço, sem vazamentos e perda de água. A quantidade de água utilizada é medida em uma proveta graduada (figuras 6.12, 6.14 e 6.15).





Figura 6.11: Revestindo o poço com plástico (Abreu, 2009).



Figura 6.12: Colocando água na proveta (Abreu, 2009).



Figura 6.13: Vertendo água da roveta no poço (Abreu, 2009).



Figura 6.14: Controle da água vertida no poço (Abreu, 2009).



Figura 6.15: Controle da água vertida no poço (Abreu, 2009).



Figura 6.16: Poço cheio de água  
(Abreu, 2009).



Figura 6.17: Poço cheio de água  
(Abreu, 2009).

A densidade a granel do material retirado, com base no volume de água utilizado e o peso do material, é avaliado por:

$$Densidade = \frac{Massa\ do\ Material\ Escavado}{Volume\ do\ Poço\ Escavado}$$

Se o valor de densidade obtida não estiver dentro dos limites estabelecidos os valores da massa e do volume devem ser conferidos. Caso o resultado esteja fora do padrão nova amostragem, com uma distância máxima de 1,0m, deverá ser realizada.

### 6.3.3 Método do cilindro de amostra

Segundo B - Cavalcanti (2009), Araújo (2009) e Cruz (2009) assim como no método por preenchimento com água ou areia, esta metodologia consiste na estimação de densidade com base na coleta de amostras em bancadas previamente preparadas. A densidade é calculada para cada nível de bancada.

Devem-se criar as bancadas nas pilhas para recolher as amostras nos níveis de interesse. A amostragem deve ser realizada em pontos distintos nas pilhas: base, meio e topo da pilha. As bancadas possuem, aproximadamente, 2 m de altura por 2 m de largura (figuras 6.18 e 6.19).



Figura 6.18: Formação das bancadas  
(Cruz, 2009).



Figura 6.19: Formação das bancadas.  
Fonte: Cruz (2009).

Após a preparação da área, as amostras devem ser coletadas na profundidade de 0,5 m, 1m e 1,5 m em uma estrutura denominada “capitel” - porção de minério onde o cilindro coletor deverá ser inserido (figuras 6.20 e 6.21). Os minérios da lateral e frente da superfície do talude da bancada devem ser retirados com uma enxada para formação do “capitel” que deve apresentar dimensões de aproximadamente 40 cm x 30 cm (largura x profundidade).

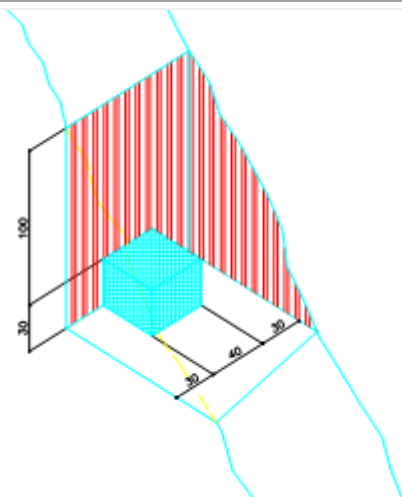
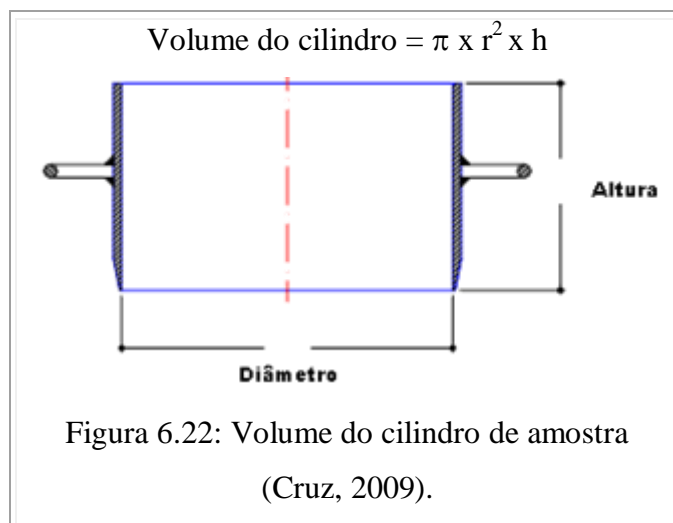


Figura 6.20: Preparação da bancada  
(capitel) (Cruz, 2009).



Figura 6.21: Preparação da bancada  
(capitel) (Cruz, 2009).

O cilindro de amostra, cujo volume é previamente determinado com o auxílio de um paquímetro (figura 6.22), é, então, introduzido na bancada em distâncias lineares de 5m entre as áreas amostradas (figura 6.23).



Para coleta do material utilizam-se duas lâminas de aço localizadas na parte inferior do cilindro e com dimensões aproximadas de 20 cm x 20 cm, suporte lateral e borda levemente afiada, conforme ilustrado na figura 6.24.



Figura 6.24: Lâminas para coleta de amostras (Cruz, 2009).

O material coletado deve ser pesado em balança aferida, e em seguida, determina-se a densidade dividindo a massa do material pelo volume do cilindro.

$$Densidade = \frac{Massa da Amostra}{Volume do Cilindro}$$

#### 6.3.4 Considerações

Os métodos de preenchimento com areia ou água e o método do cilindro de amostras utilizam recursos de fácil acesso e baixo custo. Estas metodologias não exigem, por exemplo, a utilização de uma equipe de medição topográfica. Em algumas horas é possível determinar a densidade aparente de uma pilha utilizando um destes métodos.

Uma de suas deficiências é que, como em qualquer metodologia de amostragem, os resultados podem ser pouco representativos devido à pequena quantidade de massa amostrada em relação a massa total. Se a pilha não for homogênea a amostragem pode ser tendenciosa, ou seja, o material amostrado pode representar somente parte do material que constitui a pilha e não sua totalidade.

Outro problema, é que durante a movimentação do material para formação das bancadas ou para coleta das amostras mais profundas pode-se ocorrer uma alteração do grau de compactação da pilha, alterando o valor real da densidade aparente.

Apesar de serem mais rápidos que os demais métodos utilizados na determinação da densidade a granel de pilhas, a realização destes testes exigem a paralisação da formação/recuperação da pilha no período de amostragem. Por causa destas exigências, normalmente, as mineradoras realizam as chamadas campanhas, nas quais uma única pilha de cada produto é escolhida para medir a densidade aparente e o valor estimado é utilizado para todas as pilhas do mesmo produto até a realização de uma nova campanha. As campanhas geralmente ocorrem a cada três ou seis meses. Com isto, os fatores que influenciam diretamente na densidade das pilhas, já citados nas discussões anteriores, são considerados constantes, podendo comprometer a determinação das massas das pilhas em questão.

### **5.3.5 Método da retomada da pilha**

Para Abreu (2009) estes procedimentos são aplicáveis somente a pilhas que podem sofrer movimentação de no mínimo 70% do seu volume total e basea-se na retomada de uma fração representativa da pilha. A densidade é calculada pela diferença volumétrica medida antes e depois da retomada, e pela massa correspondente de produto pesada na expedição.

Para utilização deste método a medição deve estar de acordo com a programação de carregamento para cada pilha de produto. É importante atentar para que somente uma pilha seja retomada por vez, evitando a mistura de materiais provenientes de diferentes pilhas no equipamento de transporte, geralmente uma composição ferroviária.

Segundo B - Cavalcanti (2009), Araújo (2009), Cruz (2009), Veisack (2010) e Almeida (2009), antes do início da retomada, deve-se medir o volume da pilha utilizando levantamento topográfico ou scanner a laser, conforme ilustrado na figura 6.25.

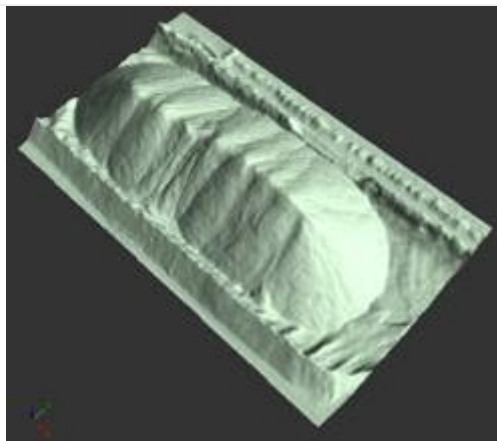


Figura 6.25: Exemplo de volumetria de pilha antes da retomada (Cruz, 2009).

É importante a aferição da balança (dos caminhões ou ferroviária) e a determinação da tara dos equipamentos que serão utilizados no transporte do material da pilha amostrada. Ao finalizar a recuperação parcial da pilha amostrada, nova medição volumétrica deve ser realizada para a determinação do volume recuperado, correspondente a diferença entre o volume inicial e o volume final. (figuras 6.26 e 6.27).

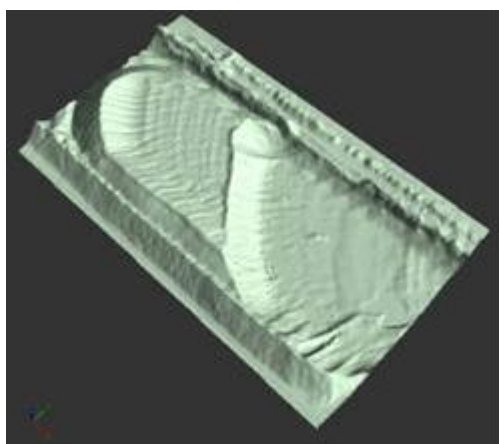


Figura 6.26: Exemplo de volumetria de pilha após a retomada (Cruz, 2009).

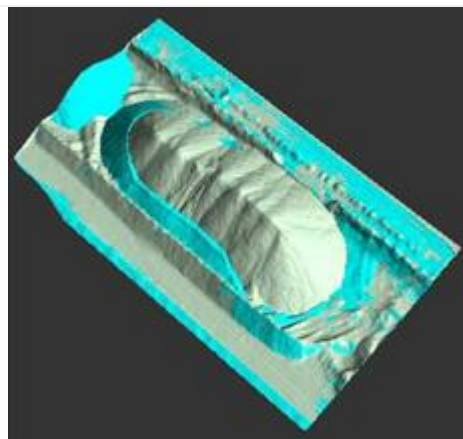


Figura 6.27: Diferença entre os volumes inicial e final da pilha, correspondente ao volume total embarcado (Cruz, 2009).

Determina-se a densidade dividindo a massa carregada pela diferença de volume obtida pela topografia.

$$Densidade = \frac{Massa\ Retomada}{(Volume\ Inicial - Volume\ Final)}$$

### 5.3.6 Método de empilhamento

Segundo Abreu (2009) e Araújo (2009), este método aplica-se a pilhas formadas por stackers e consiste na medição do volume e da massa de um cone empilhado em uma área previamente preparada. Anteriormente ao início do empilhamento, o volume inicial do local de formação da pilha (figura 6.28) deve ser mensurado utilizando-se medição topográfica ou escaneamento a laser.

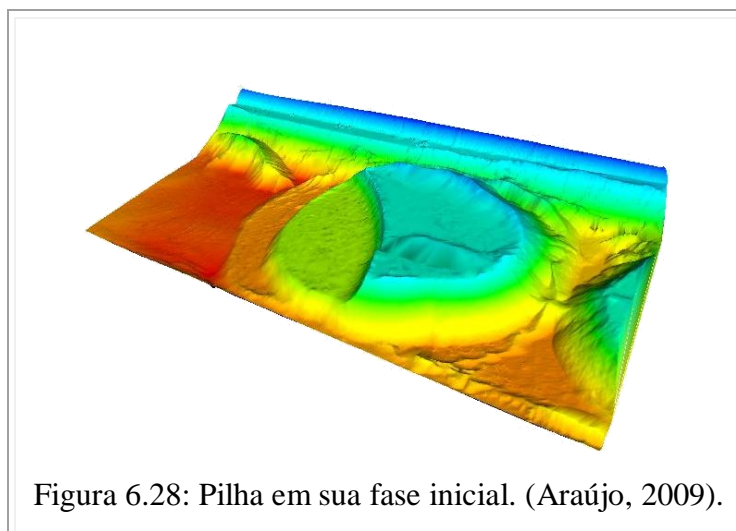


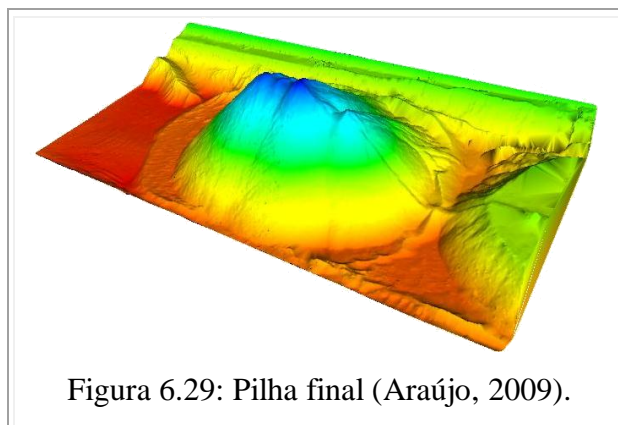
Figura 6.28: Pilha em sua fase inicial. (Araújo, 2009).

Durante o empilhamento do material na área determinada, até atingir a altura desejada, pesa-se o material obtido utilizando balanças de produção devidamente aferidas. Neste processo é preciso garantir que a correia transportadora que conduzirá o material produzido até a área do teste não contenha material anteriormente ao início do procedimento.



Ao final do empilhamento, mede-se o volume do cone (figura 6.29) utilizando, novamente, um levantamento topográfico planialtimétrico ou o escaneamento a laser. A diferença entre o volume final e o volume inicial fornece o volume do material empilhado que, junto a massa obtida nas balanças fornece a densidade aparente da pilha segundo a equação:

$$Densidade = \frac{Massa \text{ do Material}}{(Volume \text{ Final} - Volume \text{ Inicial})}$$



### 6.3.7 Considerações

A grande vantagem dos métodos de retomada da pilha e empilhamento é a excelente representatividade da amostragem que é de no mínimo 70% do total da pilha. Porém, eles exigem uma equipe de medição topográfica dedicada durante sua execução, além de um controle adicional das balanças de produção/carregamento e dos processos de formação/recuperação das pilhas.

Diferente dos métodos de preenchimento com areia ou água e o método do cilindro de amostra, determinar a densidade aparente de uma pilha utilizando o método de empilhamento ou o método da retomada podem durar de horas a dias.

Apesar de serem mais representativos que os demais métodos apresentados, a realização destes testes exige um tempo maior e o trabalho de uma equipe grande, constituída de topógrafos, operadores de equipamentos de formação/recuperação de pilhas, operadores de balança de carregamento, operadores de usina e técnicos que conduzirão os testes. Além disto, o teste reduz momentaneamente a flexibilidade operacional, pois as pilhas

em teste não podem ser retomadas nem recompostas parcialmente para blendagens, por exemplo, durante a execução dos testes.

Uma análise criteriosa dos procedimentos de estimação da massa de uma pilha utilizando a retomada ou o empilhamento sugere que a, a rigor, os valores somente serão corretos se a retomada da pilha considerar sua altura total ou se o empilhamento partir da base sem a presença de nenhum material inicial. Isto se deve a mudança do grau de compactação do material remanescente, no caso da retomada, e do material inicial, no caso do empilhamento.

Por causa destas restrições e das dificuldades expostas, as mineradoras optam por determinar a densidade aparente em campanhas, como descrito nas considerações dos métodos de preenchimento com areia ou água e do cilindro de amostra.

### **6.3.8 Método da abertura de trincheiras**

Este método de medição de densidade é aplicado a pilhas de material com maior compactação. A densidade aparente é estimada pela média das densidades obtidas em cada nível de profundidade considerado em cada trincheira.

Segundo Cruz (2009), após a escolha do local para a realização das medições e a especificação da malha amostral, para garantir a representatividade da pilha, a trincheira deve ser escavada com dimensões aproximadas de 4 m de comprimento por 2 m de largura e 0,8 m de profundidade, com as paredes bem regulares, conforme as figuras 6.30 e 6.31. Outra preocupação durante a escavação da trincheira é o nivelamento do seu piso como ilustrado na figura 6.32.



Figura 6.30: Retroescavadeira realizando abertura de trincheira (Cruz, 2009).



Figura 6.31: O material bem compactado (Cruz, 2009).



Figura 6.32: Nivelamento desejado do fundo da trincheira (Cruz, 2009).

Pesa-se todo o material retirado da trincheira utilizando as balanças aferidas. Na prática utilizam-se balanças para pesar os caminhões tomando-se as precauções de registrar a tara e o peso bruto medidos a cada viagem.

Obtem-se o volume da trincheira por medição topográfica ou escaneamento a laser, conforme ilustrado nas figuras 6.33 e 6.34.



Figura 6.33: Exemplo de medição topográfica de trincheira (Cruz, 2009).

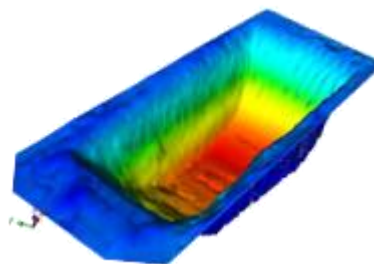


Figura 6.34: Exemplo de resultado de medição topográfica de trincheira (Cruz, 2009).

Assim como nos métodos de preenchimento com água ou areia, a densidade aparente é estimada dividindo-se a massa apurada na movimentação dos caminhões pelo volume medido pela topografia.

$$Densidade = \frac{Massa do Material Escavado}{Volume da Trincheira Escavada}$$

### **6.3.9 Considerações**

Esta metodologia utiliza os mesmos princípios dos métodos de preenchimento com água ou areia, mas em função da grande massa das amostras, este método garante uma maior precisão e uma melhor representatividade quando comparado aos métodos de preenchimento com areia ou água e ao método do cilindro de amostras.

Porém, o teste exige uma grande movimentação operacional com equipe de topografia, escavadeiras, caminhões e balança rodoviária. Os testes em uma única pilha podem durar de 15 a 20 dias, trabalhando-se 8 horas por dia e neste período, a pilha em questão fica indisponível para empilhar novas produções e para recuperação do material já estocado.

Devido às exigências de tempo e disponibilidade operacional a determinação da densidade utilizando este método também ocorre em sistemas de campanha.

## **7. PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE DE PILHAS DE MINÉRIO DE FERRO**

Os fatores que influenciam a determinação da massa de uma pilha de minério de ferro discutidos no item 6.2 são os principais responsáveis pela dificuldade da determinação da densidade aparente, fator de conversão utilizado para transformar o volume da pilha em massa.

A intenção desta discussão é verificar se existe uma correlação direta entre algum ou vários destes fatores com a densidade real de um determinado minério estocado em uma pilha, permitindo desenvolver uma formulação que permita determinar a densidade real de outras pilhas deste mesmo material a partir da determinação dos fatores discutidos.

A única maneira direta de conhecer o real fator de conversão do volume de uma pilha em massa é medindo topograficamente e pesando toda pilha. Porém, no dia a dia de uma mineradora, esta atividade se torna inviável já que seriam necessárias várias equipes de topógrafos, que as pilhas formadas permanecessem nos pátios por longos períodos aguardando todo processo de medição topográfica, que as pilhas formadas sempre fossem recuperadas integralmente para um único carregamento e que não houvesse blendagem entre materiais de pilhas distintas. Com todos estes impedimentos, para manter o mesmo volume de carregamentos diários a mineradora teria que contar com um aumento de produção de suas usinas, pátios de estocagem maiores e um número maior de equipamentos de empilhamento e recuperação.

Apesar de todas as dificuldades, é de importância fundamental a estimação da densidade aparente de maneira direta utilizando os métodos de empilhamento e retomada total de pilhas. O estudo propõe que o seguinte procedimento seja executado durante a formação e a recuperação de 30 pilhas.

### **7.1 Procedimento para execução do método de empilhamento e recuperação total**

Após a escolha do tipo de material a ser utilizado, determina-se a área onde será formada a pilha teste. Se a área escolhida contiver material de outra pilha deve-se providenciar a sua remoção anteriormente a medição topográfica inicial. A pilha deve ser formada garantindo-se que a massa de todo material seja obtida pelas balanças de produção aferidas. As características do material utilizado, tais como tipo de produto, teores, umidade, distribuição granulométrica e resistência física devem ser determinados por amostragens e análises laboratoriais.

Ao final do empilhamento, todas as dimensões da pilha altura, largura, comprimento e geometria devem ser computados por levantamento topográfico.

Durante o carregamento de toda pilha, além da determinação de toda massa movimentada, novas amostragens e análises do material carregado devem ser realizadas.

Cada pilha deve ser identificada por um código e caracterizada por: produto estocado, data e hora de início e término da formação e da recuperação, método de empilhamento e de recuperação adotados. Se o método de empilhamento utilizar empilhadeira, a altura da lança deverá ser anotada.

Após levantamento das informações de todas as pilhas, um estudo estatístico deverá ser utilizado para verificar se existe correlação entre os fatores observados e a densidade real das pilhas.

Um estudo similar ao proposto anteriormente, porém, utilizando os dados históricos pode também ser realizado. Para tal, faz-se necessário verificar nos controles de produção e carregamento da mineradora que realizará o estudo, pilhas que se adequem as condições descritas acima. Cabe ressaltar, que mesmo não havendo registro de todos os fatores supracitados, pode-se proceder ao estudo buscando correlação da densidade real com os fatores que possuem registro de controle.

## **7.2 Outro procedimento para determinação da densidade aparente**

Além das características físico-químicas do material de formação das pilhas, a variável mais importante na determinação da densidade aparente é o grau de compactação deste material. A mecânica de solos utiliza um densitômetro para trabalhos de campo, que deve ser analisado e/ou adaptado para mensurar a densidade aparente das pilhas. Uma restrição a ser investigada refere-se à profundidade máxima de utilização do equipamento.

Uma correlação evidente existe entre densidade aparente, grau de compactação e campo de tensão. Outra direção de pesquisa é a determinação desta correlação investigando a variação do grau de compactação ou a redução de volume quando o material de formação da pilha é submetido a uma pressão. Isto poderia ser realizado em prensas hidráulicas servocontroladas. Neste mesmo enfoque, a tensão vertical em qualquer ponto ou profundidade da pilha pode ser verificada utilizando-se células de pressão. A pressão ou tensão aplicada ao material interfere no grau de compactação e conseqüentemente na densidade aparente.

## 8. CONCLUSÕES

Para o balanço contábil de uma empresa a apuração dos seus estoques é crucial, pois estes constituem parte importante dos seus ativos. Porém, devido ao fato das mineradoras de minério de ferro possuírem estoques de material a granel, seu processo de contabilização é mais complexo. Neste processo, verifica-se que a conciliação entre o estoque físico e contábil é fundamental, pois, sem a medição do estoque físico é impossível garantir uma correta apuração do estoque contábil.

Analisando os processos que possibilitam a determinação do estoque físico, verifica-se que:

- Os métodos de medição topográfica utilizados para a determinação volumétrica das pilhas conseguem garantir com boa precisão estas determinações de volume. Porém, os métodos utilizados para determinação da densidade aparente, ou seja, o fator de conversão utilizado para transformar o volume topográfico em massa é considerado hoje um dos fatores que mais geram erros no processo de ajuste de estoque.

- Mesmo o teste de medição de densidade aparente mais simples requer muito tempo e um grande esforço da equipe de operação dos pátios. Por isto, apesar dos métodos serem criteriosos e alguns até bastante representativos, o que acontece na prática operacional é o uso das campanhas de determinação de densidade que são repetidas de 2 a 4 vezes por ano. Neste processo, o valor da densidade aparente medida em uma pilha de um determinado produto com determinadas características de estocagem específicas é replicado para diversas outras pilhas do mesmo produto até que seja realizada uma nova campanha de medição de densidade. Com este procedimento, várias variáveis que influenciam diretamente neste fator, como umidade, compactação entre outros são consideradas como constantes.

- Se com o estudo de correlação matemática for possível verificar a correlação direta entre um ou mais destes fatores ao valor da densidade aparente real da pilha inteira, será possível desenvolver uma equação que possibilite a determinação da densidade pilha a pilha, considerando-se os fatores correlacionados. Como a maioria destes fatores é medida no processo atual, conhecida a equação o processo de



determinação da massa em estoque seria muito mais rápido, fácil, barato e preciso. Consequentemente o uso desta equação diminuiria os ajustes de estoque irregulares, ou seja, aqueles que consideram como verdadeiro um estoque físico que realmente não existe.

- Enfim, como demonstrado durante este estudo, o processo de contabilização dos estoques de minério de ferro ainda é frágil, pode envolver muito dinheiro e requer estudos aprofundados e inovadores para ser aprimorado. Cabe ressaltar que uma solução plausível para este problema poderia ir muito além da mineração de ferro, visto que a contabilização do estoque físico é um problema para todas as empresas que trabalham com pilhas de matérias a granel.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. PRO-002-GEPDL; Amostrar densidade aparente em pilhas de produtos. Ouro Preto: Vale, 2009.11p. (Procedimento operacional, Mineração).

ALMEIDA, M. S. PRO-0155-GAGIS; Medição Topográfica de Pátios com uso de Estação Total. Vitória: Vale 2010.07p. (Procedimento operacional, Mineração).

ALMEIDA, M. S. PRO-0173-GAGIS; Medição topográfica de pátios com uso de Scanner a laser. Vitória: Vale 2008.04p. (Procedimento operacional, Mineração).

ALMEIDA, M. S. PRO-0174-GAGIS; Determinar densidade de minérios e pelotas em pilhas. Vitória: Vale, 2009.05p. (Procedimento operacional, Mineração).

ARAÚJO, S. PRO-0025-GAODS; Procedimento para cálculo de densidade de minério em pilhas. João Monlevade: Vale, 2009.09p. (Procedimento operacional, Mineração).

CASTRO, E. PRO-1199-GALBS; Analisar densidade em minério de ferro. Mariana: Vale, 2010.01p. (Procedimento operacional, Mineração).

A - CAVALCANTI, C. L. D. PRO-0201-GAPCS; Medição topográfica de mina e de pátios para fechamento contábil. João Monlevade: Vale, 2009.06p. (Procedimento operacional, Mineração). A.

B - CAVALCANTI, C. PRO-0203-GAPCS; Determinar densidade de minérios em pilhas. João Monlevade: Vale, 2009.09p. (Procedimento operacional, Mineração).

COSTA, Romel. PRO-0046-GATML; Levantamento topográfico. Ouro Preto: Vale, 2008.11p. (Procedimento operacional, Mineração).

CRUZ, N. PRO-0410-GAUBS; Medir densidade de minério em pilhas. São Gonçalo do Rio Abaixo: Vale, 2009.08p. (Procedimento operacional, Mineração).

Gy, P. M. Sampling of particulate materials theory and practice. Amsterdam: Elsevier, 1982.

LUZ, A.B.; POSSA, M.V.; ALMEIDA, S.L. Tratamento de Minérios. 2 ed. Rio de Janeiro, 1998. 676p.

MANFRA. Produtos. Imagens. Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.manfra.com.br/produtos/imagens/750R.jpg>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2011.

REIS, M. PRO-0254-GACIL; Levantamento Topográfico. Itabirito: Vale, 2010.05p. (Procedimento operacional, Mineração).

ROCHA, A. C. P. Aplicações do Scanner a Laser I-SITE para levantamentos topográficos. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 55, n.4, out/dez 2002.

TRINDADE, PRO-0005-GALIP; R. Determinação de densidade aparente em minério de ferro e aglomerados. Vitória: Vale, 2010.08p. (Procedimento operacional, Mineração).

VEISACK, PRO-0149-GAOAS; F. Determinar densidade de minérios em pilhas. Mariana: Vale, 2010.04p. (Procedimento operacional, Mineração).