AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS NA REDUÇÃO DA UMIDADE DE *SINTER FEED* DE MINÉRIO DE FERRO

EVALUATION OF OPERATIONAL PARAMETERS IN THE MOISTURE REDUCTION OF IRON ORE SINTER FEED

Marcella Monteiro Rodrigues da Silva, Gabriel Moni Machado, Ana Clara Ferreira do Nascimento, Vitor da Silva Rosa, Nelize Maria de Almeida Coelho

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: rodriguesmarcella1004@gmail.com

RESUMO – O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de minério de ferro. O minério é estocado nos portos, a céu aberto, em grandes pilhas, tornando-o suscetível à incrementos de umidade que geram instabilidade na navegação. Para minimizar os custos associados ao tempo de espera de embarque nos portos é necessário ajustar a umidade do material, empregando, por exemplo, uma secagem nas correias transportadoras. O objetivo deste trabalho foi avaliar a espessura do leito de material, a temperatura e a velocidade do ar na secagem de Sinter Feed de Minério de Ferro em um secador de bandejas. Os resultados apontaram que a espessura da bandeja é o fator mais relevante na secagem, sendo a velocidade e a temperatura do ar pouco expressivas na faixa de condições estudada.

Palavras-chave: Minério de Ferro; Umidade do material; TML (Transportable Moisture Limit); Secador de Bandejas.

ABSTRACT – Brazil is one of the largest producers and exporters of iron ore. The ore is stored in ports, in the open, in large piles, making it susceptible to increases in humidity that generate instability in navigation. To minimize the costs associated with the waiting time for shipment at ports, it is necessary to adjust the moisture of the material, employing, for example, drying on the conveyor belts. The objective of this work was to evaluate the thickness of the material bed, the temperature and the air velocity in the drying of Iron Ore Sinter Feed in a tray dryer. The results showed that the thickness of the tray is the most relevant factor in drying, and the air speed and temperature are not very expressive in the range of conditions studied.

Keywords: Iron ore; Moisture of the content; TML (Transportable Moisture Limit); Tray Dryer.

Tipo do trabalho: (X) Iniciação científica ( ) Iniciação tecnológica ( ) Extensão

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, sendo o segundo maior produtor mundial de minério de ferro, alcançou uma produção de 378,5 milhões de toneladas em 2023, correspondendo a 59,6% do total do país. A Vale S/A, a principal mineradora, comercializou 63.826 toneladas apenas no primeiro trimestre de 2024. Para viabilizar a exportação e serem competitivas no mercado, as mineradoras buscam reduzir custos de frete e melhorar a eficiência dos navios, destacando a importância do teor de umidade no minério. A umidade excessiva pode levar à liquefação do minério durante o transporte, um fenômeno que compromete a estabilidade das embarcações e já causou vários acidentes, como o naufrágio do Stellar Daisy em 2017, que resultou em 22 mortes. Para prevenir tais ocorrências, a Organização Marítima Internacional estabeleceu o limite de umidade transportável (TML), que para o minério de ferro no Brasil deve ser mantido abaixo de 9%.

Dado o alto custo do frete marítimo, otimizar o tempo de carga é crucial. Uma solução possível consiste em implementar um sistema de secagem nas correias transportadoras antes do embarque. Para tal, é necessário estudar parâmetros operacionais da secagem, como a velocidade e a temperatura do ar e a espessura do leito de minério, para compreender as operações de transferência de calor e massa da operação, visando desenvolver um modelo que possa ser aplicado em instalações reais das estações portuárias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Unidade Experimental

A unidade experimental utilizada neste estudo (Figura 1) está instalada no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília (UNISANTA).

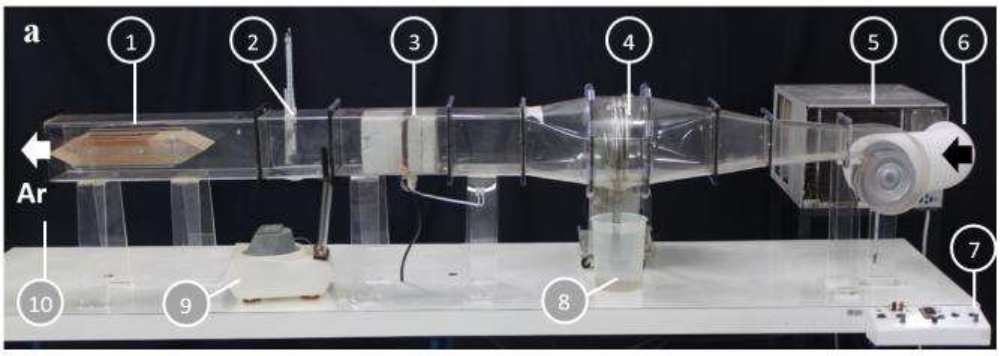

Figura 1: a) Vista frontal da unidade para estudo da desumidificação de sólidos na condição estática. 1) Bandeja com amostra; 2) Medidores de Temperatura de bulbo seco e bulbo úmido do ar; 3) Aquecedor;

4) Desumidificador de ar; 5) Ar-condicionado; 6) Entrada de ar (duto de sucção); 7) Painel de controle; 8) Duto para retirada de água; 9) Umidificador; 10) saída de ar.

Conforme apresentado na Figura 1, a unidade experimental é composta de um túnel de seção quadrada em acrílico transparente. Um ventilador do tipo Sirocco promove a sucção de ar para o túnel, possibilitando que este passe por um sistema de redução de umidade e por outro de aquecimento elétrico. A jusante do duto, há um suporte lateral para acomodar centralizadamente as bandejas contendo as amostras de minério. Um conjunto de 2 termômetros, para leitura das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido, fornece os dados necessários para a determinação da umidade relativa e da umidade absoluta do ar através de carta psicrométrica apropriada.

As bandejas para acomodar o minério tiveram suas profundidades projetadas considerando a maior partícula do material encontrado na amostra de *sinter feed,* que foi de, aproximadamente, 15 □□. Desta forma, optou-se por bandejas de 15 e 30 □□ de profundidade. As extremidades na forma V foram empregadas para fins aerodinâmicos (Figura 2).

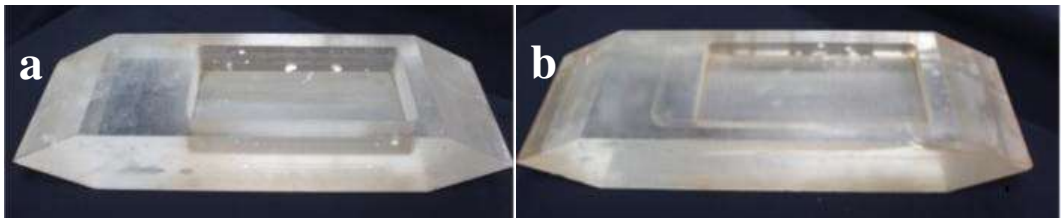

Figura 2: Bandejas utilizadas no estudo. Espessuras: a) 15 mm; b) 30 mm.

2.2 Preparo da Amostra

A umidade inicial adotada nos ensaios (10% base seca) foi provocada artificialmente a partir da adição de água deionizada no minério, pós estufa, já condicionado à temperatura ambiente. Foi observado em estudos preliminares que após 24 *h* sob 120 °C a massa de minério se mantém constante, podendo este ser considerado completamente seco. A Equação 1 (Eq. 1) apresenta o cálculo utilizado na preparação da amostra.

$$m_{água} = \frac{U_d}{(100 - U_d)} \cdot m_{minério} \qquad \text{Eq. 1}$$

Em que:

$m_{água}$ é a massa de água a ser adicionada na amostra (g)

$m_{minério}$ é a massa de minério (g)

U_d é a umidade desejada no minério (%)

2.3 Corridas de desumidificação

Uma vez preparado o material úmido, ele foi colocado na bandeja de secagem, tendo a massa inicial do conjunto bandeja-minério observada em uma balança Gehata BK6000. Na sequência, o conjunto foi acomodado no túnel de secagem para início do processo, que teve contabilizado o tempo decorrido com o auxílio de um cronômetro. Novas medidas da massa do conjunto foram realizadas em intervalos de 5 minutos ou 10 minutos a depender da bandeja empregada. A cada medição de massa, também foi realizada a leitura das temperaturas com a precaução de manter os bulbos dentro da faixa de umidade do ar desejada.

2.4 Planejamento Experimental

A influência da velocidade e da temperatura do ar de secagem e da profundidade do leito de material foi estudada a partir de um planejamento fatorial completo, conforme descrito na Tabela 1. O objetivo foi avaliar quais os fatores de maior relevância na taxa de desumidificação do material, bem como identificar o teor de umidade crítica. Os critérios de escolha dos níveis para temperatura e velocidade do ar tomaram como base as limitações do aparato.

Tabela 1: Planejamento Experimental do presente estudo.

Fatores	**Níveis**		
Temperatura do ar (°C)	35	40	45
Velocidade do ar (m/s)	5		6
Profundidade do leito (mm)	15		30

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados coletados durante a pesquisa foram obtidas curvas que mensuram a taxa de secagem do minério em relação à disponibilidade de água no material (Figura 3a) e a taxa de secagem ao longo do tempo (Figura 3b) para as diversas condições experimentais testadas.

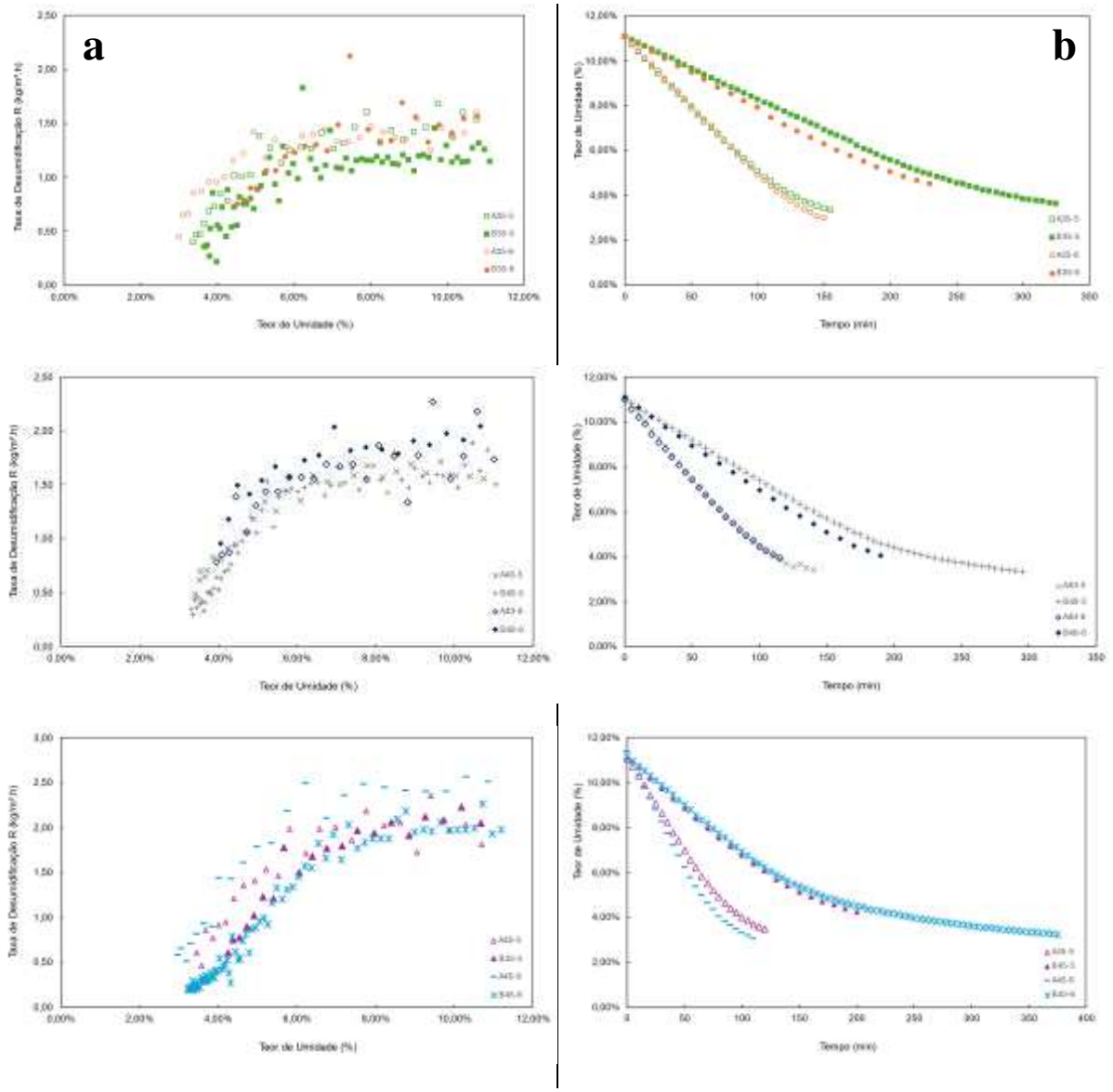

Figura 3: Resultados Experimentais da desumidificação de *Sinter Feed* de minério de ferro. a) Avaliação do mecanismo de secagem. b) Avaliação da taxa de secagem.

A partir do exposto na Figura 3, foi observado que o teor de umidade crítico, ponto em que há mudança do mecanismo de secagem, ocorre quando o minério atinge aproximadamente 8 %. Dessa forma, a redução de umidade de 10 até 8% ocorre independentemente das condições internas do material, semelhante ao processo convencional de evaporação de uma massa de líquido livre. Nessa fase, a água retirada da superfície é continuamente substituída pelo líquido que migra por capilaridade do interior do material, mantendo constante a taxa de remoção de umidade. A partir de 8% o a taxa de desumidificação se tornou decrescente, não sendo possível avaliar com precisão o ponto de viragem para o mecanismo de secagem por difusão.

As curvas de secagem também permitiram inferir que, nas condições de trabalho adotadas, não houve uma influência significativa da velocidade e da temperatura do ar nas taxas de secagem, sendo o parâmetro determinante a espessura do leito de minério. Vale ressaltar que a água mais difícil de ser retirada é aquela acumulada no fundo da bandeja, pois esta não está em contato com o ar que promove a convecção forçada.

4 CONCLUSÃO

A partir dos diferentes gráficos comparativos relacionando a taxa de secagem em função da temperatura e da velocidade do ar e da espessura do leito de material, no processo de secagem de *Sinter Feed* de minério de ferro, foi possível concluir que, para as condições experimentais estudadas, o fator prevalescente é a espessura do leito de sólido. A temperatura e a velocidade do ar naturalmente elevam a taxa de evaporação da água, todavia, com um efeito bem restrito em comparação à espessura do leito. Concluiu-se também que o teor de umidade crítico para o material ocorre quando ele atinge umidade de aproximadamente 8%.

5 REFERÊNCIAS

ANTAQ, Boletim Anual de Movimentação de Cargas - 2013. Análise da Movimentação de Cargas nos Portos Organizados e Terminais de Uso Privado. Brasília, 2014.

IBRAM, Infográfico Mineração em Números 2023. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/02/mineracao-em-numero-2023.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2024.

VALE, Relatório de produção e vendas da Vale no primeiro trimestre de 2024. Disponível em: <https://financenews.com.br/wp-content/uploads/2024/04/Vale.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2024.