



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

MELHORIA DA SECAGEM DE MINÉRIO COM FERRAMENTAS DA QUALIDADE: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA DE AÇO.

Mateus Antônio José Ribeiro

Universidade do Estado de Minas Gerais

Bruno Martins Moreira

Universidade do Estado de Minas Gerais

Resumo: Este artigo investiga a importância do fluxo de abastecimento dos silos de minério em uma empresa do setor do aço, com foco na eficiência da secagem do minério antes de sua alimentação nos altos-fornos. A pesquisa identificou as causas da ineficiência no processo de secagem e propôs soluções para otimizar o abastecimento dos silos. Para isso, foi utilizado um estudo quali-quantitativo, com coleta de dados no local, aplicação de ferramentas da qualidade, como o Diagrama de Ishikawa e fluxogramas de processos, e um teste de eficiência de secagem. Os resultados mostraram uma relação direta entre o volume do silo e a eficácia da secagem, além de apontar que o mix de minério influencia no tempo de permanência do material no alto-forno. As análises revelaram que silos mais cheios aumentam a eficiência de secagem, melhorando as propriedades do minério. Este estudo oferece insights valiosos para a melhoria do processo de secagem e abastecimento, contribuindo para a otimização da produção de ferro-gusa.

Palavras-chave: Minério, Qualidade, Operações, Abastecimento, Silos.

The Importance of Ore Silo Supply Flow in a Company in the Steel Industry

Abstract: This article investigates the importance of the ore silo supply flow in a steel sector company, focusing on the efficiency of ore drying before feeding it into blast furnaces. The research identified the causes of inefficiencies in the drying process and proposed solutions to optimize silo supply. A qualitative and quantitative study was conducted, with on-site data collection, the application of quality tools such as the Ishikawa Diagram and process flowcharts, and a drying efficiency test. The results showed a direct relationship between the silo volume and drying effectiveness, as well as the influence of the ore mix on the material's residence time in the blast furnace. The analysis revealed that fuller silos improve

drying efficiency, enhancing the properties of the ore. This study provides valuable insights into improving the drying and supply processes, contributing to the optimization of pig iron production.

Keywords: Ore, Quality, Operations, Supply, Silos.

1. Introdução

A indústria do aço é uma das principais impulsionadoras da economia global, desempenhando um papel crucial em diversos setores. No entanto, para manter sua competitividade e eficiência, é essencial garantir um fluxo contínuo e eficaz de matéria-prima, como o minério de ferro, para os altos fornos. Recentemente, surgiu uma questão crítica na operação de uma empresa do setor do aço: a ineficiência na secagem do minério antes de ser alimentado nos altos fornos. Essa ineficiência não apenas afeta a qualidade do produto final, mas também resulta em desperdício de recursos e perdas financeiras significativas.

Diante desse cenário, tornou-se imperativo realizar um estudo aprofundado para identificar as causas subjacentes a essa ineficiência e tomar as medidas corretivas necessárias. Neste contexto, o presente artigo propõe-se a investigar a importância do fluxo de abastecimento dos silos de minério em uma empresa do setor do aço, destacando os principais desafios enfrentados e as soluções viáveis para otimizar esse processo.

A análise conduzida abrangeu diversos aspectos, incluindo a avaliação do desempenho do secador de minério, o formato e a capacidade volumétrica dos silos, bem como a capacidade de escoamento dos materiais. Além disso, foram considerados fatores como o mix de minério utilizado, sua composição química e o tempo de secagem necessário para garantir a qualidade do produto final.

Ao cruzar essas informações, a análise revelou uma relação estreita entre o volume do silo e a eficácia da secagem do minério. Silos mais cheios aumentam a eficácia da secagem, resultando em minério mais seco ao entrar no alto-forno, o que melhora suas propriedades mecânicas. Adicionalmente, uma maior porcentagem do mix de minério reduz o tempo de permanência no alto-forno devido ao aumento do consumo, exigindo um abastecimento constante do silo para manter o volume máximo de minério.

2. Referencial Teórico

2.1. Altos Fornos

O alto-forno é uma estrutura metalúrgica essencial para a produção de ferro-gusa, utilizando coque ou carvão vegetal como fonte de carbono para reduzir e fundir os óxidos de ferro presentes na carga. O ferro-gusa produzido contém entre 4 e 4,5% de carbono, além de outras impurezas, como silício, manganês, fósforo e enxofre. Este material é um insumo fundamental nas aciarias a oxigênio para a produção de aço (VIEIRA, 2012).

Os altos-fornos possuem uma configuração vertical em forma de cuba e operam em regime de contracorrente. A carga sólida (incluindo minério de ferro, pelotas, sinter, coque ou carvão vegetal, e fundentes) é alimentada no topo e desce por gravidade até o cadinho, enquanto os gases gerados ascendem pela estrutura até a parte superior do forno.

Na base do alto-forno, ar quente proveniente dos regeneradores (*cowpers* ou *glendons*) é injetado pelas ventaneiras. O oxigênio presente no ar reage com o coque ou carvão vegetal, formando monóxido de carbono, que sobe pelo forno, reduzindo os óxidos de ferro da carga sólida em sua trajetória ascendente. Este processo de reação em contracorrente é fundamental para a produção eficiente de ferro-gusa (VIEIRA, 2012).

2.2. Minério de Ferro

No Brasil, destaca-se o quadrilátero ferrífero, uma vasta reserva de minério de ferro. Como observado por Santos (2009), as formações ferríferas representam corpos de rochas metamórficas contendo minerais ricos em ferro. Esses minerais, com diferentes composições, incluem principalmente quartzo e hematita. No contexto do quadrilátero ferrífero, a rocha predominante é o itabirito. A extração de minérios nessa região engloba principalmente minérios com alto teor de ferro, os hematíticos, e os quartzosos, também conhecidos como itabiríticos. A classificação desses minérios leva em conta sua composição mineral e textura, sendo características distintivas o tamanho do grão dos óxidos de ferro, a estrutura cristalina e a porosidade.

Conforme observado por Lopes (2017), o minério de alto teor é geralmente composto principalmente por hematita, caracterizando-se pela ausência de quartzo visível a olho nu e teores de ferro superiores a 64%. Esse tipo de minério é frequentemente encontrado em formações resultantes do metamorfismo de rochas itabiríticas. Diversas características texturais são associadas a esses minérios, incluindo a forma compacta, foliada ou granular. Por outro lado, Rosière (1993) também destaca que os minérios de alto teor são quimicamente homogêneos, compostos principalmente por óxidos de ferro, com teores que podem exceder 64%. Esses minérios podem ser classificados mesoscopicamente como compactos, com estruturas maciças ou bandadas, além de pulverulentos, com estruturas foliadas, lineadas ou granulares.

2.2.1. Secagem do Minério de Ferro

Segundo Lopes (2017), a pré-secagem de minérios melhora a permeabilidade da carga em altos-fornos. Neves (2015) constatou que, com o equipamento de secagem ativado, houve uma redução significativa na crepitação dos minérios, justificando investimentos em sistemas de pré-secagem devido ao aumento de produtividade.

Strezov et al. (2011) citados por Lopes (2017) analisaram a degradação das partículas de minério de ferro sob aquecimento. Observou-se que as amostras de goethita sofreram transformações físicas consideráveis, enquanto as de hematita permaneceram praticamente inalteradas. A deterioração da goethita foi atribuída, principalmente, à liberação de água resultante da decomposição das hidroxilas presentes na estrutura.

Muwanguzi et al. (2014) citados por Lopes (2017) realizaram um estudo sobre a degradação durante a redução e a redutibilidade de minérios de ferro, identificando elementos essenciais para o processo. Descobriram que a hematita passa por desintegração, crepitação e degradação térmica quando aquecida entre 300°C e 700°C. A crepitação, que acontece entre 300°C e 480°C, é atribuída à liberação de água combinada, enquanto a degradação acima de 480°C resulta da expansão volumétrica de 25% devido à conversão de hematita em magnetita. A pesquisa avaliou variáveis como temperatura (500°C e 600°C), composição do gás redutor (0-60% H₂ e 100-40% CO), massa das amostras (>5g e <5g) e sua posição no forno (topo, centro e base). Embora a composição do gás não tenha influenciado a degradação ou a redutibilidade, a localização das amostras no forno mostrou-se crucial, sendo observada maior degradação no topo. Além disso, foi verificada uma forte correlação entre a degradação sob redução e a redutibilidade, causada por trincas superficiais que impactam ambos os fenômenos.

2.3. Mapeamento de processo

De acordo com Villela (apud Hunt, 1996), o mapeamento de processos funciona como uma ferramenta gerencial analítica e de comunicação, voltada tanto para a melhoria dos processos existentes quanto para a implementação de uma nova estrutura orientada por processos. A análise estruturada proporcionada por essa ferramenta possibilita a redução de custos no desenvolvimento de produtos e serviços, a diminuição de falhas na integração entre sistemas e a melhora no desempenho organizacional. Além disso, facilita uma melhor compreensão dos processos atuais, permitindo a eliminação ou simplificação daqueles que necessitam de ajustes.

2.4. Ferramentas da Qualidade

Conforme Samohyl (2005, apud Coelho, 2016), as sete ferramentas da qualidade constituem um conjunto amplamente reconhecido de instrumentos estatísticos utilizados para aprimorar a qualidade de produtos, serviços e processos. A estatística é essencial na gestão da qualidade e produtividade, uma vez que nenhum produto ou serviço é idêntico a outro, apresentando sempre variações em relação ao modelo original. Portanto, é crucial dominar essas variações, e a estatística fornece o suporte necessário para coletar, organizar, analisar e apresentar esses dados.

De acordo com Corrêa e Corrêa (2010, apud Coelho, 2016), as sete ferramentas da qualidade incluem o fluxograma, diagrama de causa e efeito, diagrama de Pareto, histograma, gráfico de controle, folha de verificação e diagrama de dispersão. Neste trabalho, serão utilizados o Fluxograma de Processo e o Diagrama de Ishikawa para complementar as análises realizadas.

2.4.1. Fluxograma do processo

Oliveira (2013) afirma que o fluxograma é uma representação gráfica que utiliza diferentes formas geométricas para apresentar, de maneira analítica, a sequência de um trabalho, caracterizando as operações, os responsáveis e/ou as unidades organizacionais envolvidas. Além disso, elucida as várias etapas dos processos, facilitando o entendimento, a identificação de gargalos e os pontos de melhoria.

2.4.2. Diagrama de Ishikawa (6M)

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe ou Diagrama de Causa e Efeito, é uma ferramenta utilizada para identificar e categorizar as causas potenciais de um problema específico. Essa metodologia também é referida como Diagrama 6M, pois sua estrutura permite a classificação dos problemas em seis categorias distintas: método, matéria-prima, mão de obra, máquina, meio ambiente e medida (ARAÚJO, 2010).

3. Metodologia

A pesquisa abordada neste artigo é de natureza aplicada, uma vez que busca resolver um problema específico da empresa estudada, relacionado ao aumento da eficiência da secagem do minério para o alto-forno. A abordagem utilizada é quali-quantitativa, pois envolve a coleta e análise de dados obtidos diretamente no local.

A empresa na qual este trabalho foi realizado é uma usina siderúrgica integrada, localizada na região Oeste de Minas Gerais. Esta usina possui altos fornos, aciaria e laminação, e é uma produtora de aço que atende tanto o mercado regional quanto o nacional e

internacional. O foco deste estudo foi na área dos altos fornos, que possuem uma capacidade produtiva mensal de aproximadamente 40 mil toneladas de ferro-gusa. Esta capacidade destaca a importância da empresa na cadeia produtiva do aço, contribuindo significativamente para a economia local e internacional através da produção e exportação de ferro-gusa e aço.

Para a obtenção dos dados e identificação da causa raiz do problema, foram utilizadas diversas ferramentas da qualidade. Inicialmente, foi realizado o mapeamento do processo de abastecimento do silo, permitindo uma compreensão detalhada das etapas envolvidas. Em seguida, foi elaborado um fluxograma do processo, que proporcionou uma visualização clara e sequencial das atividades.

Adicionalmente, aplicou-se o diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito, para identificar e categorizar os potenciais fatores que poderiam estar impactando a eficiência da secagem. Por fim, foi realizada uma análise detalhada da eficiência de secagem do minério, permitindo a avaliação do desempenho atual e a identificação de áreas para melhoria.

Essas etapas foram fundamentais para a estruturação da pesquisa, possibilitando uma abordagem sistemática e orientada por dados para a resolução do problema proposto. Dessa forma, foi realizado o mapeamento do processo de abastecimento dos silos de minério, no qual foram identificadas as entradas e saídas do processo, conforme ilustrado na Figura 1. Essa figura visa proporcionar uma visão clara e objetiva do fluxo de atividades, facilitando a identificação de pontos críticos e oportunidades de melhoria no processo de abastecimento.

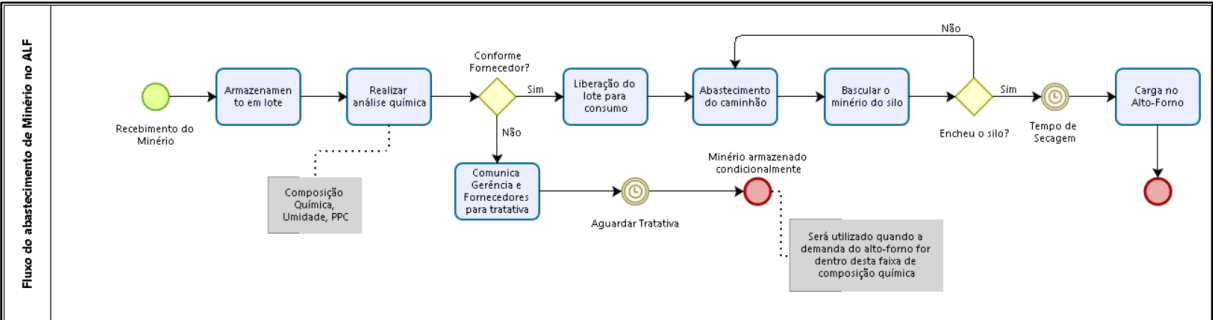
Figura 1 – Mapeamento do Processo de Abastecimento do Silo

ENTRADAS REQUERIDAS		Atividades	SAÍDAS ESPERADAS	
Fontes	Entradas		Recebedores	Saídas
Fornecedores	Matéria-Prima e suas respectivas composições químicas	Recebimento do Minério de Ferro	Pátio de Matéria-Prima	Produtos armazenados em seus respectivos lotes
Laboratório	Equipamentos de Análise	Análise Química	Alto-Forno	Análises químicas realizadas e Matéria-Prima disponível para consumo
	Composições químicas fornecidas pelos	Abastecimento dos Silos		
		Carga no Alto-Forno		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

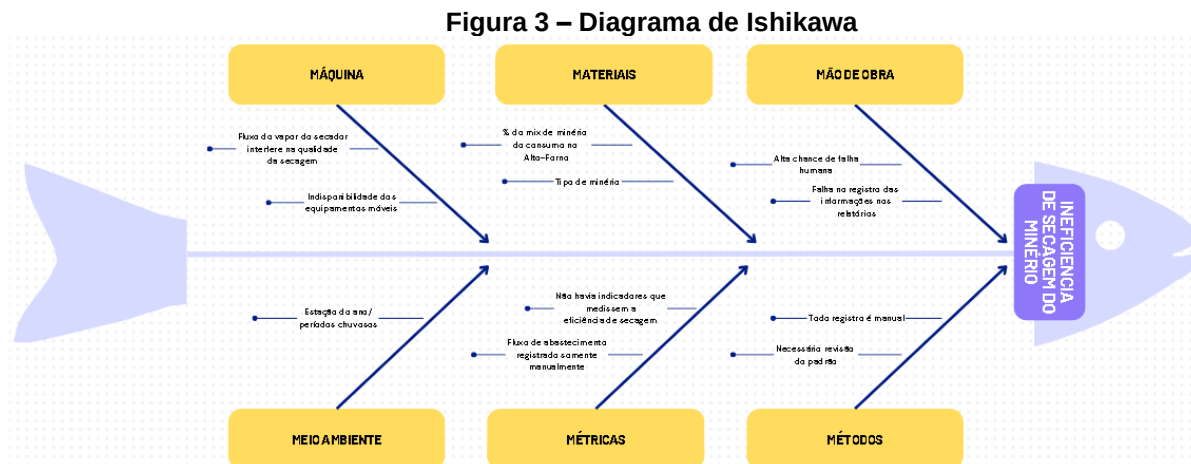
Conforme descrito, foi elaborado o fluxograma do processo de abastecimento dos silos, tomando como base o mapeamento do processo mencionado no item 3.1. Esse fluxograma ilustra detalhadamente todas as etapas, desde o recebimento do material, seu armazenamento, e sua análise química, até o carregamento do material para basculamento no silo de minério, o tempo de secagem e, por fim, a carga do mesmo para o alto-forno.

Figura 2 – Fluxograma do Processo de Abastecimento do Silo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Com base no mapeamento de processos e na análise do fluxograma, identificamos que o tempo de secagem é uma variável crucial no processo, uma vez que determina o período de permanência do minério no silo durante a secagem. Diante disso, elaborou-se o Diagrama de Ishikawa com o objetivo de identificar e analisar as diversas causas que podem contribuir para a ineficiência na secagem do minério.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Realizado a análise foi encontrado os seguintes pontos:

a) Máquina;

- O Fluxo de vapor do secador de minério interfere na qualidade da secagem – Como o fluxo de vapor ocorre dos silos da esquerda para a direita, os silos da esquerda secam melhor do que os da direita, pois o calor se dissipa ao longo da tubulação;
- Indisponibilidade dos equipamentos móveis – Há somente um caminhão que realiza o abastecimento dos silos e ele é utilizado também por outras áreas produtivas.

b) Materiais;

- Porcentagem do mix de minério para consumo no Alto-Forno;
- Tipo de minério utilizado.

c) Mão de Obra;

- Alta chance de falha humana;
- Falha no registro das informações nos relatórios – Devido ao monitoramento ser visual, após algumas auditorias internas verificou-se que os volumes registrados nos relatórios eram diferentes dos encontrados no silo.

d) Meio Ambiente;

- Estação do ano – Devido a período chuvoso o minério vai mais molhado para o silo, com isso exige mais do secador.

e) Métricas;

- Não havia indicadores que aferissem a eficiência de secagem do minério;
- Fluxo de abastecimento registrado manualmente – Indicador utilizado para o abastecimento do silo.

f) Métodos;

- Todo registro do processo é manual;
- Necessário revisar o padrão desta atividade.

3.4. Teste da Eficiência de secagem

Com base nas informações encontradas através das ferramentas da qualidade anteriormente mencionadas, chegou-se à necessidade de realizar um teste de eficiência de secagem para determinar a diferença entre o percentual de umidade que entra no silo e o percentual de umidade que sai do silo para as esteiras transportadoras. Para isso foram utilizados dois minérios diferentes, mas com propriedades mecânicas parecidas e colocados em silos diferentes, seguindo a seguinte distribuição:

Tabela 1 – Disposição dos Minérios nos Silos

Minério	Silo
Minério A	306
Minério A	307
Minério B	304

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Foram realizadas 15 medições em cada silo ao longo de um período de 25 dias. Os silos utilizados para os testes possuem uma capacidade de 109,1 m³, conforme o projeto estrutural da empresa. A medição foi conduzida da seguinte maneira:

- I. **Coleta de Amostras e Análise Inicial:** Quando o minério é armazenado em lote, o laboratório químico coleta algumas amostras para a realização de testes. Nesse momento, são registradas a composição química do lote e a umidade do minério.
- II. **Medição Inicial do Volume:** Antes do abastecimento do silo, durante a troca de turno às 7h da manhã, é realizada a medição do volume de minério presente no silo.
- III. **Abastecimento do Silo:** O silo é abastecido com minério.
- IV. **Coleta de Amostras Após Abastecimento:** Após 6 horas, uma amostra é coletada na peneira do silo, que é o ponto imediatamente anterior ao minério entrar no alto-forno. Este período de 6 horas foi determinado com base na porcentagem dos diferentes tipos de minério (mix de minério), que é o tempo estimado para que o minério reposto às 7h da manhã alcance a peneira e seja encaminhado para o alto-forno.
- V. **Análise da Umidade:** A amostra coletada é enviada ao laboratório, onde é realizada a análise da umidade.
- VI. **Registro e Comparação de Dados:** Por fim, essas informações são registradas em uma planilha e comparadas com os dados previamente registrados no lote, permitindo a avaliação da eficiência de secagem que o silo apresentou no período de 6 horas, levando em consideração o mix do alto-forno.

4. Resultados

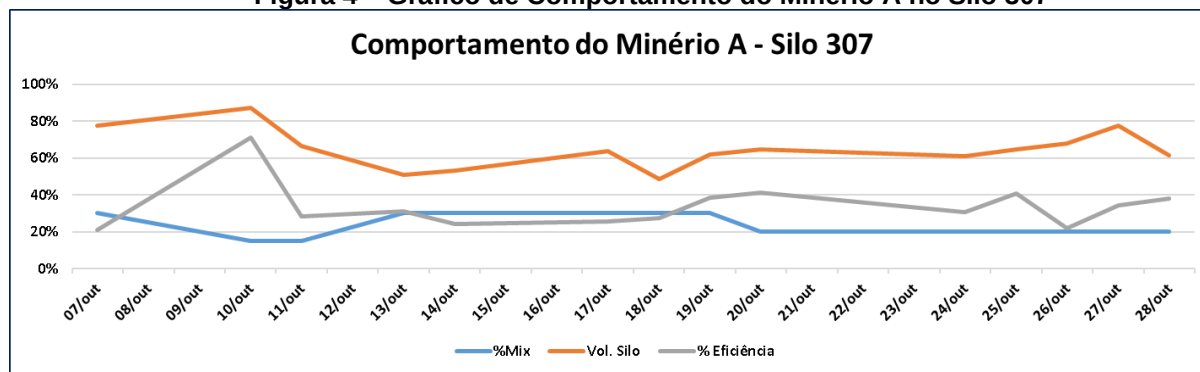
Após as análises feitas, obtivemos os seguintes resultados:

Tabela 2 – Registro das análises do Minério A no Silo 307

Data	Minério	Lote	%Mix	Silo	Peso Úmido	Peso Seco	Vol. Silo	Umid. Em Lote	Umid. Após Secagem	% Eficiência
07/out	Minério A	G	30%	307	5,90	5,55	78%	7,49%	5,93%	20,80%
10/out	Minério A	F	15%	307	5,70	5,55	87%	9,08%	2,63%	71,02%
11/out	Minério A	G	15%	307	5,60	5,30	67%	7,49%	5,36%	28,48%
13/out	Minério A	F	30%	307	6,50	6,05	51%	10,08%	6,92%	31,32%
14/out	Minério A	F	30%	307	6,55	6,05	53%	10,08%	7,63%	24,27%
17/out	Minério A	F	30%	307	6,65	6,15	64%	10,08%	7,52%	25,41%
18/out	Minério A	F	30%	307	6,85	6,35	49%	10,08%	7,30%	27,59%
19/out	Minério A	F	30%	307	5,65	5,30	62%	10,08%	6,19%	38,54%
20/out	Minério A	F	20%	307	5,90	5,55	65%	10,08%	5,93%	41,15%
24/out	Minério A	F	20%	307	6,20	5,75	61%	10,46%	7,26%	30,61%
25/out	Minério A	F	20%	307	5,65	5,30	65%	10,46%	6,19%	40,78%
26/out	Minério A	F	20%	307	6,60	6,06	68%	10,46%	8,18%	21,78%
27/out	Minério A	F	20%	307	5,10	4,75	77%	10,46%	6,86%	34,39%
28/out	Minério A	I	20%	307	5,85	5,50	61%	9,67%	5,98%	38,13%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 4 – Gráfico de Comportamento do Minério A no Silo 307



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

As tabelas apresentadas nos resultados possuem colunas importantes, tais como:

- % Mix: indica a porcentagem do mix que está sendo utilizada no alto-forno.
- Volume do silo: mostra o percentual do volume do silo quando o minério foi abastecido.
- Umidade em lote: refere-se à umidade do minério enquanto estava em seu lote de estocagem.
- Umidade após secagem: é a umidade do minério após passar pelo primeiro tratamento no silo, onde ocorre sua secagem.
- Eficiência: cálculo da eficiência da secagem, levando em consideração a diferença percentual entre a umidade do minério após a secagem e a umidade em lote.

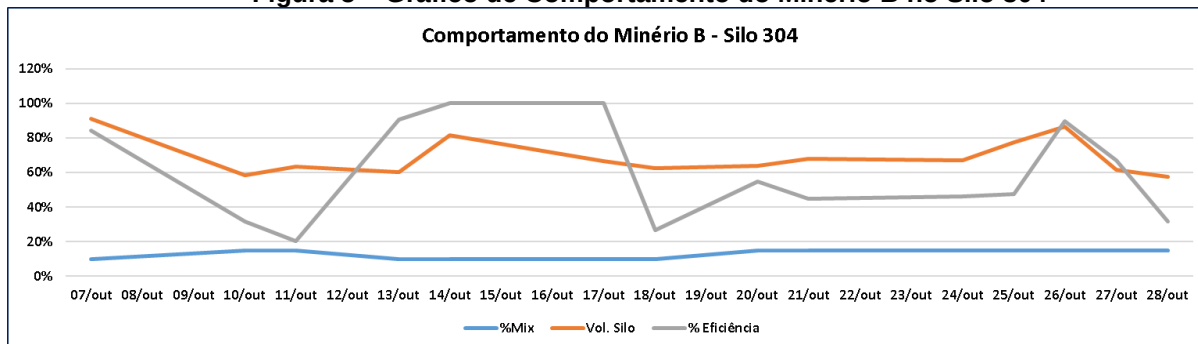
Ao observar a Tabela 2 e a Figura 4, que fazem referência ao minério A no silo 307, pode-se notar que, quando a porcentagem do mix aumenta e o volume do silo se mantém constante, a eficiência de secagem diminui. Isso indica que, quanto maior for o mix utilizado no alto-forno, maior é o tempo necessário para a secagem do minério. Dado que o tempo medido nas análises foi o mesmo, a eficiência caiu mesmo com o volume do silo se mantendo constante. Quando a porcentagem do mix foi reduzida, a eficiência retornou ao seu patamar anterior.

Tabela 3 – Registro das análises do Minério B no Silo 304

Data	Minério	Lote	%Mix	Silo	Peso Úmido	Peso Seco	Vol. Silo	Umid. Em Lote	Umid. Após Secagem	% Eficiência
07/out	Minério B	W	10%	304	4,45	4,40	91%	7,21%	1,12%	84%
10/out	Minério B	W	15%	304	7,10	6,75	59%	7,21%	4,93%	32%
11/out	Minério B	W	15%	304	4,85	4,55	63%	7,75%	6,19%	20%
13/out	Minério B	W	10%	304	6,90	6,85	60%	7,75%	0,72%	91%
14/out	Minério B	W	10%	304	6,10	6,10	82%	7,75%	0,00%	100%
17/out	Minério B	W	10%	304	4,80	4,80	67%	7,75%	0,00%	100%
18/out	Minério B	W	10%	304	6,15	5,80	63%	7,75%	5,69%	27%
20/out	Minério B	W	15%	304	5,70	5,50	64%	7,75%	3,51%	55%
21/out	Minério B	W	15%	304	5,85	5,60	68%	7,75%	4,27%	45%
24/out	Minério B	X	15%	304	5,30	5,05	67%	8,75%	4,72%	46%
25/out	Minério B	X	15%	304	5,45	5,20	77%	8,75%	4,59%	48%
26/out	Minério B	X	15%	304	5,65	5,60	87%	8,75%	0,88%	90%
27/out	Minério B	X	15%	304	5,20	5,05	62%	8,75%	2,88%	67%
28/out	Minério B	X	15%	304	5,85	5,50	57%	8,75%	5,98%	32%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 5 – Gráfico de Comportamento do Minério B no Silo 304



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

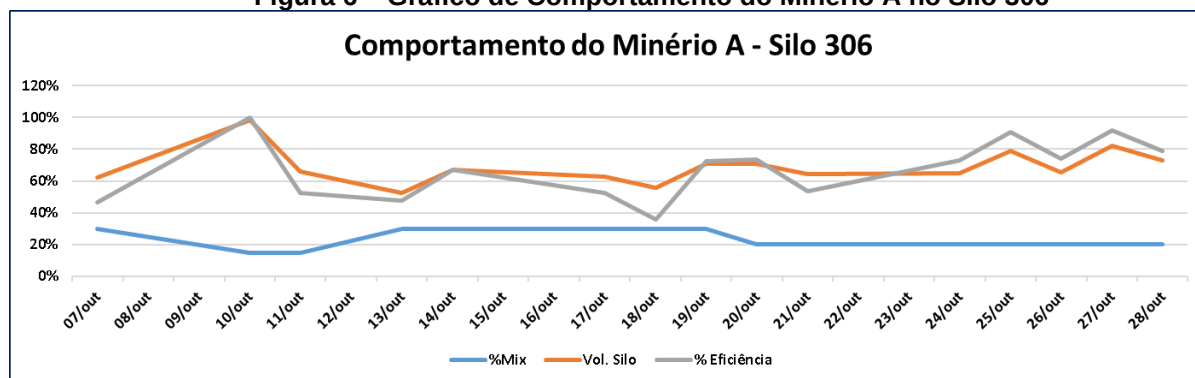
Ao observarmos o comportamento no silo 304, verificamos que a porcentagem do mix se manteve praticamente constante durante toda a medição. Dessa forma, o foco da análise recaiu sobre o volume do silo e a eficácia da secagem. Pode-se notar que, quando o volume do silo está próximo de 100%, a eficiência tende a acompanhar essa variação. No entanto, em dois dias específicos, a medição não seguiu essa tendência. Com isso, na medição deste silo, não dispomos de um índice de correlação forte para confirmar essa hipótese.

Tabela 4 – Registro das análises do Minério A no Silo 306

Data	Minério	Lote	%Mix	Silo	Peso Úmido	Peso Seco	Vol. Silo	Umid. Em Lote	Umid. Após Secagem	% Eficiência
07/out	Minério A	G	30%	306	6,25	6,00	62%	7,49%	4,00%	46,60%
10/out	Minério A	F	15%	306	5,75	5,75	98%	9,08%	0,00%	100,00%
11/out	Minério A	G	15%	306	5,65	5,45	66%	7,49%	3,54%	52,74%
13/out	Minério A	F	30%	306	5,70	5,40	53%	10,08%	5,26%	47,79%
14/out	Minério A	F	30%	306	7,50	7,25	67%	10,08%	3,33%	66,93%
17/out	Minério A	F	30%	306	7,35	7,00	62%	10,08%	4,76%	52,76%
18/out	Minério A	F	30%	306	7,70	7,20	55%	10,08%	6,49%	35,58%
19/out	Minério A	F	30%	306	5,40	5,25	71%	10,08%	2,78%	72,44%
20/out	Minério A	F	20%	306	5,60	5,45	71%	10,08%	2,68%	73,43%
21/out	Minério A	F	20%	306	6,40	6,10	64%	10,08%	4,69%	53,50%
24/out	Minério A	F	20%	306	5,35	5,20	65%	10,46%	2,80%	73,20%
25/out	Minério A	F	20%	306	5,25	5,20	79%	10,46%	0,95%	90,90%
26/out	Minério A	F	20%	306	5,55	5,40	65%	10,46%	2,70%	74,16%
27/out	Minério A	F	20%	306	5,80	5,75	82%	10,46%	0,86%	91,76%
28/out	Minério A	I	20%	306	4,85	4,75	73%	9,67%	2,06%	78,68%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 6 – Gráfico de Comportamento do Minério A no Silo 306

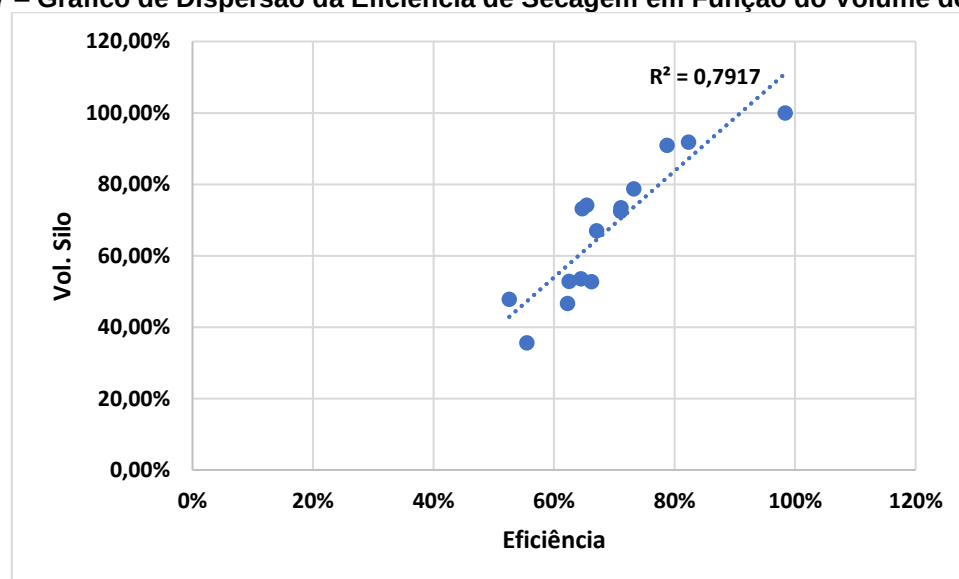


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Na análise do comportamento do silo 306, podemos observar o impacto tanto da porcentagem do mix quanto do volume do silo na eficiência de secagem. Ao analisarmos os dados, verificamos que, quando a porcentagem do mix se eleva e o volume do silo se mantém aproximadamente constante, a eficiência de secagem diminui, conforme também observado no silo 307.

Por outro lado, ao examinarmos a relação entre o volume do silo e a eficiência de secagem, notamos que a linha de eficiência acompanha a linha do volume do silo. Para confirmar a hipótese de que há uma relação entre essas duas variáveis, foi elaborado o gráfico de dispersão, conforme ilustrado na imagem abaixo:

Figura 7 – Gráfico de Dispersão da Eficiência de Secagem em Função do Volume do Silo 306



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Como podemos ver na Figura 7, o coeficiente de correlação (r) é de 0,8898, indicando uma relação forte entre o volume do silo e a eficiência de secagem. Portanto, isso confirma a hipótese de que, quanto mais cheio o silo estiver e quanto mais ele se mantiver dessa forma, maior será a eficiência de secagem do minério.

5. Conclusões

Este estudo analisou as causas da ineficiência na secagem de minérios, utilizando ferramentas da qualidade para identificar e tratar o problema. O objetivo foi otimizar o processo de secagem, aumentando a eficiência sem incorrer em altos custos. A metodologia adotada envolveu a análise de causa-raiz, identificando o tempo de permanência do minério nos silos como a principal causa do problema.

A partir dessa análise, foram implementadas medidas corretivas, como a revisão da movimentação dos caminhões de abastecimento, o alinhamento com os colaboradores para otimizar o armazenamento nos silos, e o desenvolvimento de uma planilha para calcular a quantidade necessária de abastecimento por turno. Essas ações resultaram em uma melhoria significativa na eficiência de secagem.

Entretanto, a aquisição de uma sonda para monitoramento em tempo real, uma solução considerada essencial, ainda não foi implementada, sendo prevista para o próximo ano. Esta pesquisa contribui ao propor soluções imediatas e de baixo custo, mas uma de suas limitações é a ausência de uma abordagem mais automatizada e precisa, que será explorada futuramente.

Sugere-se que pesquisas futuras se concentrem na avaliação do impacto da sonda de monitoramento em tempo real, bem como em outras possibilidades de automação e otimização do fluxo de abastecimento dos silos, visando uma integração mais eficiente com o sistema de controle de produção.

Referências

ARAÚJO, L. C. G. de. ***Organização, sistemas e métodos e as tecnologias de gestão organizacional***. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

COELHO, Fabrício P. S. **Aplicação das ferramentas da qualidade: estudo de caso em pequena empresa de pintura**. *Revista FATEC Zona Sul*, 2016.

LOPES, Adilson Souza. ***Caracterização das propriedades metalúrgicas de minérios de ferro após secagem para uso em altos-fornos***. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

NEVES, L.; TEIXEIRA, R. L. P.; GOUVEIA, L. L. A. **Estudo do reaproveitamento do gás de topo de Alto-Forno a carvão vegetal para redução do fenômeno de crepitação em granulados de minério de ferro**. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 77-81, jan./mar. 2015.

OLIVEIRA, R. P. D. ***Sistemas, organização e métodos***. São Paulo: Atlas, 2013.

ROSIÈRE, C. A. et al. **Um modelo para a evolução microestrutural dos minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero**. Parte I - estruturas e recristalização. *Geonomos*, Belo Horizonte, v. 1, n. 1 e 2, p. 65-84, 1993.

SANTOS, W. K. ***Rotas de processo para concentração de minérios itabiríticos e hematíticos da mina de fábrica***. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2009. 155 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas).

VILLELA, Cristiane S. S. **Mapeamento de Processos como Ferramenta de Reestruturação e Aprendizado Organizacional**. Dissertação de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

VIEIRA, D. H. **Avaliação de Parâmetros Operacionais que Influenciam a Taxa de Injeção de Carvão Pulverizado em Altos-Fornos a Carvão Vegetal**. 2012. 123 f. Tese de Doutorado. (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.