

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/435

## Análise estatística de composição de minério de ferro em pilha de produto

Lucas Bianchetti Drumond

Msc, VALE S.A., Belo Horizonte, Brasil, [lbdrumond@hotmail.com](mailto:lbdrumond@hotmail.com)

Caio Duque Estrada Amendola

Msc, Progen S.A, Rio de Janeiro, Brasil, [caiodeamendola@gmail.com](mailto:caiodeamendola@gmail.com)

Brunna Abrantes de Andrade

Msc, VALE S.A, Rio de Janeiro, Brasil, [brunna.abrantes@gmail.com](mailto:brunna.abrantes@gmail.com)

Gustavo Marçal de Sousa

Dsc, VALE S.A, Belo Horizonte, Brasil, [gustavo.marcal@vale.com](mailto:gustavo.marcal@vale.com)

Márcio Fernandes Leão

Geólogo-Geotécnico, Tractebel, Belo Horizonte, Brasil, [marciotriton@hotmail.com](mailto:marciotriton@hotmail.com)

**RESUMO:** O empilhamento e estocagem de material é comum na mineração, por diversos motivos. Os estoques podem ser úteis funcionando como reserva para a operação em épocas de chuva, nas paradas de manutenção previstas ou de emergência. O trabalho apresentado aborda a análise dos teores de manganês, alumina e umidade no minério que constitui uma pilha de produto, resultado de um processo de beneficiamento a seco, com diferentes origens de material, visando compreender sua influência na estabilidade e segurança operacional. Tal análise é fruto de uma ação investigativa após um deslizamento de material em janeiro de 2023, durante o processo de retomada com equipamentos móveis, não resultando em danos pessoais ou materiais, em mina de ferro localizada no quadrilátero ferrífero. Realizou-se uma análise estatística, com dados obtidos durante o período chuvoso, entre novembro de 2022 e março de 2023, totalizando 88 amostras diárias de caracterização do material. A partir da correlação entre os parâmetros, é possível notar uma relação direta entre o aumento dos teores de alumina e manganês com o aumento do teor de umidade. O material se destaca pelo alto teor de umidade mesmo advindo de um processo a seco. Esses dados e recomendações visam melhorar a compreensão do comportamento do material em diferentes condições e fornece diretrizes para operações mais seguras e eficientes, reduzindo riscos para os colaboradores e equipamentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pilha de produto; minério de ferro; umidade; teor de alumina; teor de manganês.

**ABSTRACT:** Stacking and storing material is common in mining for several reasons. Stocks can be useful as a reserve for operation in rainy seasons, during planned maintenance stops or in emergencies. The work presented addresses the analysis of manganese, alumina and moisture content in the nutrient that constitutes a product pile, the result of a dry processing process, with different material origins, covering their influence on stability and operational safety. This analysis is the result of an investigative action after a material penetration in January 2023, during the recovery process with mobile equipment, did not result in personal or material damage, in an iron mine located in the iron quadrangle. A statistical analysis was carried out, with data obtained during the rainy season, between November 2022 and March 2023, totaling 88 daily samples to characterize the material. From the data, histograms were plotted (alumina, manganese and moisture contents) and linear correlations were carried out, in order to evaluate whether or not there is a direct relationship between the parameters. From the brightness between the parameters, it is possible to notice a direct relationship between the increase in alumina and manganese content with the increase in moisture content. The material stands out for its high moisture content even after a dry process. These data and recommendations aim to improve understanding of material behavior under different conditions and provide guidelines for safer and more efficient operations, ensuring risks to employees and equipment.

**KEYWORDS:** Stockpile; iron ore; moisture content; alumina content; manganese content.

## 1 INTRODUÇÃO

O minério de ferro constitui um dos principais produtos da economia brasileira, sendo base na cadeia de produção do aço. A produção do minério de ferro tem como premissa a necessidade de beneficiamento do material bruto, de maneira a adequar o produto final, seja em questão granulométrica, forma ou concentração de seus componentes.

Após o processo de beneficiamento, o produto final é usualmente empilhado em estruturas denominadas pilhas de produto. De acordo com Hawley & Cuning (2017), pilha de produto é um termo utilizado para descrever todas as estruturas de armazenamento temporário para materiais como minério bruto, britado, de determinado teor, etc, que serão utilizados em atividades posteriores.

As pilhas de produto podem ter variados formatos e altura, a depender das características intrínsecas do material empilhado, disponibilidade de espaço e também os equipamentos utilizados para formação e retomada (GUARANYS, 2013).

O empilhamento e estocagem de material é comum na mineração, por diversos motivos. Os estoques podem ser úteis funcionando como reserva para a operação em épocas de chuva, nas paradas de manutenção previstas ou de emergência (CHAVES & FERREIRA, 1996 – apud GUARANYS, 2013). É necessário pontuar também a importante função das pilhas de produto no processo de aguardo ao transporte seja rodoviário, ferroviário ou marítimo.

De maneira que se compreende a importância de tais estruturas, se mostra necessário melhor compreender mecanismos de ruptura e possíveis incidentes nestas pilhas, visando buscar uma maior segurança operacional para colaboradores, equipamentos e o processo em si.

O presente artigo aborda a análise dos teores de manganês, alumina e umidade no minério que constitui uma pilha de produto, resultado de um processo de beneficiamento a seco, com diferentes origens de material, visando compreender sua influência na estabilidade e segurança operacional.

## 2 DESCRIÇÃO DO EVENTO

O incidente que baseia tal análise ocorreu durante período chuvoso (final de 2022) no Quadrilátero Ferrífero (usualmente entre os meses de outubro e março), durante processo de retomada com carregadeira, no período noturno. A Figura 1 apresenta a pilha antes do incidente.



Figura 1. Pilha de produto foco deste estudo (Fonte: Autor, 2023).

A pilha em questão é formada por fino comum (material abaixo de 19 mm), possui formato de duplo-cone e possui parte em contato com talude natural. A pilha atinge alturas de aproximadamente 14 metros quando em capacidade total. De acordo com relato do operador, o material mobilizado chegou a atingir e deslocar o equipamento, sem causar dano pessoal ou material (Figura 2).



Figura 2. Imagem da pilha após o deslizamento de material (Fonte: Autor, 2022).

Imagens registradas explicitam a presença de material saturado na região de base da pilha, notadamente causados pela alta pluviometria registrada no período chuvoso (acima de 120 mm na semana que precedeu o ocorrido) e também a ausência de manutenção de drenagem superficial na região.

Usualmente tal material apresenta dificuldade de manuseio, alto grau de umidade, teores considerados altos de manganês e alumina. De tal forma, optou-se por realizar análise de tal material e obter mais informações para basear recomendações operacionais e evitar outros incidentes.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 – Produtos e granulometria

De acordo com Augusto (2013), após o beneficiamento, os produtos (Figura 3) possuem características distintas, de acordo com sua classificação. São eles:

- Granulado (Lump ore): com granulometria entre 6,3mm e 31,7 mm e forma irregular;
- Sinter Feed: partículas variam entre 0,15 mm e 6,3 mm;
- Pellet Feed: partículas finas com granulometria abaixo de 0,15 mm.



Figura 3. Diferentes produtos de minério de ferro. (COSENTINO, 2018).

Além destes produtos, é usual se encontrar a produção denominada “fino comum”, que compreende diferentes granulometrias abaixo de 19 mm, como é o caso da pilha que origina este estudo. Desta forma, é importante compreender a relação de material com menor granulometria e os demais parâmetros.

#### 3.2 – Umidade

De acordo com Hawley e Cuning (2017), o teor de umidade dos materiais pode ser importante quando estes materiais contêm uma grande quantidade de finos e podem influenciar a resistência, o comportamento de consolidação e a condutividade hidráulica da pilha.

De acordo com trabalho desenvolvido por Moura (2021), pilhas de produto com maior grau de saturação apresentam redução do fator de segurança, como pode ser visto na Figura 4. A Figura 4 explicita os menores fatores de segurança obtidos a partir de materiais com maior grau de umidade (S). Devido a clara relação entre grau de umidade do material e a instabilidade da pilha, optou-se por verificar os dados de umidade e possíveis relações com outros parâmetros.

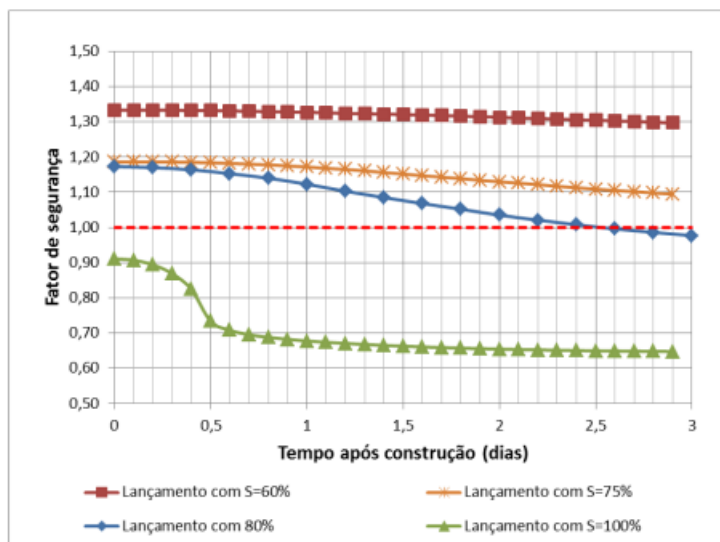


Figura 4: Comportamento do fator de segurança das pilhas de acordo com saturação do material e tempo de residência.

## 4 METODOLOGIA

A partir da inspeção local, foram coletadas amostras para análises laboratoriais. Além disso, a partir da base de dados disponibilizada pela equipe de Usina, foram realizadas diferentes análises para compreender o comportamento do material que compõe a pilha de peneirado a seco da Mutuca. No total, foram disponibilizados 88 dados de caracterização do material durante o período chuvoso, entre os dias 26/11/2022 e 25/03/2023, constando a umidade do material, teores químicos (alumina e manganês) e granulometria do material. Essas informações foram tratadas estatisticamente e posteriormente efetuadas relações entre os dados disponibilizados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Umidade

A partir dos dados foi possível inferir o alto grau de umidade do material, mesmo tendo origem de um beneficiamento a seco. Os dados apontam uma umidade média do material de 11,70%, com um mínimo de 6,88% e máximo de 19,59%. A Figura 5 explicita o número de amostrar com uma umidade considerada alta (acima de 11%)

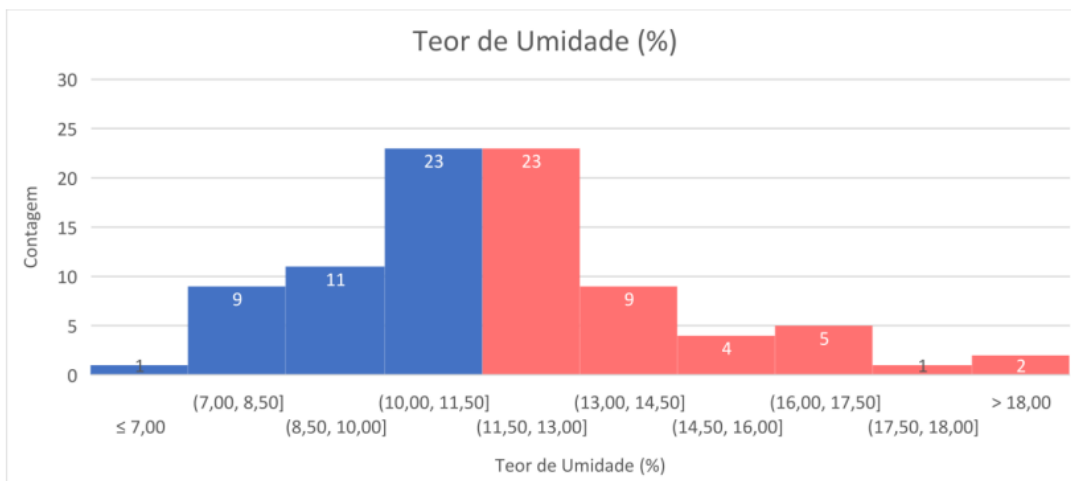


Figura 5. Distribuição de teor de umidade do produto.

Desta forma, é possível afirmar que o material em análise possui teor de umidade alto, que por si só já dificulta o manejo do mesmo visando o processo de empilhamento, mesmo sendo uma pilha de produto.

O teor médio de alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) identificado é de 3,62% nas amostras analisadas, com um valor mínimo de 0,63% e máximo de 6,80%. A distribuição dos teores pode ser verificada na Figura 6.

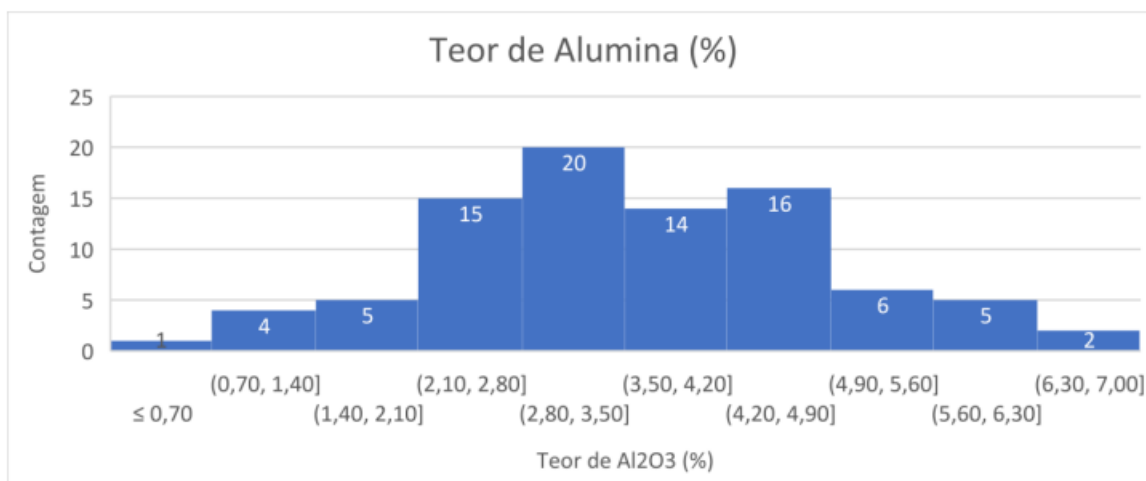


Figura 6. Distribuição de teor de alumina por amostra.

O teor médio de manganês (Mn) identificado é de 0,87% nas amostras analisadas, com um valor mínimo de 0,06% e máximo de 2,43%; a distribuição dos teores pode ser verificada na Figura 7.

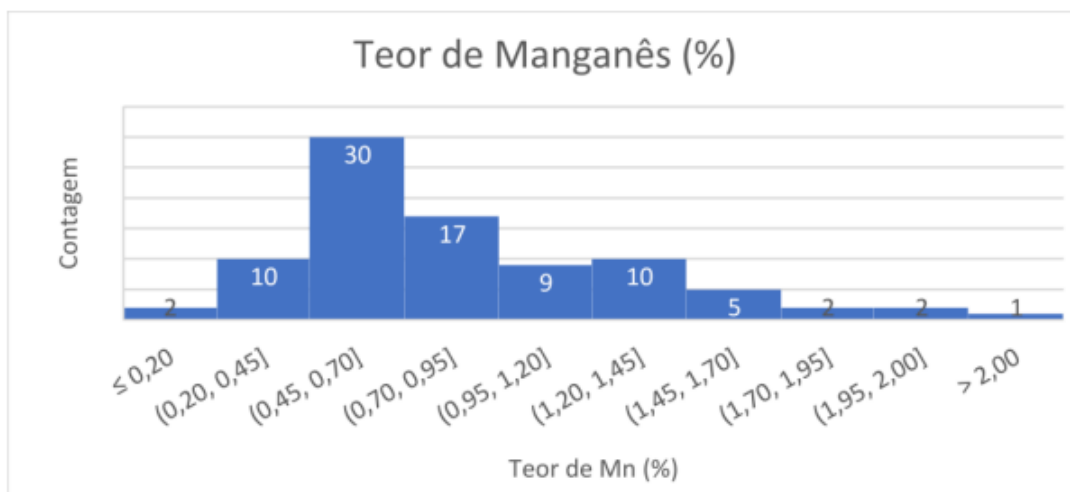


Figura 7. Distribuição de teor de manganês das amostras.

A partir dos dados obtidos, foram traçadas diferentes correlações entre os parâmetros analisados, através da correlação linear de Pearson. De acordo com Filho e Júnior (2009): “O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre variáveis”.

O coeficiente r varia de -1 a +1, de maneira que:

- $r = 1$  significa uma relação perfeita entre as variáveis (diretamente proporcionais);
- $r = -1$  significa uma relação perfeita (inversamente proporcional, uma variável aumenta e outra diminui);
- $r = 0$  significa que as variáveis não dependem linearmente uma da outra.

As relações ainda são classificadas de acordo com a força da correlação, sendo (DANCEY & REID (2005), apud FILHO & JÚNIOR (2009)):

- 0,1 a 0,3 – Fraco
- 0,3 a 0,7 – Moderado
- Acima de 0,7 – Forte

A partir dessas correlações, é possível verificar uma força moderada na correlação do aumento de Alumina e umidade ( $r = +0,59$ ) e também de manganês e umidade ( $r = +0,613$ ), como observado nas Figuras 8 e 9.

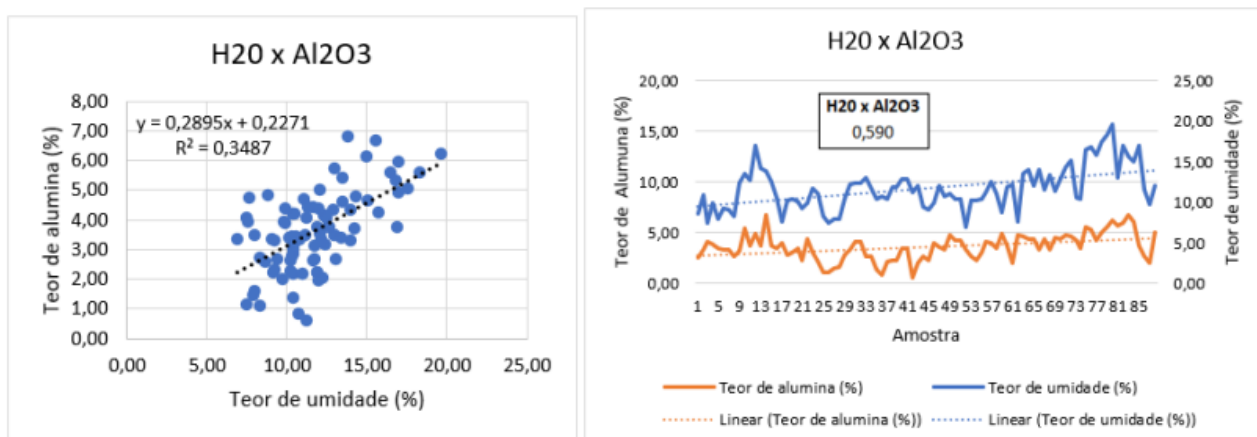


Figura 8. Relação entre umidade e alumina.

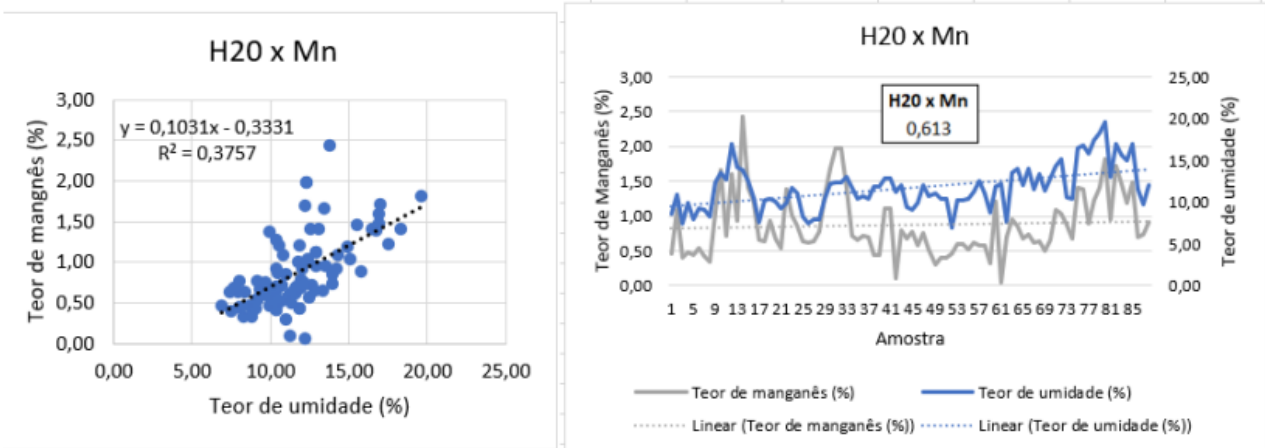


Figura 9. Correlação entre umidade e manganês.

A partir dos resultados pode-se concluir que existe uma tendência de aumento de umidade com o aumento da presença de alumina e manganês para os materiais presentes na pilha de produto. Existe também a correlação entre os dois teores, havendo um coeficiente  $r = +0,532$  para os teores de Al e Mn (Figura 10).

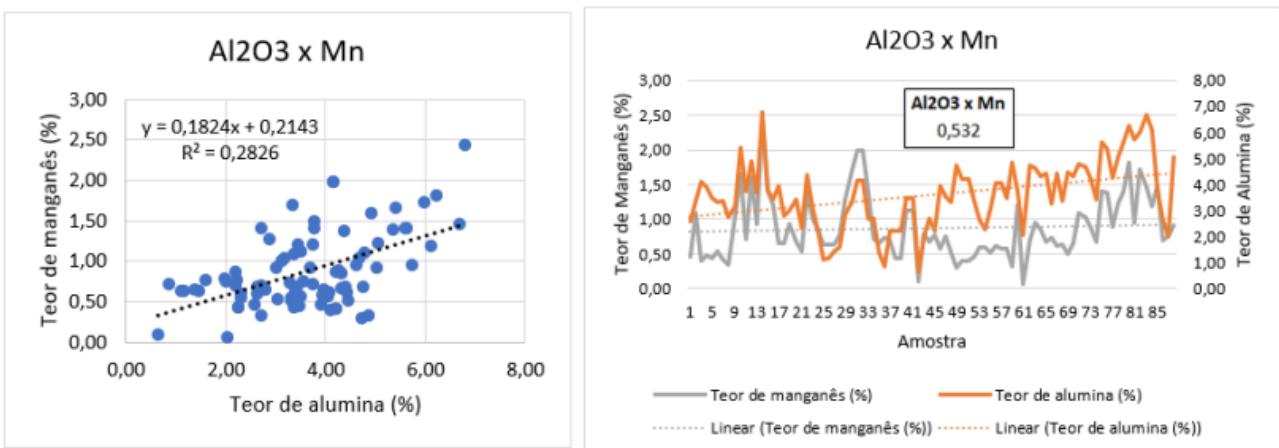


Figura 10. Correlação entre teores de manganês e alumina

Além dessas relações, foram verificadas as relações de manganês e alumina com a % de material abaixo de 0,5 mm (Figura 11).

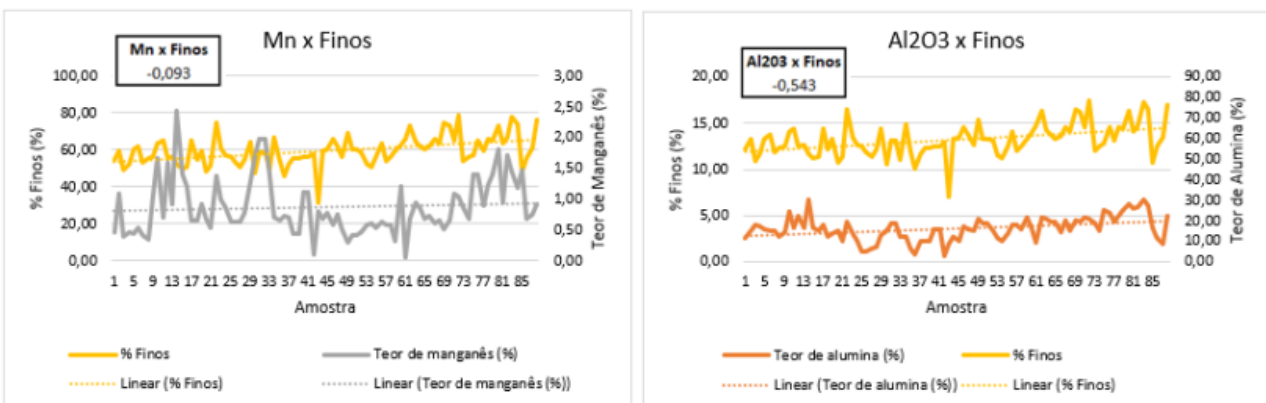


Figura 11. Correlação entre a % "finos" e teores de manganês e alumina.

A partir destas informações, percebe-se que o teor de manganês não tem relação diretamente linear com a granulometria do material. Entretanto, a alumina tende a aumentar em relação ao teor de finos de maneira inversamente proporcional. Quando é relacionada a porcentagem de finos e a umidade para a pilha de produto aparentemente não há uma relação bem definida, devido a variáveis que possam estar relacionadas ao processo de disposição e capacidade de infiltração da água na pilha, bem como a heterogeneidade do material. De toda forma, a partir do estudo desenvolvido, nota-se que a relação principal entre os teores de manganês e alumina é a tendência do aumento de umidade do material. Entretanto, é necessário ressaltar que os dados analisados se referem ao período chuvoso, mesma época do incidente ocorrido. Destaca-se o alto teor de umidade do material, mesmo vindo de um processo de beneficiamento a seco.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pilhas de produto se mostram estruturas sensíveis a questões de umidade. Desta forma, é essencial que o pátio de estocagem possua boas condições operacionais de drenagem e evite alagamentos e empoçamentos em sua extensão. Para tal, considera-se fundamental a manutenção da drenagem superficial na região da pilha e entornos, de maneira a diminuir a saturação da base da mesma.

Assim, é necessário respeitar os limites de empilhamento estabelecidos, de maneira a garantir uma operação mais segura. Com relação a utilização de equipamentos móveis, destaca-se a necessidade de utilização de equipamento com porte compatível a altura da pilha no momento da operação. A partir destas recomendações, pode-se ter um ganho efetivo com relação a segurança de pessoas e ativos

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hawley, M.; Cunning, J. (2017) *Mine Waste Dump and Stockpile Design*, CSIRO Publishing, Clayton South, Australia, 370 p.
- Augusto, K.S. (2013) *Identificação automática do grau de maturação de pelotas de minério de ferro*. Dissertação de Mestrado, Programa de PósGraduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, PUC-Rio 183 p.
- Cosentino, P. G. (2018) *Viragem de vagões de pellet feed de minério de ferro: Dispositivo de ensaio e modelagem*. Projeto de graduação. Escola Politécnica UFRJ, Engenharia Metalúrgica. 50p.
- Guarany, C. A. L. B. (2013) *Principais métodos de estocagem de minério de ferro: Uma abordagem teórica*. Perspectivas online: exatas & engenharia., Campos dos Goytacazes, 42-55 pg.
- Filho, D. B. F. e Júnior, J. A. da. S. (2009), *Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)\**, Revista Política Hoje, Vol. 18, n. 1, pg 115-146.
- Moura, A. L. (2021) *Estudo de parâmetros de controle necessários para garantir a estabilidade de pilhas de minério em pátios de estocagem*. Monografia (Especialização *latu sensu*) - Instituto Tecnológico Vale, 85p.