ANÁLISE EXPERIMENTAL DA EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE DE MINÉRIO DE FERRO EM MINERODUTOS COM DIFERENTES VELOCIDADES DE ESCOAMENTO

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF IRON ORE TRANSPORT IN SLURRY PIPELINES WITH DIFFERENT FLOW VELOCITIES

Gustavo Henrique Prata Franco, Isabella Vieira Moraes, Leonardo Henrique Saboya Dias dos Santos, Vitor da Silva Rosa e Nelize Maria de Almeida Coelho

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Química

Email para contato: im243915@alunos.unisanta.br, ls166209@alunos.unisanta.br e gf226772@alunos.unisanta.br

RESUMO – Este trabalho investiga o transporte de minério pellet de ferro em minerodutos, utilizando um sistema experimental para determinar a velocidade ideal que maximize a eficiência do transporte. O estudo foi realizado com minério sínter feed de 0,015 mm, aplicado em um sistema de tubulação de 1" em PVC transparente. Os resultados mostraram que, ao aumentar a velocidade do escoamento, a quantidade de minério depositada na tubulação diminui, indicando uma maior eficiência no transporte. A análise de massa com os "fingers" revelaram uma distribuição desigual dos sólidos, com maior concentração no terço inferior da tubulação. Também foi observada uma diminuição da pressão ao longo do circuito, com variações mais acentuadas em velocidades elevadas. Esses achados ressaltam a importância de otimizar a velocidade de operação para garantir um transporte de minério eficiente e seguro, reduzindo a perda de carga e a deposição de sólidos.

Palavras-chave: Mineroduto; minério de ferro; sinter feed; transporte de minério.

ABSTRACT – This work investigates the transport of iron ore pellets in pipelines, using an experimental system to determine the ideal speed that maximizes transport efficiency. The study was carried out with 0.015 mm sinter feed ore, applied to a 1" transparent PVC piping system. The results showed that, by increasing the flow speed, the amount of ore deposited in the piping decreases, indicating greater efficiency in transport. The mass analysis with the "fingers" revealed an uneven distributimn of solids, with a greater concentration in the lower third of the pipe. A decrease in pressure was also observed throughout the circuit, with more pronounced variations at high speeds. The findings highlight the importance of

optimizing operating speed to ensure efficient and safe ore transport, reducing load loss and solids deposition.

Keywords: Pipeline; iron ore; sinter feed; ore transportation.

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

1. INTRODUÇÃO

Mineroduto são tubulações que transportam sólidos em líquidos formando uma polpa com diferentes porcentagens de ferro e água. Atualmente no Brasil temos cinco minerodutos que somados totalizam de 1.336 Km e 601 dutos que resultam em um total de 19 mil km sendo o maior deles o Minas-Rio com 529km de extensão e com capacidade de transportar 26,5 milhões de toneladas por ano de minério de ferro. As principais vantagens da utilização de minerodutos são menos emissões de poluentes e baixo consumo energético.

Minerodutos são sistemas de transporte de minério que operam independentemente de condições climáticas, como chuvas, que poderiam afetar outros métodos de transporte. Eles possuem uma localização fixa, o que resulta em impactos ambientais mínimos durante a implantação e quase nulos durante a operação, diferentemente do transporte rodoviário ou ferroviário. Além disso, oferecem baixo risco de acidentes ambientais e humanos. Portanto, é fundamental estudar sua aplicação na indústria, considerando essas vantagens. [1]

“Embora o transporte de sólidos por tubulação não seja um campo novo, a partir dos anos 50 foram feitos esforços significativos para racionalizar a base de design para tais sistemas. Atualmente, há uma abundância de literatura sobre o assunto, embora muitos critérios ainda sejam semiempíricos. A maioria das aplicações até o momento foram em distâncias curtas, especialmente nos campos da engenharia de mineração e dragagem. O modo de transporte é utilizado para cinzas, carvão, concreto, produtos químicos e minérios metálicos.

O transporte de sólidos em tubulações horizontais varia conforme o tamanho das partículas e as condições do fluxo. Partículas menores que 0,04 mm formam uma suspensão homogênea na água, sem risco de assentamento, agindo como um novo fluido. Partículas entre 0,04 mm e 0,15 mm tendem a assentar, mas são mantidas em suspensão pela turbulência, formando uma mistura heterogênea. Partículas entre 0,15 mm e 1,5 mm podem ser transportadas em suspensão

ou por saltação (processo de transporte de carga sólida pelas águas correntes, no qual cada partícula se desloca por saltos sucessivos no fundo do leito do rio). Já partículas maiores que 1,5 mm são arrastadas ao longo do fundo ou seguem por saltação. O modo de transporte depende do tamanho, forma, densidade das partículas, concentração, velocidade do líquido e características da tubulação.” [2]

Neste estudo, investigaremos o transporte em minerodutos de ferro, com diferentes tamanhos de partículas de ferro e diferentes rotações de bomba.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma pesquisa experimental descritiva a fim de determinar a velocidade ideal para o transporte de minérios por mineroduto mais eficiente. Para tal, foi utilizado 1% de 44,3L de minério sínter feed de 0,015mm. A porcentagem de minério foi definida pelas equações (1) e (2):

$$Cv = \frac{Vs}{(Vs + Vl)} . 100 = \frac{\frac{ms}{\rho s}}{\left(\frac{ms}{\rho s} + \frac{ml}{\rho l}\right)} . 100 \quad (1)$$

$$\rho P = \frac{100}{\left(\frac{Cw}{\rho s} + \frac{100 - Cw}{\rho l}\right)} \quad (2)$$

Onde: Cv é a concentração volumétrica da polpa (%)

Cw é a concentração mássica da polpa (%)

Vs é o volume de sólido (m^3)

Vl é o volume de líquido (m^3)

ms é a massa de sólido (kg)

ml é a massa de líquido (kg)

ρs é a massa específica do sólido (kg/m^3)

ρl é a massa específica do líquido (kg/m^3)

ρP é a massa específica da polpa (kg/m^3)

Foram realizadas 4 rodadas do equipamento com 5 velocidades (rpm) diferentes.

A unidade experimental utilizada é composta por um sistema de tubulação de 1” em PVC transparente de 10 m de comprimento, sendo o trecho de avaliação com o comprimento aproximado de 4 m. Nesse trecho há 4 anéis piezométricos acoplados em piezômetros que realiza as tomadas de pressão e avalia a perda de carga no trecho. O transporte da polpa é promovido por uma bomba centrífuga de rotor aberto vinculada a um motor de 5 cv. O conjunto é acionado por um inversor de frequência que controla a rotação do motor e, consequentemente, a vazão de polpa sendo transportada. O tanque, operado conforme as condições de Rushton, está equipado com um impelidor do tipo axial de 2 pás inclinadas a 45º, o qual é acionado por um motor de $1/4$ hp também com controle de rotação/potência.

No final do trecho reto, há uma bifurcação em Y equipada com um conjunto de válvulas, que permite direcionar o fluxo tanto diretamente para o tanque de alimentação quanto para uma seção paralela. O tanque é operado de acordo com as condições estabelecidas por Rushton e está equipado com um impelidor axial de duas pás inclinadas a 45°. O acionamento é feito por um motor de 2 hp, que possui controle de rotação e potência fornecido pela empresa Varired Equipamentos Elétricos LTDA.

Para mapear com precisão a distribuição de sólidos ao longo da seção transversal da tubulação, será utilizado um equipamento denominado "finger". Este dispositivo, acoplado à saída do sistema, divide a seção transversal da tubulação em três partes distintas, direcionando cada fração do fluxo para compartimentos individuais. Dessa forma, é possível coletar amostras das três diferentes seções, permitindo uma análise detalhada da distribuição dos sólidos ao longo do escoamento.

Para coleta de dados de perda de carga, foram utilizadas 3 calhas, com a calha 1 de massa 4200g, a calha 2 de massa 4160g e a calha 3 de massa 4240g. Após a coleta da polpa através do finger, as calhas foram pesadas, descontando-se o peso de cada uma, e o tempo médio foi registrado utilizando três cronômetros distintos. Para determinar a quantidade de minério presente em cada seção, foi aplicada a técnica de filtragem a vácuo. Nesse procedimento, utilizou-se um Kitassato de 2 litros, um filtro Buchner de 150 mm, uma borracha para vedação

eficiente, papel de filtro quantitativo de 125 mm e uma bomba de vácuo da marca Prismatec, modelo 131 2VC.

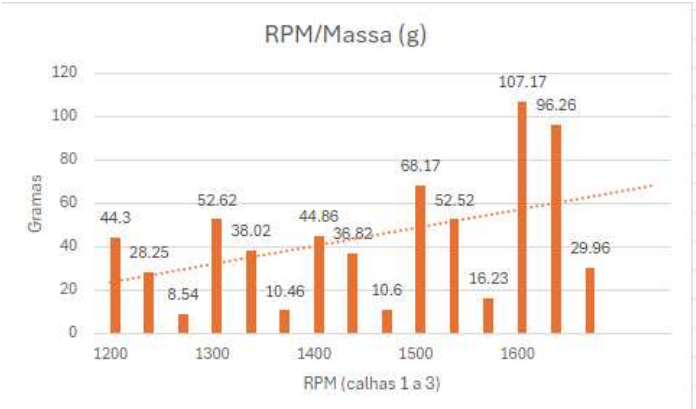
Dessa forma, com a diferença entre os pesos, foi possível determinar a quantidade de minério nas diferentes seções, além de avaliar a propagação da polpa durante o escoamento em cada rotação, variando de 1200 a 1600 rpm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi observado que quanto maior a velocidade, menor a quantidade de minério depositado no tubo, ou seja, maior a eficiência no transporte desse minério. Além disso, observou-se através do "finger" que, no $1/3$ de baixo do tubo, há mais minério do que nos outros $2/3$ do tubo; no $1/3$ do meio há mais movimentação de carga, logo mais líquido junto com minério são depositados na calha; no $1/3$ de cima há menos minério do que nos outros $2/3$. Nos piezômetros foi observado que ao longo do circuito a pressão diminui e quanto maior a velocidade, maior a variação de altura de um piezômetro para outro, ou seja, maior a diminuição da pressão.

No gráfico abaixo pode ser visto a tendência do sistema a depositar sempre mais minério na primeira calha e que ao aumentarmos a rotação carregamos mais pellets de ferro na tubulação, observe na figura a seguir uma das rodadas experimentais.

Figura 1: Gráfico das rotações por minuto por gramas de ferro (colunas da esquerda para a direita calhas 1 a 3 e seus pesos escritos em cima.)



4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que o aumento da velocidade do fluido no mineroduto resultou em uma menor deposição de sólidos, indicando maior eficiência no transporte do minério. A análise espacial com o uso do "finger" revelou uma distribuição não homogênea dos sólidos, com maior concentração no terço inferior da tubulação, enquanto o terço médio apresentou maior movimentação de fluido e sólidos. Nos piezômetros, verificou-se que a pressão diminui ao longo do circuito, sendo essa variação mais acentuada com o aumento da velocidade de escoamento. Dessa forma, conclui-se que a otimização da velocidade de transporte é crucial para maximizar a eficiência do sistema e minimizar a perda de carga, contribuindo para um transporte de minério mais eficiente e seguro.

5. REFERÊNCIAS

1. BRANDT MEIO AMBIENTE. **MINERODUTO FERROUS MINAS GERAIS, RIO DE JANEIRO E ESPÍRITO SANTO**: estudo de impactos ambientais (eia). Nova Lima, 2010.
2. DAVID STEPHENSON. Elsevier. **Introduction To Solids Piping**. 1976. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0167-5648(08)70847-5. Acesso em: 04 set. 2024.