



15º Congresso Nacional de Iniciação Científica

TÍTULO: DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA VELOCIDADE DE DEPOSIÇÃO DE AREIA EM UNIDADE PILOTO DO MINERODUTO

CATEGORIA: CONCLUÍDO

ÁREA: ENGENHARIAS E ARQUITETURA

SUBÁREA: ENGENHARIAS

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

AUTOR(ES): FERNANDA LOUREIRO LEMES, ALLANA HELEN MACHADO, ANDRÉ VIEIRA KÜHN, CAMERINO BORGONOVİ DE OLIVEIRA SANTOS, CIRO HENRIQUE C. TEIXEIRA, DANIELA DA SILVA RENDEIRO, FABIO ROBERTO SILVA ESCALHÃO, WESLEY MARTINS DOMINGUES

ORIENTADOR(ES): ALVARO BENATTI DE AMORIM, DEOVALDO DE MORAES JÚNIOR, MARLENE SILVA DE MORAES

Realização:



Apoio:



1. RESUMO

A utilização de mineroduto em indústrias minero-metalúrgicas é de suma importância para transporte de sólidos em suspensão na forma de partículas e britas, a média e longa distâncias. Neste equipamento é feito o transporte de sólidos granulados como areia, lascas de madeira, carvão, minério de ferro, calcário, concentrados de cobre.

O mineroduto é de fácil instalação, podendo ser horizontal, inclinado ou vertical e possui baixo impacto ambiental por ser um sistema de transporte fechado sem contato do minério com a área externa. Entretanto, o material a ser deslocado no interior do duto, necessita estar em uma velocidade adequada a fim de evitar deposição, conseqüentemente acúmulo, perda de carga ou abrasão, causada pelo atrito ao se utilizar velocidades acima da ideal.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar a velocidade de deposição para transporte da areia em fluido água.

No estudo, foi utilizada uma unidade piloto de mineroduto projetada e construída no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília, composta por bomba centrífuga de 1 hp, dois piezômetros para leitura da perda de carga, um tanque de 50 litros e um impulsor axial com duas pás inclinadas a 45°. O minério transportado foi areia para construção civil nas concentrações volumétricas de 2% e 5% de areia.

A eficiência deste equipamento depende da perda de carga, da rotação da bomba centrífuga, da concentração, da velocidade de deposição e da granulometria.

Concluiu-se que a velocidade de deposição da areia foi de 1,22 (m/s) para 2% e de 1,75 (m/s) para 5% de concentração.

Palavras-chave: velocidade de deposição, perda de carga, concentração, minério e areia.

2. INTRODUÇÃO

A demanda por minério vem crescendo na atualidade, afim de suprir as necessidades sociais. O mineroduto é de suma importância em indústrias minero-metalúrgicas para transporte de sólidos. Tem como vantagem o baixo impacto ambiental, utilizando menos combustíveis fósseis; alta confiabilidade; flexibilidade na instalação em meio a obstáculos naturais; ser mais econômico e seguro e de mitigar riscos aos trabalhadores. No mineroduto os sólidos granulares são transportados pela injeção de um fluido líquido. As partículas em suspensão adquirem velocidade e percola à seção transversal. O fluxo de polpa mineral precisa estar com velocidade superior ao ponto crítico de deposição para que o material não sedimente no duto, evitando o arraste e conseqüentemente a obstrução da seção. Em contrapartida, em velocidades muito elevadas há atrito do minério e erosão da tubulação.

3. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo determinar a velocidade de deposição da areia em uma unidade piloto de mineroduto. O estudo teve como variáveis as concentrações volumétricas de 2% e 5% e rotação medida no eixo da bomba.

4. METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta o esboço da unidade de mineroduto em escala piloto, foi projetada e construída no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília.

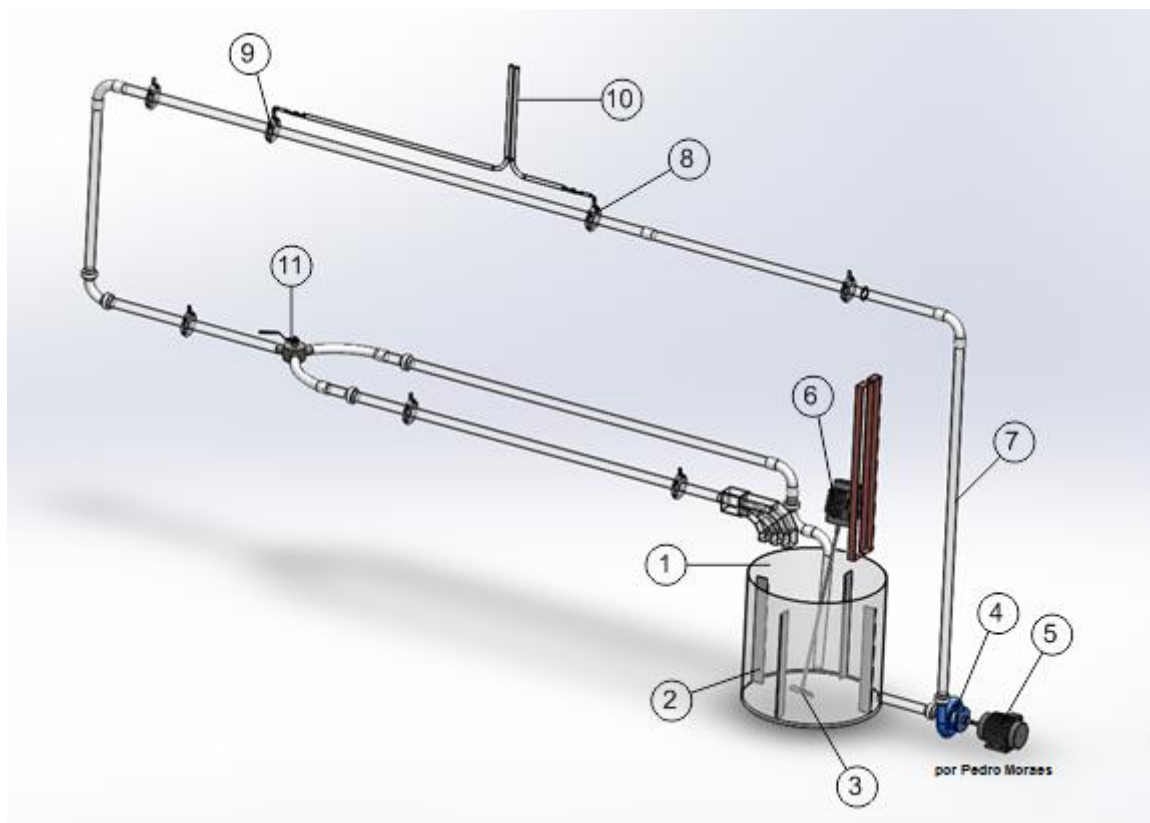


Figura 1 - Esboço da unidade experimental. 1) Tanque de acrílico cilíndrico com capacidade de 50 litros; 2) Chicanas; 3) Impulsor mecânico axial com duas pás inclinadas a 45°; 4) Bomba centrífuga (Jacuzzi – 3600 rpm); 5) Motor da bomba de 1 hp; 6) Motor elétrico do impulsor mecânico; 7) Tubulação ($D_n=1$ in); 8 e 9) Anéis piezométricos, sendo ponto 1 (P_1) e o 2 (P_2), respectivamente; 10) Piezômetro; 11) Válvula de 3 vias.

As chicanas foram essenciais para minimizar o surgimento de vórtice e melhorar a estabilidade mecânica do sistema e otimizar a função do misturador.

Iniciaram-se os ensaios com a classificação do sólido para determinar a granulometria. Utilizaram-se as peneiras da série Tyler (Mesh – quantidade de orifícios por polegada quadrada) de 16#, 32#, 50#, 100#, 200#, 400# e fundo.

As Figuras 2 e 3 apresentam a foto da unidade experimental e o fluxograma dos catorze experimentos realizados respectivamente.

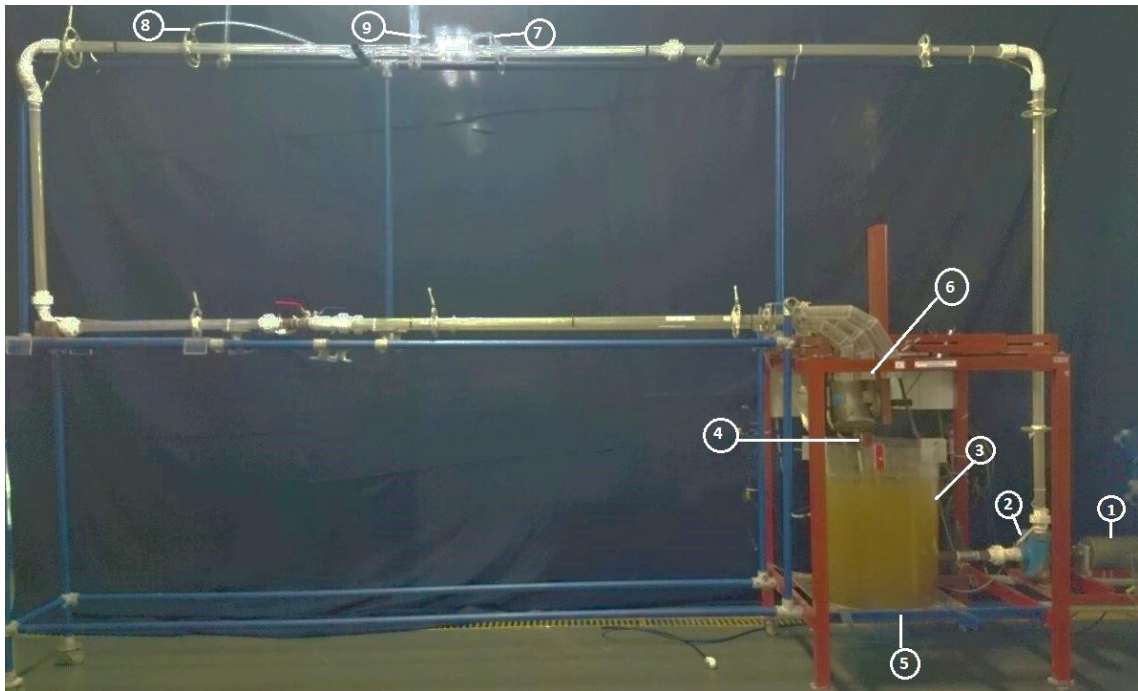


Figura 2 – Unidade experimental de mineroduto. 1) Motor da bomba; 2) Bomba centrífuga; 3) Tanque de acrílico; 4) Impulsor mecânico axial; 5) Suporte do tanque; 6) Saída da tubulação; 7 e 8) Anéis piezométricos; 9) Piezômetro.

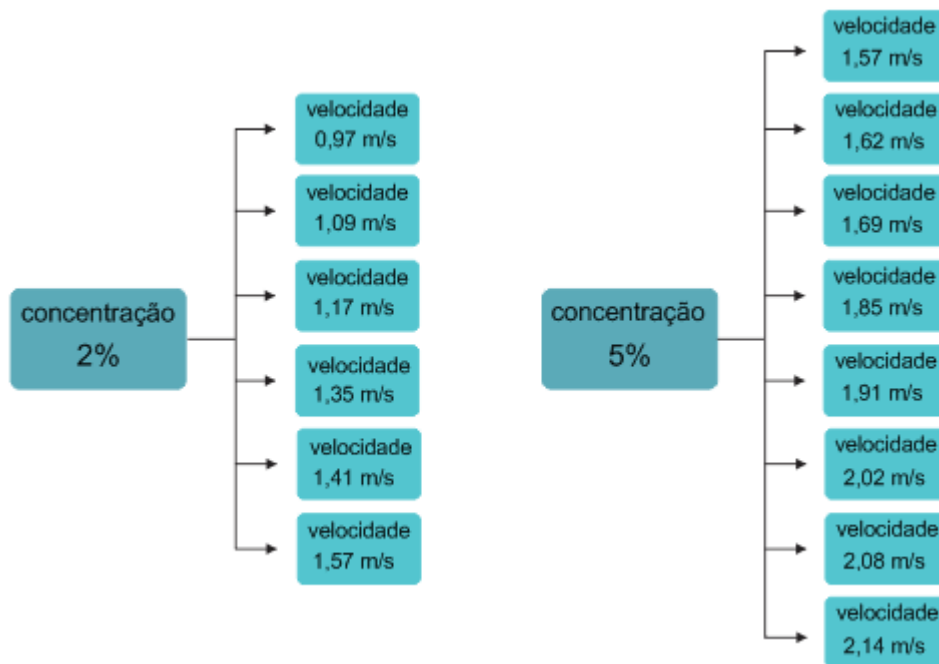


Figura 3 – Fluxograma dos catorze experimentos.

5. DESENVOLVIMENTO

Peneirou-se 100, 200 e 300 gramas de areia, com os tempos de 15 e 20 minutos para cada massa. Anotou-se as massas coletadas em cada peneira e calculou-se a porcentagem passante. (Equação 1).

$$PP = \frac{(m_{\text{total}} - m_{\text{retida}})}{m_{\text{total}}} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo:

PP a porcentagem passante (%)

m_{total} a massa total (g)

m_{retida} a massa retida (g)

A porcentagem passante (massa que passou pelo mesh) serviu como base para obter graficamente o Fator de Durand (F_L – ordenada) com base no d_{50} (abscissa) e na curva das concentrações volumétricas padronizadas e calcular o coeficiente de uniformidade (C_u) dado pela Equação 2 (CHAVES, 2012).

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2)$$

Em que:

C_u é o coeficiente de uniformidade (adimensional)

d_{60} é o diâmetro da partícula de 60 % da porcentagem passante

d_{10} é o diâmetro da partícula de 10 % da porcentagem passante

As porcentagens passantes de 60%, 50% e 10% respectivamente foram obtidas por interpolação dos dados. Na Tabela 1 encontra-se a classificação da areia.

Tabela 1 - Classificação da areia quanto a uniformidade a partir do coeficiente de uniformidade (C_u), Chaves (2012).

$C_u \leq 5$	Muito Uniforme
$5 \leq C_u \leq 15$	Uniforme
$C_u > 15$	Não Uniforme

Na tabela 2 obtêm-se os valores do coeficiente de uniformidade calculados para cada massa, tempo e a classificação.

Tabela 2 - Coeficientes de uniformidade em relação ao tempo e classificação granulométrica da areia experimental.

Massas de areia (g)	Peneiramento 15 minutos	Peneiramento 20 minutos	Classificação
100	Cu= 3,67	Cu= 3,83	Muito uniforme
200	Cu= 3,77	Cu= 3,60	Muito uniforme
300	Cu= 3,85	Cu= 3,60	Muito uniforme

Com a classificação obteve-se fator de Duran, necessário para cálculo da velocidade de deposição.

Calculou-se a velocidade crítica de deposição pela Equação 3 definida por Durand (1953):

$$V_d = F_L \sqrt{2 g D \left(\frac{\rho_{\text{sólido}} - \rho_{\text{líquido}}}{\rho_{\text{sólido}}} \right)} \quad (3)$$

Sendo:

F_L o fator em função da granulometria e da diluição da polpa (adimensional)

D o diâmetro interno da tubulação (m)

ρ_s a massa específica do sólido (kgf/m³)

ρ_L a massa específica do líquido (kgf/m³)

g a aceleração da gravidade (m/s²)

V_d a velocidade de deposição (m/s)

Na tabela 3 encontra-se os dados utilizados para calcular a velocidade de deposição.

Tabela 3 - Dados para calcular da velocidade de deposição.

F_L p/ concentração 2%	1,180 (adimensional)
F_L p/ concentração 5%	1,360 (adimensional)
g (m/s ²)	9,810 (m/s ²)
D (m)	0,026 (m)
Densidade do sólido (kg/l)	2,650 (kg/l)
Densidade do líquido (kg/l)	1,000 (kg/l)

Observa-se na Equação 4 o cálculo da velocidade de deposição para concentração de 2%.

$$V_{d_{2\%}} = 1,18 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,026 \cdot \left(\frac{2,65 - 1,00}{1,00}\right)} \rightarrow V_{d_{2\%}} = 1,083 \text{ m/s} \quad (4)$$

Deve-se somar 0,3 e 0,5 à velocidade de deposição como fator de segurança, garantindo uma mistura sem deposição. A velocidade entre esses dois intervalos com e sem o fator de segurança seria o essencial para uma baixa perda de carga e uma melhor eficiência do processo. Caso a velocidade seja baixa ocorrerá a concentração de partículas na tubulação e se for alta, a perda de carga aumenta devido a turbulência gerada (CHAVES, 2012).

Para os ensaios feitos no equipamento, foram definidas as velocidades a serem utilizadas de acordo com a capacidade do mesmo e calculadas as massas necessárias de areia e água para as concentrações de 2 e 5%.

A perda de carga foi determinada pelo Balanço de energia mecânica (Equação 5) a partir da Figura 1.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \ell w_{1,2} \quad (5)$$

Em que:

P_1 e P_2 são as pressões absolutas (kgf/m²)

γ é o peso específico do fluido (kgf/m³)

v_1 e v_2 são as velocidades (m/s)

g é a aceleração da gravidade (m/s²)

z_1 e z_2 são as alturas em relação ao plano de referência (m)

H é o trabalho de eixo (m)

Analisando as hipóteses para cancelamento dos termos da Equação 5 chega-se a Equação 6: velocidades iguais, uma vez que o diâmetro não varia ao longo da tubulação ($v_1 = v_2$ então $\frac{v^2}{2g} = 0$); Tubo horizontal, ou seja, os termos referentes a carga potencial estão no mesmo plano horizontal de referência ($z_1 = z_2 = 0$) e trabalho de eixo é nulo entre os pontos analisados ($H=0$).

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + \ell w_{1,2} \quad (6)$$

O volume útil do tanque é 45,40L (usando a altura do nível e descontando o volume das chicanas) e foi utilizado para cálculo das concentrações em volume de 2 e 5% tendo massas de 2,40 e 6,01kg de areia; para 44,44 e 43,08kg de água respectivamente. A densidade da areia é de 2,65 e da água 1,00kg/l (PERRY & GREEN, 2008). A concentração foi verificada antes de do início de cada ensaio.

Para verificar a suspensão de sólido no fundo do tanque, foi utilizado o método de Zwietering (PAUL, E. L. et al, 2004) em que se observou a suspensão através de um espelho, averiguando se houve deposição por mais de 1 ou 2 segundos do sólido no mesmo ponto. A técnica de Baresi (1987) que consiste na coleta de uma amostra em 3 diferentes alturas (fundo, meio e topo do tanque) foi utilizada para calcular a concentração em cada ponto.

Posteriormente, foi preparada a polpa para concentração de 2% com as massas de água e areia já calculadas. Então, os ensaios foram realizados coletando a perda de carga para cada velocidade estudada. O mesmo procedimento foi realizado para concentração de 5%. Com esses pontos obtidos, foi construído o gráfico da perda de carga (cm) em função da velocidade (m/s).

6. RESULTADOS

O estudo teve como variáveis a concentração inicial no tanque e rotação do eixo da bomba, quando a velocidade aumenta, influi diretamente na abrasão dos sólidos com a parede interna da tubulação e quando diminui, resulta em deposição dos sólidos na parte inferior, sendo que ambas ocasionam variação na perda de carga.

A Tabela 4 apresenta os dados da velocidade e da perda de carga para as concentrações em volume de 2 e 5% de areia.

Tabela 4 – Dados da velocidade e da perda de carga.

Concentração de 2%		Concentração de 5%	
Velocidade (m/s)	Perda de Carga (cm)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (cm)
0,97	12,50	1,57	13,20
1,09	10,50	1,62	12,50
1,17	10,50	1,69	12,30
1,35	10,50	1,85	12,30
1,41	11,50	1,91	12,70
1,57	14,50	2,02	14,00
		2,08	15,00
		2,14	15,70

As velocidades que se encontram no ponto mínimo de cada parábola da Figura 4 apresentaram os melhores resultados, 1,22 m/s para a concentração de 2% e 1,75 m/s para 5%.

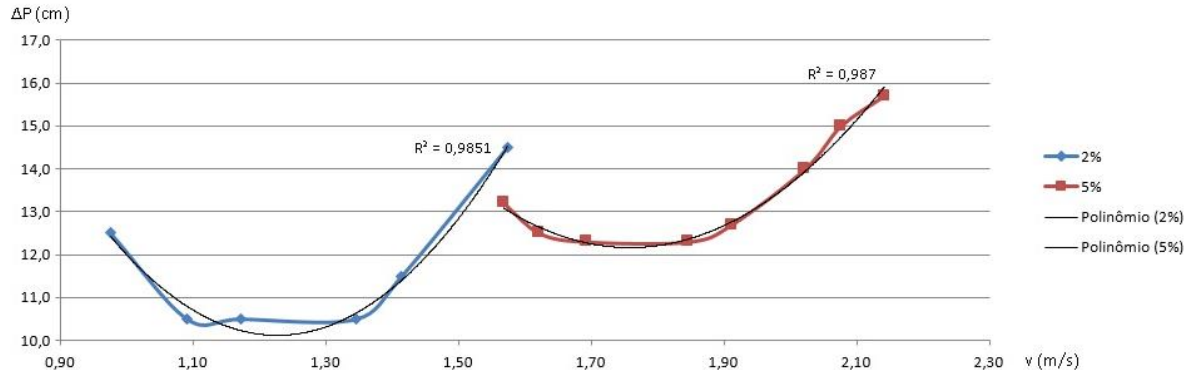


Figura 4 – Gráfico da perda de carga em função da velocidade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A velocidade ideal para transporte de areia em fluido que não ocorra a deposição obtidas através dos experimentos, para concentrações de 2 e 5% foram 1,22 e 1,75 m/s respectivamente, demonstrando estar de acordo com o fator de segurança para a concentração de 5%. Na Tabela 5 apresenta-se as velocidades teórica e experimental.

Tabela 5 - Velocidades ideal (teórica) e experimental

Fator de segurança (adimensional)	Concentração (%)	Velocidade de deposição com fator de segurança (m/s)	Velocidades ideais (m/s)
0,3	2	1,383	1,22
0,3	5	1,548	1,75
0,5	2	1,583	1,22
0,5	5	1,748	1,75

A análise dos resultados obtidos visou complementar os parâmetros a serem trabalhados como velocidade de deposição da areia com fator de segurança para as devidas concentrações trabalhadas, de modo a facilitar pesquisas futuras e auxiliar a aprendizagem do conteúdo apresentado para outras velocidades ideais para diferentes concentrações.

O estímulo de minero-metalúrgicas a investirem nessa tecnologia é essencial, visa o baixo custo e os benefícios apresentados, tanto para as empresas que a utilizam quanto para o meio ambiente, assim faz-se necessário identificar a velocidade ideal mitigando problemas de perda de carga e abrasão elevada na tubulação, tornando essa tecnologia mais eficiente e acessível.

8. FONTES CONSULTADAS

CHAVES, A. P.; Teoria de tratamento de minério. Bombeamento de polpa e classificação. Volume I. 4 ed. São Paulo: Oficina de Texto. 2012. 303p.

PAUL, E. L. et al; Handbook of Industrial Mixing. ed. Wiley-Interscience. 2004. 1377p.

PERRY, R. H. GREEN, D. W. Perry's Chemical Engineers' handbook, 8thh Ed., New York, McGraw-Hill, 2008.