



16º Congresso Nacional de Iniciação Científica

TÍTULO: BOMBEAMENTO DE POLPA: CURVA EXPERIMENTAL DA PERDA DE CARGA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E VISCOSIDADE APARENTE DE SUSPENSÕES DE AREIA EM ÁGUA

CATEGORIA: CONCLUÍDO

ÁREA: ENGENHARIAS E ARQUITETURA

SUBÁREA: ENGENHARIAS

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

AUTOR(ES): MONIZE PICININI, DIOGO KENSUKE UEHARA, GUILHERME BIGUETHI VERONEZI, GUSTAVO ACOSTA MACEDO, JEYSON FERREIRA ALVES, LARISSA GONÇALVES DE CARVALHO

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

COLABORADOR(ES): ALVARO BENATTI DE AMORIM

Realização:



Apoio:



1. RESUMO

O estudo da velocidade de sólido particulado suspenso em água no interior de um duto é de suma importância para mitigar o desgaste da tubulação e a deposição do material transportado. Sendo assim, a curva do gradiente da perda de carga em função da velocidade foi obtida em uma unidade piloto de mineroduto. Determinou-se também a viscosidade da polpa pelo diagrama de Moody. Foram realizados ensaios com a polpa de 2 e 5% em volume de areia em água. A unidade experimental consistiu de uma tubulação horizontal de PVC transparente de 1 in nominal, um tanque de acrílico 46,47 litros, equipada por um impulsor mecânico axial com duas pás a 45°, uma bomba centrífuga com rotor de 100 mm de diâmetro acoplada a um motor de 1 hp e duas colunas piezométricas, equidistantes de um 1 metro. O desvio entre a velocidade teórica e experimental foi de 28,79 e 28,98%, para as concentrações de 2 e 5% respectivamente. O desvio entre a viscosidade real e aparente foi de 4,3%.

2. INTRODUÇÃO

O mineroduto é um meio de transportar sólidos particulados como ferro, cobre, zinco, carvão e bauxita suspensos em água através de dutos. Dependendo do particulado transportado outros líquidos como salmoura, álcool etílico e metanol também podem ser utilizados.

O mineroduto é de relevante importância na indústria, e revelou ser uma opção válida perante os meios tradicionais. Tal alternativa ganha destaque quando se trata de longas distâncias, principalmente quando comparada ao uso de transportes ferroviário e rodoviário.

Como desvantagem em relação a outros meios de transporte é o seu alto custo inicial, bem como a inexistência de flexibilidade de destinos, uma vez construído torna-se inviável a mudança de sua rota. No entanto, a longo prazo o processo apresenta custo benefício, baixo impacto ambiental, devido à baixa emissão de poluentes para a atmosfera, além de não apresentar perda de material para o meio. (CHAVES, 2002)

3. OBJETIVO

O trabalho teve por objetivo determinar a curva da perda de carga em função da velocidade em unidade piloto de mineroduto, para as concentrações de 2 e 5% de areia em volume.

4. METODOLOGIA

A remoção da umidade da areia, foi feita por amostras colocadas em bandejas e levadas a estufa, na temperatura de 150°C até massa constante.

A granulometria da areia foi obtida por meio de peneiras de 16, 32, 50, 100, 200 e 400 mesh, com 100, 200 e 300g de amostra.

A velocidade crítica de deposição (V_D) em m/s foi obtida pela Equação 1 de Durand recomendada por Chaves (2002).

$$V_D = FL \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot D \cdot \left(\frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l} \right) \right]} \quad (1)$$

Sendo

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

g a aceleração da gravidade (m/s^2);

D o diâmetro interno da tubulação (m);

ρ_s a massa específica da areia (kg/m^3);

ρ_l a massa específica do líquido de transporte (kg/m^3).

O fator FL foi quantificado por gráfico de material uniforme entrando-se com o diâmetro da areia que passa 50% e a sua concentração. O Coeficiente de Uniformidade (CU) foi determinado pela relação entre o diâmetro que passa 60% da areia e o que passa 10% (Equação 2).

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

Sendo $CU < 5$ muito uniforme, $5 \leq CU < 15$ uniforme e $CU \geq 15$ não uniforme.

Realizou-se ensaios com água para se obter parâmetros para comparações com a polpa. A perda de carga foi obtida através da equação de Fair-Whipple-Hsiao, como demonstrado na Equação 3. (MORAES, MORAES, 2011)

$$hf = 0,00086.L.\frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (3)$$

Em que

hf é a perda de carga (m);

L é o comprimento da tubulação entre as tomadas de pressão (m);

Q é a vazão volumétrica obtida com dados de coleta (m^3/s);

D é o diâmetro interno medido por um paquímetro (m).

A princípio foi necessário definir a massa de areia e o volume de água em polpa, para se obter a mistura desejada com 2 e 5% em volume de areia. Feito isso foi determinado a velocidade ideal para que não ocorra deposição e desgaste da tubulação, e para fins comparativos calculou-se o desvio entre a velocidade obtida experimentalmente (Figura 1) e a teórica.

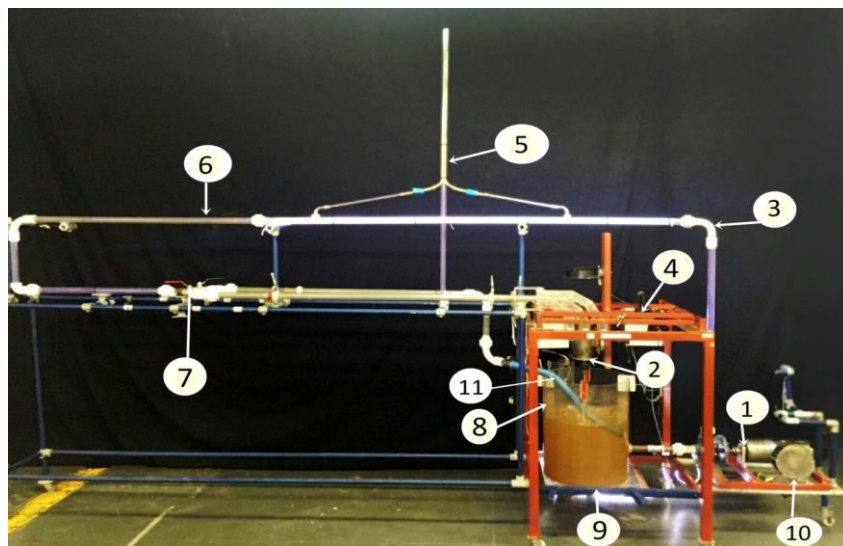


Figura 1: Unidade piloto de mineroduto. (1) Bomba centrífuga; (2) Impulsor mecânico; (3) Curva 90° PVC; (4) Inversor de frequência; (5) Piezômetros; (6) Tubulação PVC transparente de 1 in. nominal; (7) Válvulas de esfera; (8) 4 Chicanas; (9) Tanque de acrílico de 60,8 L; (10) Cooler; (11) Mangueira de coleta.

Por fim averiguou-se a viscosidade aparente através do fator de atrito dado por Darcy e o número de Reynolds por Colebrook. Calculou-se o desvio entre a viscosidade real e aparente.

5. DESENVOLVIMENTO

Pode-se observar nas Tabelas 1, 2 e 3 a distribuição granulométrica para 100, 200 e 300 gramas, respectivamente. O coeficiente de uniformidade para a amostra de 100, 200 e 300 gramas foi de 4,31; 4,12 e 2,80, respectivamente.

Tabela 1: Distribuição granulométrica para 100 g de amostra.

Mesh	Abertura (mm)	Peso Cheio (g)	Peso Vazio (g)	Massa (g)	% Retido	% Passante
16	1,19	450,8	425,22	25,58	25,54	74,46
32	0,5	380,68	351,33	29,35	29,31	45,15
50	0,3	324,41	304,64	19,77	19,74	25,41
100	0,15	316,39	293,92	22,47	22,44	2,98
200	0,075	393,13	391	2,13	2,13	0,85
400	0,038	379,73	379,11	0,62	0,62	0,23
Fundo		366,57	366,34	0,23	0,23	0,00
				100,15		

$d_{10} = 0,197$ mm; $d_{50} = 0,614$ mm; $d_{60} = 0,850$ mm.

Tabela 2: Distribuição granulométrica para 200 g de amostra.

Mesh	Abertura (mm)	Peso Cheio (g)	Peso Vazio (g)	Massa (g)	% Retido	% Passante
16	1,19	470,25	425,08	45,17	22,15	77,85
32	0,5	410,68	351,3	59,38	29,12	48,73
50	0,3	346,29	304,59	41,7	20,45	28,29
100	0,15	343,14	293,91	49,23	24,14	4,15
200	0,075	397,34	390,98	6,36	3,12	1,03

Continua...

Tabela 2: Distribuição granulométrica para 200 g de amostra. (Continuação)

Mesh	Abertura (mm)	Peso Cheio (g)	Peso Vazio (g)	Massa (g)	% Retido	% Passante
400	0,038	380,88	379,13	1,75	0,86	0,17
Fundo		366,7	366,35	0,35	0,17	0,00
				203,94		

$d_{10} = 0,186 \text{ mm}$; $d_{50} = 0,530 \text{ mm}$; $d_{60} = 0,767 \text{ mm}$.

Tabela 3: Distribuição granulométrica para 300 g de amostra.

Mesh	Abertura (mm)	Peso Cheio (g)	Peso Vazio (g)	Massa (g)	% Retido	% Passante
16	1,19	495,54	425,09	70,45	23,50	76,50
32	0,5	433,71	351,48	82,23	27,43	49,07
50	0,3	365,86	304,68	61,18	20,41	28,66
100	0,15	368,21	293,99	74,22	24,76	3,90
200	0,075	398,9	391,03	7,87	2,63	1,27
400	0,038	380,97	379,08	1,89	0,63	0,64
Fundo		368,29	366,37	1,92	0,64	0,00
				299,76		

$d_{10} = 0,187 \text{ mm}$; $d_{50} = 0,523 \text{ mm}$; $d_{60} = 0,523 \text{ mm}$.

Com a média dos d_{50} de 0,556 mm foi possível encontrar um fator de Durand de 1,13 e 1,31 m/s para concentrações de 2 e 5% em volume, respectivamente. (CHAVES, 2002)

Por meio da Equação 1 calculou-se a velocidade de deposição.

$$V_D = 1,13 \sqrt{\left[2 \cdot 9,81 \cdot 0,027 \cdot \left(\frac{2650 - 1000}{1000} \right) \right]}$$

(4)

$$V_{D2\%} = 1,056 \text{ m/s}$$

$$V_D = 1,31 \sqrt{\left[2 \cdot 9,81 \cdot 0,027 \cdot \left(\frac{2650-1000}{1000} \right) \right]} \quad (5)$$

$$V_{D5\%} = 1,225 \text{ m/s}$$

A Tabela 4 fornece o resultado dos ensaios com apenas água na unidade experimental.

Tabela 4: Valores para cálculo da perda de carga da água e desvio.

Vazão (cm³/s)	Perda de carga pela Equação 3 (cm)	Perda de carga experimental (cm)	Desvio (%)
1098,90	17,72	16,50	7,41
1039,60	16,08	15,60	3,10
1010,40	15,30	14,10	9,29
924,50	13,10	14,10	7,11
816,70	10,54	9,70	8,69
1057,10	16,56	16,50	0,36

Segue nas Tabelas 5 e 6 os valores encontrados nos ensaios com a polpa de 2 e 5% em volume, respectivamente.

Tabela 5: Valores obtidos com a polpa de 2% em volume.

Perda de Carga (cm)	12,90	11,40	12,30	11,80	14,70	12,70	10,90
Vazão Mássica (kg/s)	0,91	0,82	0,80	0,89	0,96	0,79	0,83
Vazão Volumétrica (L/s)	0,89	0,79	0,77	0,87	0,91	0,77	0,82
Velocidade (m/s)	1,50	1,34	1,30	1,47	1,53	1,29	1,38
Densidade (Calculada) (kg/m³)	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
Densidade (Real) (kg/m³)	1,022	1,034	1,033	1,019	1,057	1,032	1,018
Desvio (%)	1,05	0,07	0,03	1,34	2,29	0,10	1,52

Tabela 6: Valores obtidos com a polpa de 5% em volume.

Perda de Carga (cm)	17,50	16,00	18,00	16,00	16,40	15,80
Vazão Mássica (kg/s)	0,93	1,03	1,08	0,99	0,97	0,99
Vazão Volumétrica (L/s)	0,87	0,97	1,01	0,92	0,90	0,93
Velocidade (m/s)	1,46	1,63	1,70	1,55	1,52	1,57
Densidade (Calculada) (kg/m ³)	1,083	1,083	1,083	1,083	1,083	1,083
Densidade (Real) (kg/m ³)	1,071	1,070	1,074	1,077	1,077	1,059
Desvio (%)	1,03	1,14	0,82	0,51	0,53	2,20

6. RESULTADOS

A partir dos resultados dos gráficos da Figura 2 e 3, os quais apresentam valores referentes a perda de carga, foi possível determinar o desvio da velocidade teórica e experimental para as concentrações de 2 e 5% em volume, respectivamente.

$$\text{Desvio}_{2\%} = \frac{1,056 - 1,36}{1,056} \cdot 100 \quad (6)$$

$$\text{Desvio}_{2\%} = 28,79 \%$$

$$\text{Desvio}_{5\%} = \frac{1,225 - 1,58}{1,225} \cdot 100 \quad (7)$$

$$\text{Desvio}_{5\%} = 28,98 \%$$

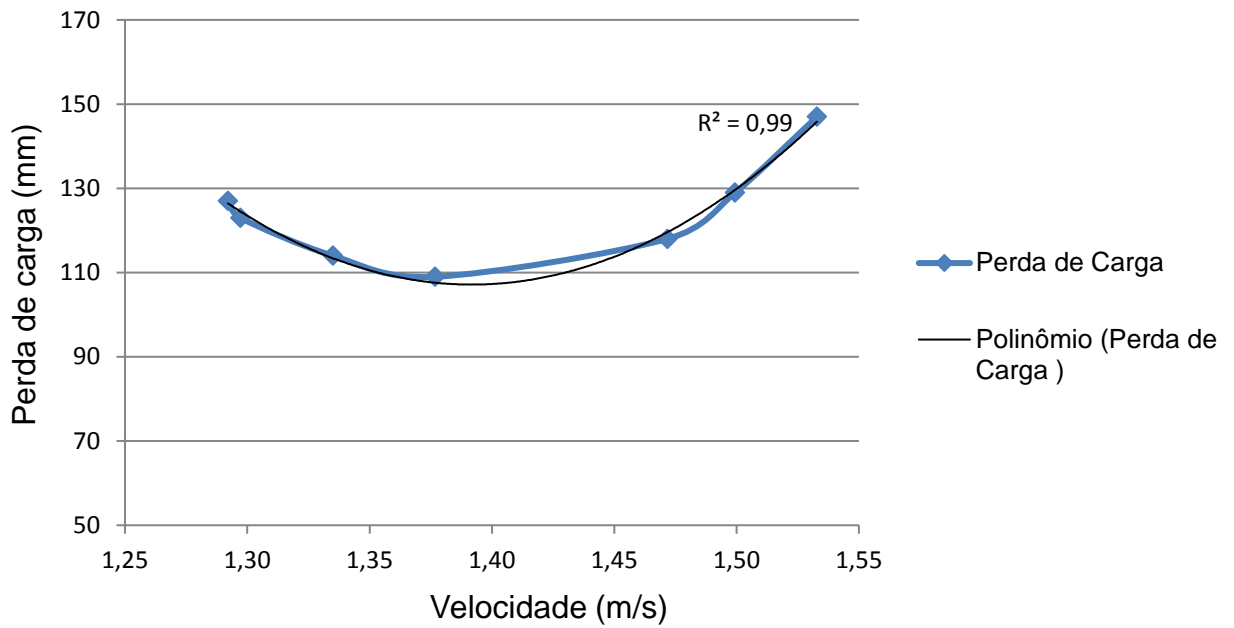


Figura 2: Perda de carga em função da velocidade média para 2% de areia.

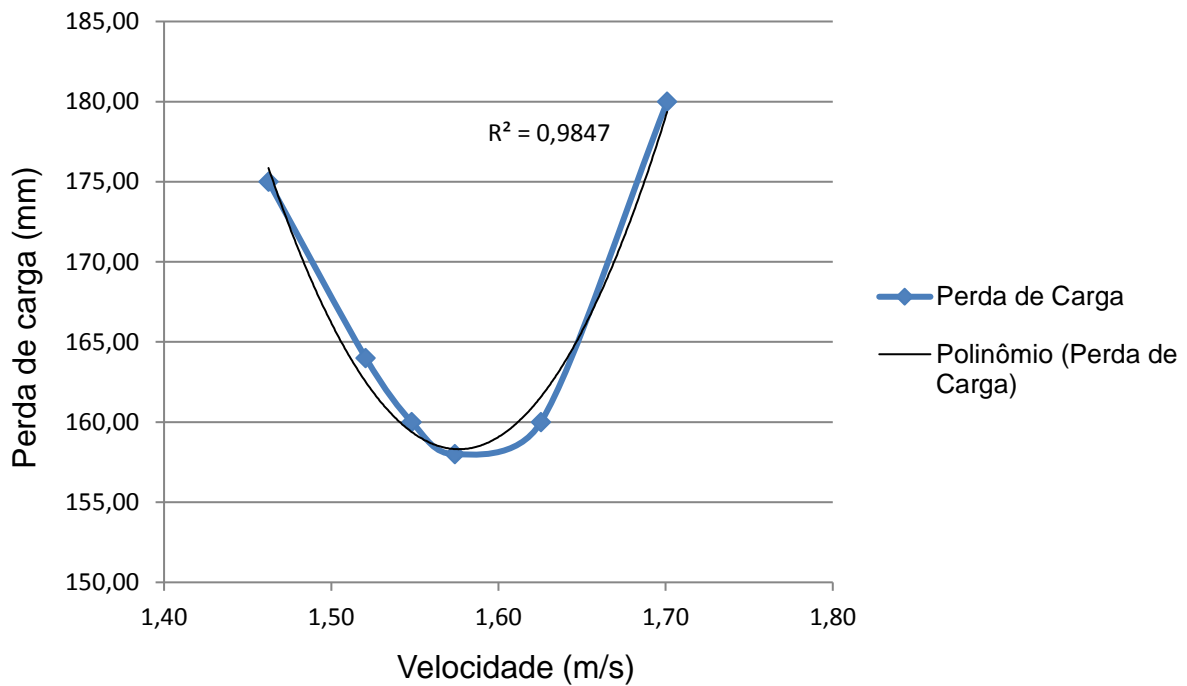


Figura 3: Perda de carga em função da velocidade média para 5% de areia.

A viscosidade aparente, primeiramente calculou-se o fator de atrito, sendo $f = 0,021$, e em seguida através da equação de Colebrook encontrou-se $Re = 46422,44$. Desse modo a viscosidade aparente foi obtida através da equação

do número de Reynolds, onde $\mu = 0,00095$ kg/m.s. Para fins comparativos encontrou-se o desvio de 4,3%. As velocidades experimentais de deposição 1,40 e 1,60 m/s e as obtidas por Durand foram de 1,056 e 1,225 m/s para 2 e 5% respectivamente.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho permitiu concluir que a concentração em polpa está diretamente relacionada com a perda de carga e velocidade, ou seja, quanto menor a concentração de areia em polpa, menor será a perda de carga e a velocidade. O desvio entre a velocidade teórica e a experimental para 2 e 5% em volume foi de 28,79 e 28,98%.

Obteve-se a viscosidade aparente da água para fins comparativos e um desvio de 4,3% com a velocidade real da água.

6. FONTES CONSULTADAS

CHAVES, Arthur Pinto. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios - 2 ed. São Paulo: Signus Editora - 2002.

MORAES JÚNIOR, Deovaldo; SILVA DE MORAES, Marlene. Laboratório de Operações Unitárias I, p. 3-5, 2011

LOPES, Marcos. Mineroduto: Vantagens e Desvantagens. Disponível em: <http://formatacaoabnt.blogspot.com.br/2011/10/referencias.html>. Acesso em: 22 abril. 2016.