

## DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE DINÂMICA ATRAVÉS DO BOMBEAMENTO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

Iuri Leomil de Barros\*, Matheus de Aragão Togni\*, Rodrigo Hidalgo Carreira\*, Denis Garcia Prudente\*, Gabriel Peculis Novoa\*, Paulo César de Castro\*, Rebeca Couto Saporito\*, Gabriel Peri dos Santos\*, Rodrigo Costa\*, Thiago Cesar de Souza Pinto\*\*, Deovaldo de Moraes Junior\*\*\*

\* Acadêmicos da Faculdade de Engenharias e Arquitetura e Urbanismo da Universidade Santa Cecília (UNISANTA), \*\*Doutorando, Engenharia de Minas e Petróleo/USP, \*\*\*Professor doutor, Engenharia Química. Universidade Santa Cecília, Santos.

Recebido em: 22/08/09 Aceito em: 05/10/09 Publicado em: 04/12/10

### RESUMO

Minérios em pó podem ser transportados por bombas em dutos com água. Este processo vem sendo cada vez mais utilizado devido as suas vantagens como: a) facilidade para vencer obstáculos naturais ou artificiais podendo ser construído na direção vertical, horizontal ou inclinado; b) segurança com o meio ambiente e c) baixo consumo de energia. Apesar da importância da operação citada, a literatura é carente de dados de projeto como a resistência da suspensão ao esforço cortante devido a coesão molecular (viscosidade). O presente trabalho teve por objetivo montar uma unidade experimental de bancada e propor um método para determinar a viscosidade de suspensão sólido/água pelo balanço de energia mecânica e diagrama de Moody. A unidade experimental consistiu basicamente de um tanque de acrílico com volume útil de 50L para reciclo e manutenção das partículas em suspensão, de uma bomba centrífuga de 1hp com rotação variável, manômetro em "U", tubulações e conexões de PVC transparente de 1". Os resultados indicaram que correlações clássicas (WASP, 1979) apresentam desvios de até mais de 100% em relação aos dados experimentais. Recomenda-se obter a viscosidade experimentalmente uma vez que as correlações para apatita e hematita em concentração de 5 e 10% (-100+150 Mesh Tyler) não consideram parâmetros nem sempre desprezíveis como a interação entre as moléculas, carga e acidez.

### 1. Introdução

Nos dias de hoje os meios de transporte mais utilizados são: ferroviário, marítimo, rodoviário e aéreo. Nas indústrias, os transportadores por correia e os elevadores de caneca são os equipamentos mais empregados. O bombeamento de suspensões, utilizando principalmente a água como fluido, vem ganhando espaço em diversas áreas, tais como: sanitária, química, mineração, fertilizante e alimentícia. A simplicidade das estações de bombeamento, capacidade de transportar grandes volumes, menor impacto ambiental e facilidade na logística, são algumas das vantagens desse sistema. Porém, existe a necessidade de conhecer o comportamento e as características do material transportado, através da reologia. (Chaves, 2006).

### 2. Objetivo

O presente trabalho teve como objetivo determinar a viscosidade dinâmica para suspensões de sólidos, através de operações de bombeamento.

### 3. Materiais e Métodos

A figura 1 apresenta uma vista da unidade experimental e figura 2 um esboço do sistema.

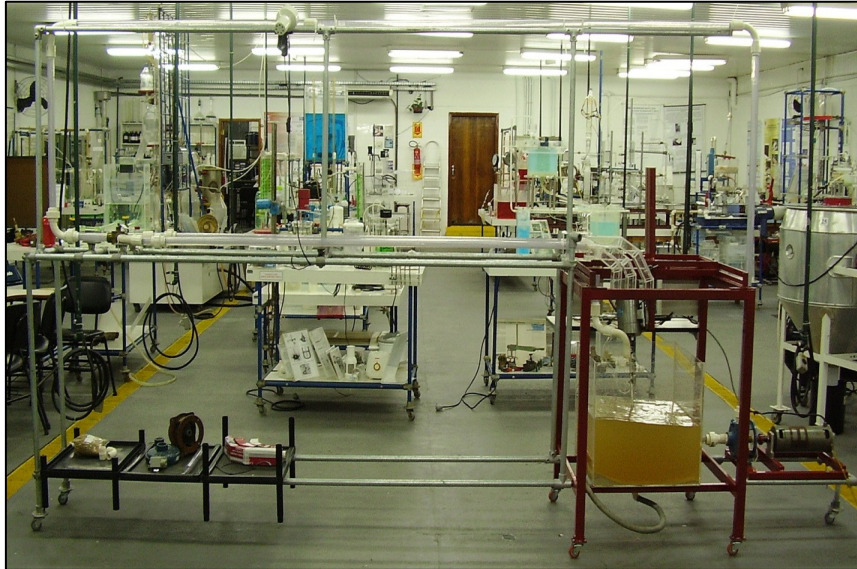


Figura 1: vista geral do equipamento

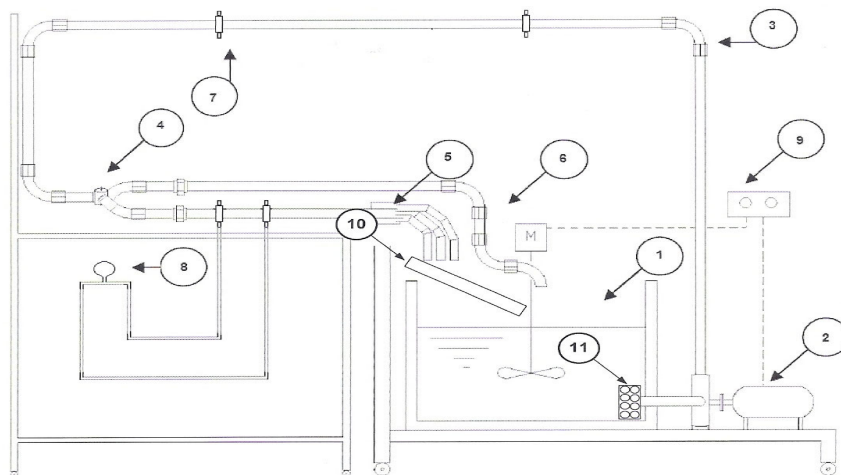


Figura 2. Esboço do sistema. 1) Tanque com agitação de acrílico com capacidade para 50 litros e agitador de pás axiais com motor de 0,5 hp e rotação máxima de 3600 rpm; 2) Bomba centrífuga com potência de 1 hp, rotação máxima de 3600 rpm, motor em balanço, rotor semi-aberto; 3) Tubulações e conexões de PVC transparente de 1" para acompanhar o comportamento do fluido em toda extensão. Conexões em PVC, curvas de raios longo para suavizar a perda de carga do sistema; 4) Válvula de três vias para direcionar o fluxo; 5) Calha para coleta de amostra; 6) Duto de retorno da mistura para o tanque; 7) Anel piezométrico para tomada de pressão do sistema, no trecho de tubo reto; 8) Manômetro em "U" com adição de ar no topo para reduzir a altura e facilitar a leitura; 9) Potenciômetro para variação da rotação do rotor da bomba e do impulsor mecânico; 10) Calha quebra jato utilizada para reduzir turbulências na saída do equipamento; 11) Tela quebra bolha para minimizar os efeitos da cavitação na bomba.

Resume-se a seguir o método experimental: adicionou-se água limpa no tanque e verificou-se o funcionamento do agitador mecânico e da existência de vazamentos. Retirou-se o ar das tubulações e do manômetro em "U". Adicionou-se a amostra preparada ao tanque de mistura com volume de 40L de água. Ligou-se o agitador por um minuto para homogeneizar a suspensão. Partiu-se a bomba, controlou-se a rotação da mesma para se obter uma vazão sem deposição visual de sólidos. Obteve-se a diferença de pressão entre dois anéis piezométricos no trecho reto, mediu-se a força por um dinamômetro gerada pelo braço do motor em balanço, cronometrou-se o tempo para coleta das amostras na calha de saída e mediu-se a rotação do eixo motor por tacômetro.

Obteve-se a perda de carga ( $\ell_w$ ) pela diferença de pressão entre dois pontos na horizontal (Balanço de energia mecânica) e o fator de atrito (f) pela fórmula universal de Darcy.(Gomide, 1993)

$$\ell_w = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

Em que:  $\ell_w$  é a perda de carga no tubo reto de seção circular constante; (f) o fator de atrito de

resistência ou coeficiente de atrito; L o comprimento do tubo reto; D o diâmetro interno do tubo; V a velocidade média do fluido; g a aceleração da gravidade.

Conhecendo-se o fator de atrito e com o auxílio do diagrama de Moody, (Perry,Green 2007) determinou-se o Número de Reynolds.

$$A \text{ partir do número de Reynolds, } N_{re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu},$$

sendo ( $\rho$ ) a massa específica, obteve-se a viscosidade ( $\mu$ ).

#### 4. Resultados e Discussões

Os ensaios foram realizados com apatita e hematita nas concentrações 5% e 10%. Os valores encontrados de viscosidade para cada concentração se mantiveram estáveis com o aumento da vazão. Alguns dos resultados experimentais de viscosidade, os valores comparativos com WASP (1979) e o desvio padrão estão nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 – Apatita 5%

Resultados Experimentais	$\mu$ (kg/(m.s))	$\mu$ (cP)
	$1,95 \cdot 10^{-3}$	1,95
	$1,70 \cdot 10^{-3}$	1,70
	$1,76 \cdot 10^{-3}$	1,76
	$1,73 \cdot 10^{-3}$	1,73
	$1,94 \cdot 10^{-3}$	1,94
$\mu$ média =	$1,81 \cdot 10^{-3}$	1,81
WASP, 1979		
$\mu_m =$	1,078	cP
Desvio padrão	52,04	%

Tabela 2 – Apatita 10%

Resultados Experimentais	$\mu$ (kg/(m.s))	$\mu$ (cP)
	$1,49.10^{-3}$	1,49
	$1,73.10^{-3}$	1,73
	$1,54.10^{-3}$	1,54
	$1,21.10^{-3}$	1,21
$\mu$ média =	$1,49.10^{-3}$	1,49
WASP, 1979		
$\mu_m$ =	1,134	cP
Desvio padrão	25,37	%

Tabela 3 – Hematita 5%

Resultados Experimentais	$\mu$ (kg/(m.s))	$\mu$ (cP)
	$2,52.10^{-3}$	2,52
	$2,61.10^{-3}$	2,61
	$2,38.10^{-3}$	2,38
$\mu$ média =	$2,50.10^{-3}$	2,50
WASP, 1979		
$\mu_m$ =	1,061	cP
Desvio padrão	101,97	%

Tabela 4 – Hematita 10%

Resultados Experimentais	$\mu$ (kg/(m.s))	$\mu$ (cP)
	$1,26.10^{-3}$	1,26
	$1,14.10^{-3}$	1,14
	$1,17.10^{-3}$	1,17
	$1,25.10^{-3}$	1,25
$\mu$ média =	$1,21.10^{-3}$	1,21
WASP, 1979		
$\mu_m$ =	1,095	cP
Desvio padrão	10,90	%

## 5. Conclusões

Em função dos elevados desvios dos experimentos com a equação mais utilizada para previsão, recomenda-se a continuidade de estudos para propor equações que forneçam resultados mais próximos da realidade.

## 6. Referências Bibliográficas

WASP. J.E., KENNY J.P. & GANDHI L.R. – Solid-Liquid Flow, Slurry Pipeline Transportation 1<sup>st</sup> Edition, Houston: Gulf Publishing Company,1979.

I. PERRY, ROBERTH H. II. GREEN, DON.W. – Perry`s Chemical Engineers, New York: Handbook 8<sup>th</sup> Edition, 2007.

ARTHUR P. CHAVES – Teoria e Prática do Tratamento de Minérios 3<sup>a</sup> Edição, São Paulo: Signus Editora, 2006.

REYNALDO GOMIDE – Operações Unitárias, São Paulo: R.Gomide, 1993..