

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED APPROACHES
TO WATER POLLUTION PROBLEMS
SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR DES SOLUTIONS INTÉGRÉES
POUR DES PROBLÈMES DE POLLUTION DE L'EAU
SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE SOLUÇÕES INTEGRADAS
PARA PROBLEMAS DE POLUIÇÃO DA ÁGUA

sisippa 89

COMPARAÇÃO DE DUAS ALTERNATIVAS PARA CONCENTRAÇÃO DE LAMAS INDUSTRIAIS

COMPARISON OF TWO ALTERNATIVES FOR CONCENTRATION OF INDUSTRIAL SLUDGE

Filomena Bartolomeu⁽¹⁾, Teresa Chambino⁽¹⁾, Manuel J.T. Carrondo⁽²⁾,
Rui M. Ganho⁽²⁾

RESUMO

Apresentam-se testes de sedimentação gravítica e centrífuga à escala laboratorial de lamas provenientes do tratamento de efluentes de galvanoplastia como duas alternativas para concentração de lamas industriais.

Como metodologia determinou-se a velocidade de queda das partículas pela acção respectivamente da aceleração gravítica e centrífuga estabelecendo-se a variação do fluxo de sólidos em função da concentração nos dois processos. Comparam-se os resultados mencionando-se as vantagens da selecção duma das alternativas.

Os testes e a metodologia desenvolvidas são aplicáveis a outras lamas de tratamento de efluentes, de produtos e processos químicos, agro-industriais e da indústria extractiva.

Propõe-se uma alteração à determinação do fluxo de sólidos compactados por acção da força centrífuga.

Palavras chave: Testes de sedimentação, testes de centrifugação, fluxo de sólidos, lamas de tratamento, efluentes industriais.

(1) Assistente de Investigação, Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (LNETI), Lisboa.

(2) Professor da Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica.

SUMMARY

An electroplating wastewater sludge was utilised to assess the applicability of two alternatives—gravitational and centrifugal sedimentation for dewatering industrial sludges.

The sludge gravitational and centrifugal settling velocity were determined with a bench scale thickener and centrifuge.

Comparison of data with bench scale equipment show satisfactory correlation.

The authors suggest a modification for the centrifugal solid flux determination.

Key words: Settling tests, centrifugation tests, bench scale thickener, solid flux, industrial wastewater sludge.

INTRODUÇÃO

A concentração das lamas provenientes de tratamento de efluentes absorve uma percentagem apreciável dos custos de exploração das estações de tratamento em mão de obra, transporte e descarga. Os principais problemas residem no alto conteúdo de água destas lamas, geralmente superior a 97%, e o seu grande volume, o que implica ocupação de considerável espaço útil.

Assim, as vantagens da separação sólido-líquido de lamas provenientes de tratamento de efluentes, de tratamento de esgotos urbanos e de processo industrial são essencialmente de nível económico, permitindo economia de espaço de transporte e de energia quando a lama se destina a deposição em aterro, incineração ou valorização, e a nível de ambiente, diminuindo a descarga de partículas sólidas nos meios receptores (causa de assoreamento dos rios) e a lixiviação nos solos quando a lama se destina a aterro.

Vários processos de separação sólido-líquido podem ser utilizados na redução do volume das lamas. A sedimentação gravítica tem sido desde há muito tempo adoptada devido, principalmente, aos baixos custos de operação envolvidos, tendo mais tarde surgido, entre outros, a aplicação de centrífugas para a concentração de lamas; as mais utilizadas são as centrífugas de eixo horizontal.

Nesta comunicação apresentamos a aplicabilidade de testes de sedimentação gravítica e centrífuga em modelos laboratoriais na estimativa de dados para dimensionamento de equipamento à escala real.

São indicadas duas vias alternativas para a resolução dum dos maiores problemas inerentes à diminuição da poluição quer industrial quer urbana.

TEORIA

Sedimentação zonada

A teoria fundamental da sedimentação tem por base a lei de Stokes, assumindo-se que a sedimentação de partículas discretas se processa em regime laminar.

No caso de suspensões de baixa concentração as partículas sedimentam independentemente. Aumentando a concentração atinge-se um ponto em que as partículas entram em contacto formando uma estrutura compacta. Englobadas nessa estrutura as partículas são forçadas a sedimentar com a mesma velocidade. Está-se perante o caso duma sedimentação de tipo zonado em que as partículas sólidas sedimentam como uma massa estabelecendo-se uma superfície de separação nítida entre o fluido sobrenadante e a massa de sólidos, deslocando-se a interface sólido-líquido no sentido descendente.

Segundo Kynch, Edeline (1987) considerou que a velocidade de sedimentação duma camada de partículas é apenas função da sua concentração, podendo ser determinada através da curva de sedimentação com base na variação da altura da interface sólido-líquido em função do tempo, sendo igual ao coeficiente angular do troço rectilíneo da curva de sedimentação que é dado por:

$$V_s = \frac{H_o}{t} \quad \text{Eq. (1)}$$

V_s - velocidade de sedimentação (m/s)

H_o - altura inicial da lama (m)

t - valor do tempo correspondente à intercepção da recta com o eixo das abcissas (s)

A capacidade de remoção de sólidos a uma dada concentração pela acção da gravidade, para uma velocidade de sedimentação V_s , considerada constante será igual a:

$$\varphi = C_o V_s \quad \text{Eq. (2)}$$

φ - fluxo de sólidos ($\text{g/m}^2\text{s}$)

C_o - Concentração inicial de sólidos (g/l)

Construindo-se a curva de fluxo de sólidos podem estabelecer-se, recorrendo ao método gráfico de Yoshioka, Dick (1972), as condições de funcionamento dum decantador permitindo obter uma concentração máxima de sólidos na lama espessada associada a uma área mínima capaz de garantir esse espessamento.

Embora sejam apontadas Dick (1972) afastamentos da teoria de Kynch em relação ao comportamento das lammas provenientes do tratamento de efluentes, esta teoria mantém-se como um modelo válido na interpretação do comportamento deste tipo de suspensões.

Sedimentação centrífuga

É possível analisar a centrifugação utilizando a teoria da sedimentação zonada assumindo-se que a separação sólido-líquido numa centrífuga é análoga ao processo de sedimentação gravítica apresentando-se como diferença básica a diferença de intensidade das forças motrizes da separação (aceleração centrífuga tem intensidade muito superior à aceleração da gravidade) comparando-se assim uma centrífuga de eixo horizontal a um tanque de espessamento gravítico altamente eficiente Ambler (1952), Ambler (1961) e Frampton (1963).

O campo de forças numa centrífuga é caracterizado pela reacção adimensional:

$$A_c = \frac{(r_1 + r_2) \omega^2}{2g} \quad \text{Eq. (3)}$$

sendo

A_c - a aceleração a que uma dada massa está submetida tomando g como unidade ($\times g$).

ω - velocidade de rotação da centrífuga (rad. s^{-1})

g - aceleração da gravidade (m.s^{-2})

r_1 - distância radial entre o eixo de rotação da centrífuga e a superfície da lama (m)

r_2 - distância radial do eixo de rotação da centrífuga à base do tubo de ensaio (m)

A aptidão duma lama à centrifugação pode ser determinada a partir de testes laboratoriais de centrifugação, determinando-se a velocidade de sedimentação centrífuga pela variação da altura da interface sólido-líquido em função do tempo, segundo a eq. 1.

A concentração final de sólidos compactados será dada por:

$$C_f = \frac{C_o H_o}{H_f} \quad \text{Eq. (4)}$$

sendo

- C_o - concentração inicial de sólidos (%)
- H_o - altura inicial da lama (cm)
- H_f - altura final da lama (cm)
- C_f - concentração final de sólidos (%)

O fluxo de sólidos compactados por centrifugação é determinado segundo a eq. 2 modificada para a concentração final de sólidos. Segundo Vesilind (1974), é possível utilizar o método de fluxo de sólidos para dimensionar uma centrífuga de eixo horizontal. Verificou-se experimentalmente que este método só é válido se o fluxo de sólidos compactados por centrifugação for determinado a partir da concentração final.

MATERIAIS E MÉTODOS

Origem e características da lama

A indústria de tratamento de superfícies origina elevado volume de águas residuais, com teores consideráveis de cianetos e metais pesados, cujo tratamento dá origem a lamas.

A lama testada é proveniente duma unidade de galvanoplastia tendo sido colhida à entrada do espessador. A sua caracterização compreendeu a determinação do pH e concentração de sólidos suspensos segundo o "Standard Methods", da composição química por absorção atômica e gravimetria e da análise granulométrica num analisador granulométrico - CILAS (Compagnie Industrielle des Lasers), modelo 75, com um laser de hélio-neon.

Testes de sedimentação gravítica e centrífuga

Os testes de sedimentação gravítica foram efectuados numa coluna cilíndrica de 3,5 l, altura 50 cm e diâmetro interno 10 cm, da Triton Electronics Ltd. A coluna está munida com um agitador que roda a cerca de 1 rev/min para atenuar o "efeito de parede". No laboratório as lamas foram concentradas por sedimentação e o sobrenadante foi utilizado para rediluir a lama nas diferentes concentrações requeridas Chambino (1988).

Os testes de sedimentação centrífuga foram efectuados numa centrífuga de Imagem Fixa "Frozen Image Centrifuge" da Triton Electronic Ltd. que está equipada com um estroboscópio sincronizado com a velocidade de rotação que permite obter a imagem do tubo de ensaio como se este estivesse parado. O rotor gira mantendo dois tubos de 10 cm³ (introduzidos nuns suportes metálicos com janela para permitir a observação) na posição horizontal.

O método experimental utilizado foi o seguinte:

- Após regulação da centrífuga para a velocidade angular desejada, introduz-se a lama sob agitação num tubo de ensaio até a uma dada altura, calibra-se a máquina com outro tubo de massa idêntica, liga-se a centrífuga registando a variação da interface sólido-líquido em função do tempo.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As características da lama são apresentadas na tabela 1.

TABELA:1 - Lama de tratamento de efluentes de galvanoplastia

Sólidos suspensos	1,823 %
Diâmetro médio das partículas	15,8 µm
pH	9,1

Composição química (base seca)

<u>Componente</u>	<u>% ponderal</u>
Perda ao rubro	27,60
Ferro (em Fe ₂ O ₃)	32,70
Zinco (em ZnO)	27,30
Cálcio (em CaO)	0,98
Cobre (CuO)	0,40
Níquel (NiO)	0,30
Potássio (em K ₂ O)	0,02
Cádmio (em CdO)	0,67
Chumbo (em PbO)	0,02
Titânio (em TiO ₂)	0,30
Crómio (em Cr ₂ O ₃)	3,95
Enxofre	0,68
Silica	4,40

Os resultados dos ensaios de sedimentação gravítica e sedimentação centrífuga efectuados às velocidades de rotação de 400, 500, 600, 700, 800, 900 e 1000 r.p.m. são apresentados na Fig. 1 e Tabela 2.

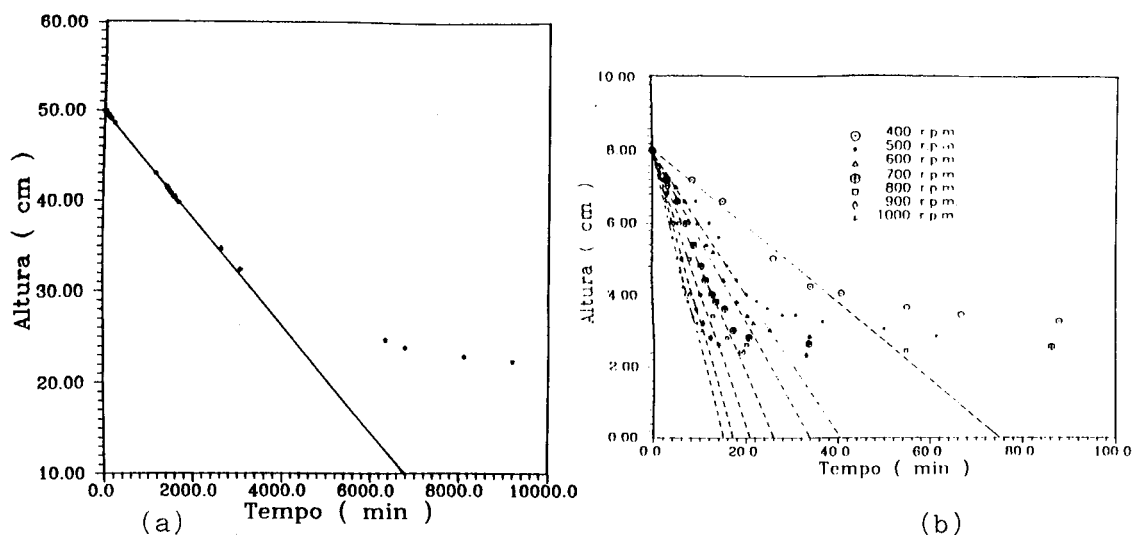


Fig. 1 - Variação da altura da interface sólido-líquido em função do tempo a-Sed. gravítica b-Sed.centrífuga

Tabela: 2 - Sedimentação centrífuga

Velocidade de rotação ω (r.p.m.)	Aceleração centrífuga $A_c(xg)$	Velocidade de sed.centrífuga v (cm.min ⁻¹)	Conc. de sólidos compactados C_f (%)
400	21,48	0,107	4,86
500	33,57	0,203	5,21
600	48,34	0,236	5,21
700	65,80	0,306	5,83
800	85,94	0,377	6,08
900	108,77	0,478	6,40

A lama de galvanoplastia sedimenta graviticamente à velocidade de $0,42 \cdot 10^{-2} \text{ mh}^{-1}$, obtendo-se uma concentração final de sólidos de 4,5% ao fim de três dias.

A velocidade de sedimentação centrífuga aumenta em função da elevação da velocidade de rotação da máquina, Tabela 2. A compactação centrífuga de sólidos mais elevada (6,4%) foi alcançada em 33 minutos a 900 r.p.m., à velocidade de sedimentação centrífuga de $0,29 \text{ mh}^{-1}$, como se previa, a lama sedimenta na centrífuga a uma velocidade cerca de 70 vezes superior à velocidade sob acção da gravidade.

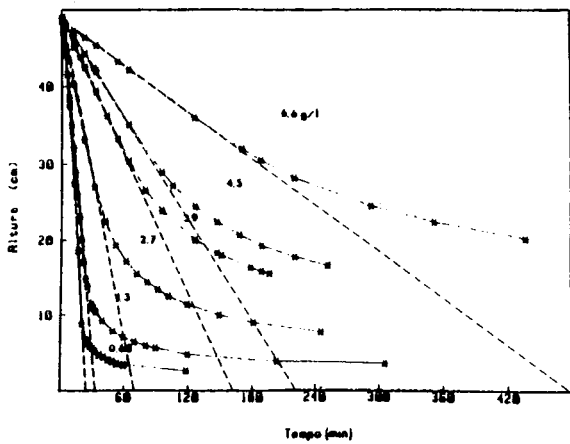
Efectuaram-se ensaios de sedimentação gravítica e centrífuga a 900 r.p.m., variando a concentração inicial da lama. Os resultados experimentais são apresentados nas Tabelas 3 e 4 e Fig. 2.

Tabela:3 - Sedimentação gravítica

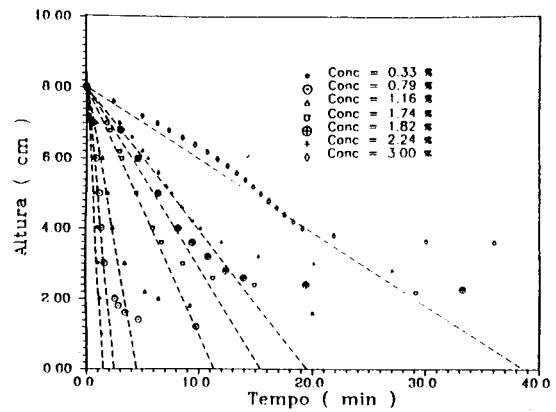
Conc.inicial de sol. C_o (%)	Veloc. de sed. gravít. $V(m\ h^{-1})$
0,07	1,36
0,13	0,87
0,27	0,42
0,39	0,18
0,45	0,14
0,66	0,06
0,11	0,01
0,20	$0,42 \cdot 10^{-2}$

Tabela:4 - Sedimentação centrífuga

Conc.inicial de sólidos C_o (%)	veloc.de sediment. centrif. $v(m\ h^{-1})$	conc.de compact. C_f (%)	Fluxo de sol.comp. $\phi_f (Kg\ m^{-2}\ h^{-1})$
0,33	2,74	2,63	72,20
0,79	1,83	5,25	96,34
1,16	1,06	5,82	61,46
1,74	0,43	6,32	27,11
1,82	0,33	6,40	20,79
2,24	0,25	6,40	16,07
2,97	0,13	6,70	8,58



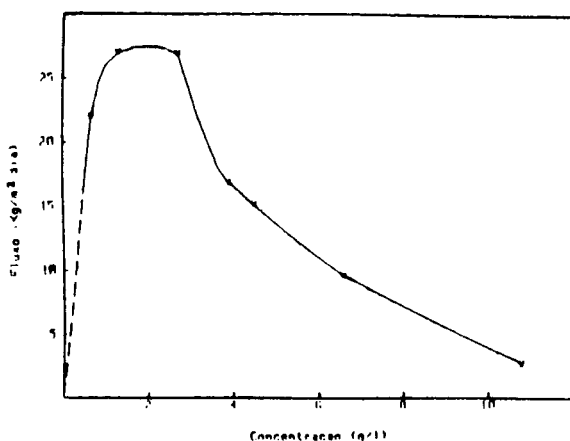
(a)



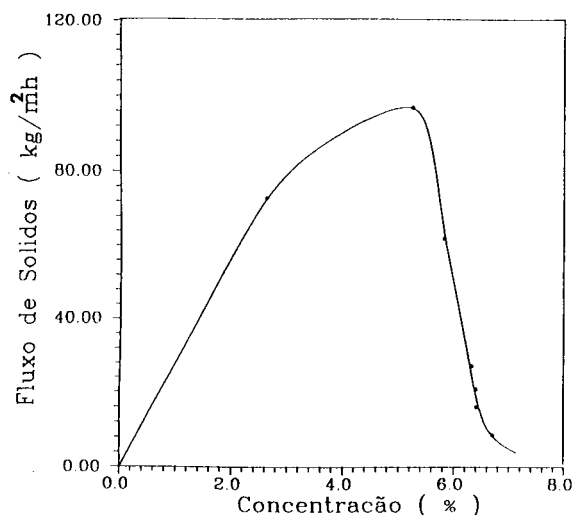
(b)

Fig. 2 - Variação da velocidade de sedimentação em função da concentração a-gravítica, b-centrífuga

Como se pode observar as curvas de sedimentação gravítica e centrífuga são semelhantes verificando-se que nos dois casos a velocidade de sedimentação diminui com o aumento de concentração de sólidos.



(a)



(b)

Fig. 3 - Variação do fluxo de sólidos em função da concentração, a-sedimentação gravítica, b-sedimentação centrífuga.

As duas curvas de fluxo de sólidos obtidas experimentalmente por sedimentação e centrifugação apresentam características comuns embora a diminuição de fluxo de sólidos, a partir do seu valor máximo em função do aumento da concentração seja muito mais evidente no caso da centrifugação.

DISCUSSÃO

Comparando o comportamento da lama submetida aos dois processos de separação sólido-líquido, verifica-se que a velocidade de sedimentação gravítica, de $0,242 \times 10^{-2} \text{ m.h}^{-1}$, é cerca de 70 vezes inferior à velocidade de sedimentação centrífuga, de $0,29 \text{ m.h}^{-1}$, alcançada à velocidade de rotação de 900 r.p.m. que corresponde à concentração final de sólidos mais elevada (6,4%).

Deve referir-se que segundo White (1975), a lama é de difícil sedimentação pois a sua velocidade de sedimentação gravítica é muito inferior a $0,5 \text{ m.h}^{-1}$.

Verificou-se em ambos os casos que a velocidade de queda dos sólidos diminui com o aumento da concentração de lama (Fig. 2).

As curvas de fluxo de sólidos estabelecidas para a sedimentação gravítica e centrífuga são comparáveis (Fig. 3) sendo também válidas para o dimensionamento respectivamente de espessadores gravíticos e centrífugas de eixo horizontal.

CONCLUSÕES

Utilizaram-se com êxito os processo de sedimentação gravítica e centrífuga na concentração de lama de tratamento de efluentes de galvanoplastia, sendo válida a teoria da sedimentação para a análise de ambos os casos.

Conclui-se que a separação por sedimentação centrífuga é mais eficaz (não comparando custos de energia e outros) por apresentar muito maior velocidade de separação (99% superior), alcançando uma concentração final de sólidos cerca de 30% mais elevada.

Simbologia	Dimensões
A_c - aceleração centrífuga	adimensional
C_o - concentração inicial de sólidos (%)	adimensional
C_f - concentração final de sólidos (%)	adimensional
g - aceleração da gravidade (m/s^2)	$L T^{-2}$
H_o - altura inicial da lama (m)	L
H_f - altura final da lama (m)	L
r_1 - distância radial entre o eixo de rotação da centrífuga e a superfície da lama (m)	L
r_2 - distância radial do eixo de rotação da centrífuga até à base do tubo de ensaio (m)	L
T - tempo (s)	T
V_s - velocidade de sedimentação (m/s)	LT^{-1}
ω - velocidade de rotação da centrífuga ($rad s^{-1}$)	T^{-1}
Q - fluxo de sólidos (Kg/m^2h)	$M L^{-2}T^{-1}$

BIBLIOGRAFIA

- Ambler, C.M. Chem. Eng. Progress, 48, 1952, pp. 150
- Ambler, C.M. Chem. Eng. Progress, 53 (6), January, 1961, pp. 430
- Chambino, Maria Teresa, Influência do Condicionamento Químico e da Sedimentação no Tratamento de Lamas Industriais, 1988.
- Dick, R.I., Gravity Thickening of Sewage Sludges, Wal. Pollut. Control, 1972, pp. 368.
- Edeline, F., Epuration Physico - Chimique des Eaux, Cebedoc Ed., 1987.
- Frampton, G.A., Evaluation of the Performance of Industrial Centrifuges, Chem. & Process. Eng. August 1963, pp. 402.
- Standard Methods for the Examination of the Wastewater, Anual Book of ASTM 1978
- Vesilind, P.A., Treatment and Disposal of Wastewater Sludges, Ann Arbor Science Inc., 1974.
- White, M.J.D., Technical Memorandum TM 103, Water Research Centre, 1975.