

COMPARAÇÃO NOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE ESPESADORES

F. A. V. Guimarães¹, G. E. S. Valadão², R. A. V. Costa³

¹Engenheiro de Minas M.Sc., Vale, Projeto Serra Sul,
Avenida de Ligação, s/n – Nova Lima, MG, e-mail: Filipe.Guimarães@vale.com

²Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais.
Av. Antônio Carlos 6627 – BH, MG, 31.270-901. e-mail: gvaladao@demin.ufmg.br

³Departamento de Produção Mineral, Licenciamento,
Praça Milton Campos 201 – BH, MG, 30.130-040. e-mail: Romel.Costa@dnpm.gov.br

RESUMO

O presente artigo discute as metodologias de dimensionamento de espessadores e provê uma comparação prática dos resultados obtidos nos testes laboratoriais com os equipamentos existentes industrialmente. Com a utilização dos três métodos mais difundidos para o cálculo de áreas necessárias para a sedimentação, Talmadge e Fitch, Oltmann e Coe e Clevenger, e utilizando o método de Wilhelm e Naide como item de controle para a determinação da confiabilidade dos dados obtidos nos ensaios de laboratório, foram redimensionados os espessadores industriais existentes na Mina do Pico de Itabirito, da Vale. Identificaram-se alguns pontos relevantes nas técnicas de dimensionamento de espessadores com a utilização dos métodos descritos, como a facilidade e coerência dos resultados, tendo em vista os espessadores existentes e os principais pontos de interferência na sedimentação.

Palavras-Chave: espessamento, dimensionamento, granulometria, viscosidade.

1 - INTRODUÇÃO

Com a crescente expansão das economias emergentes do mundo, cada vez mais se demanda, da mineração, o aumento da produção de bens metálicos para suprir a necessidades dos países em crescimento. Com o empobrecimento das jazidas, devido aos anos de exploração e ao atual ritmo frenético de exploração, maior a necessidade da utilização de processos de concentração nas usinas dos novos projetos. Juntamente com essa necessidade, vêm os processos que obrigatoriamente fazem uso da água em seu sistema. Com a crescente preocupação ambiental, fez-se necessário o uso de processos de separação sólido-líquido para recuperação de parte da água utilizada. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo mostrar que os principais métodos utilizados na indústria produzem semelhantes resultados e podem ser utilizados como métodos de dimensionamento dos espessadores industriais.

2 – OS MÉTODOS

2.1 – Método de Coe e Clevenger

Baseados na descrição do fenômeno de espessamento, conforme dados obtidos através de ensaios de batelada em provetas, Coe e Clevenger desenvolveram um método de dimensionamento que postula que a razão de espessamento é função exclusivamente da velocidade da partícula na zona de sedimentação livre. A velocidade de sedimentação, portanto, terá o mesmo valor no ensaio descontínuo e na operação contínua.

O método consiste na construção de curvas de sedimentação a partir dos ensaios de batelada em diversas concentrações, variando entre alimentação e concentração das lammas de underflow. A partir da determinação das velocidades de sedimentação, calcula-se a área unitária de espessamento através da fórmula:

$$q_s = \frac{v_{so}}{\frac{1}{\varepsilon_{so}} - \frac{1}{\varepsilon_{su}}} \quad (1)$$

Sendo q_s o fluxo de sólidos no sedimentador, v_{so} a velocidade inicial de sedimentação em um teste em batelada com concentração volumétrica de sólidos inicial ε_{so} e ε_{su} a concentração de lammas desejada. A capacidade do sistema será o menor valor encontrado para cada concentração testada.

Para o cálculo da área unitária, faz-se o inverso do valor de q_s , e a partir daí determina-se a área total do espessador com a tonelagem de massa a ser espessado.

Pode-se calcular a razão de espessamento utilizando as velocidades de sedimentação com a equação:

$$\text{Razão de espessamento} = 1,33 \times \frac{\% \text{ sól. da alim.} - \% \text{ sól. do UF}}{\text{Vel. de sedimentação} \times \text{dens. da polpa}} \quad (2)$$

Razão de espessamento em ton/m²/hora.

2.2 – Método de Talmadge e Fitch

Diferente do trabalho de Kynch, Talmadge e Fitch baseiam-se em um único ensaio de sedimentação para as condições desejadas e definem alguns parâmetros importantes com a curva de sedimentação, porém é basicamente o componente gráfico o responsável pelo dimensionamento.

Com o ensaio em batelada, determina-se o gráfico, traça-se uma reta tangente à curva de decantação e outra tangente à curva de compressão (VALADÃO, 2007). Essas curvas são separadas pelo ponto crítico, que é também o encontro da bissetriz das duas tangentes com a curva de sedimentação. Uma vez determinado o ponto de cruzamento das duas tangentes, traça-se a tangente passando pelo ponto crítico (figura 2.1).

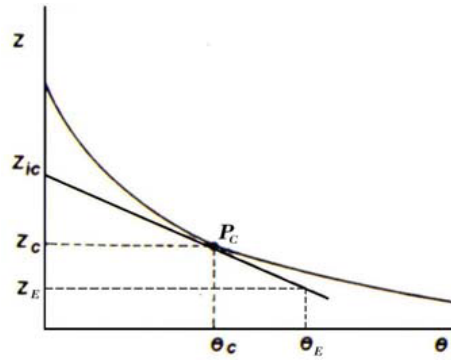


Figura 2.1– Método gráfico de Talmadge e Fitch

Localiza-se a altura de compressão através da fórmula:

$$z_E = \frac{z_o \cdot C_o}{C_E} \quad (3)$$

De posse dos gráficos construídos e do ponto crítico definido, identifica-se θ_E e, através da equação deduzida das equações descritas no método de Roberts, calcula-se a área:

$$S = \frac{Q_A \cdot C_A \cdot \theta_E}{z_o \cdot C_o} \quad (4)$$

2.3 – Método de Oltmann

Semelhante ao método de Talmadge e Fitch, o método de Oltmann utiliza apenas uma curva de sedimentação para a determinação dos parâmetros necessários para dimensionamento de espessadores contínuos.

$$H_U = \frac{C_o \cdot H_o}{C_U} \quad (5)$$

Em que:

C_o = concentração inicial de sólidos (kg/m^3);

H_o = altura da polpa no início do teste (m);

H_U = altura da interface para a concentração C_U (m).

A partir daí, encontra-se G através da equação:

$$G = \frac{C_o \cdot H_o}{T_U} \quad (6)$$

Onde:

T_U = tempo necessário para se atingir a concentração de underflow (C_U)

De posse de T_U , calcula-se a área total do espessador, considerando a alimentação de sólido seco.

Usa-se um fator de segurança de 1,20 para minimizar os erros, devido à compressibilidade do sólido.

De posse da área total de espessamento, pode-se calcular o diâmetro do espessador.

2.4 – Método de Wilhelm e Naide

Esses autores afirmam que os desvios entre os mecanismos aceitos até então e a realidade de operação industrial ocorrem devido a fenômenos ocorridos na zona de compressão.

Esse método consiste em discretizar a curva de espessamento, transformando-a em uma sucessão de segmentos de reta, e em calcular a velocidade de sedimentação em cada um dos trechos. Essa velocidade é função exponencial (do tipo $Y=aX^b$) da concentração média da polpa no trecho (CHAVES, 2002). Calcula-se a razão de espessamento em função do expoente da função da velocidade de sedimentação e da concentração de sólidos desejada para o underflow através da fórmula:

$$\text{Razão de espessamento} = \frac{\left(\frac{b-1}{b}\right)^{b-1}}{ab} \times C_U^{b-1} \quad (7)$$

A razão de sedimentação assim calculada é válida para o ensaio de batelada. Há um fator de escala σ que a relaciona com a razão de espessamento real:

$$\text{Razão de espessamento real} = \text{Razão de espessamento batch} \times \left(\frac{h}{H}\right)^\sigma \quad (8)$$

Onde:

H = altura total da zona de compressão (m)

h = altura de sedimentação da polpa (m)

σ = expoente de correlação de Wilhelm e Naide

Constrói-se então o gráfico da razão de espessamento versus a concentração de sólidos no underflow. Os autores determinaram uma aproximação e, com o fator de correção utilizado, obtém-se a área total do espessador.

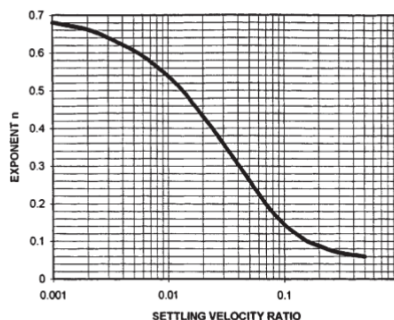


Figura 2.2 – Correlação para determinação do expoente de correlação do método de Wilhelm e Naide

3 - EXPERIMENTAL

As amostras foram caracterizadas segundo sua granulometria, realizadas através de cyclosizer e Cilas, pela origem, determinada pelo fluxo industrial da qual a amostra é proveniente, e composição química, realizado através de Raio-X, conforme mostrado na figura 3.1 e na tabela 3.1. Foram utilizados, para os experimentos, lamas provenientes das duas principais minas do complexo do Pico, da Vale. Uma das amostras é composta por um material mais hidratado e a outra é composta por lamas provenientes de um minério rico em manganês, utilizado como contaminante em um dos testes. As amostras foram coletadas na alimentação dos espessadores de lama de cada uma das usinas. Uma terceira amostra é composta pela mistura igualitária de cada uma das lamas. A quarta amostra é composta pelo rejeito retirado do processo de flotação de uma das usinas.

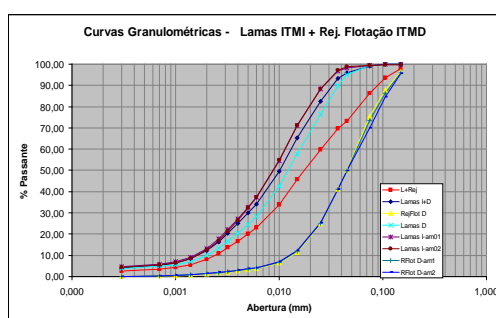


Figura 3.1 – Análise granulométrica

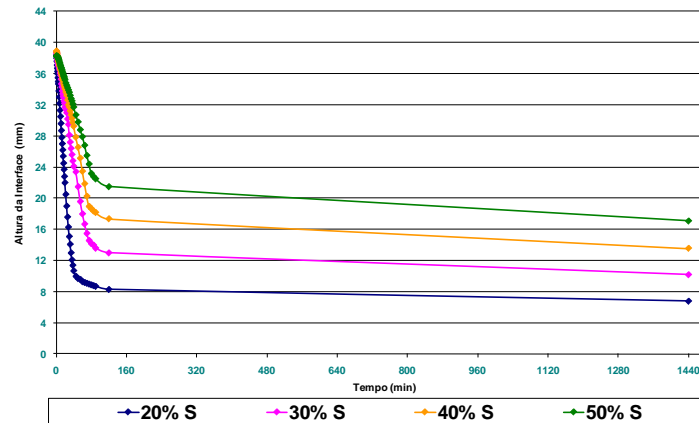
Foram construídas as curvas de sedimentação para todos os ensaios e determinadas as velocidades de sedimentação para cada caso em estudo, conforme mostrado na figura 3.2.

Para o método de Wilhelm e Naide, foram utilizadas as mesmas curvas de sedimentação, apenas acrescentando as demais retas para o cálculo dos demais pontos em que a decantação ocorre de forma mais lenta.

Todos os testes geraram uma série de curvas que foram utilizadas para determinação da área unitária de espessamento, através dos métodos de Talmadge e Fitch, Coe e Clewenger, Oltmann e Wilhelm e Naide. Através da área unitária, determinou-se a área total do espessador, que, com seus devidos fatores de correção e segurança, geraram os diâmetros para cada situação proposta.

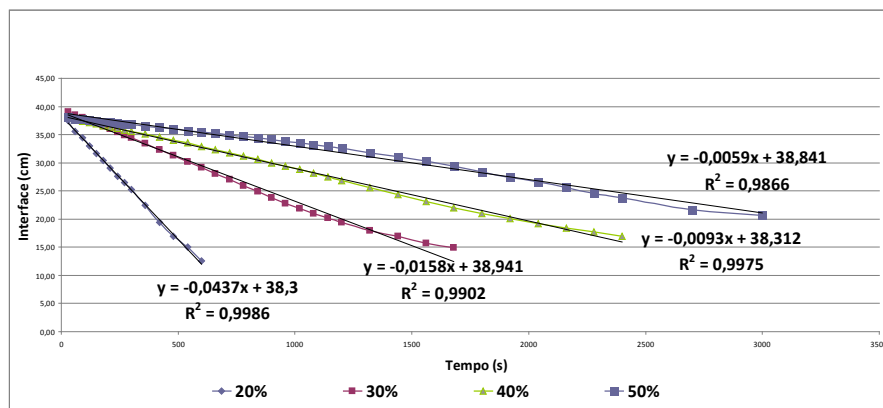
Tabela 3.1 – Análise Química

Resultados Análise Química							
Lamas ITMI							
FE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MN	CAO	MGO	TiO ₂
48,4	13,82	7,63	0,100	0,313	0,022	0,087	0,176
Lamas ITMD							
FE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MN	CAO	MGO	TiO ₂
50,0	17,95	4,81	0,071	0,359	0,022	0,032	0,141
Lamas ITMD + Lamas ITMI							
FE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MN	CAO	MGO	TiO ₂
48,7	15,66	6,76	0,089	0,324	0,022	0,063	0,160
Rejeito Flotação ITMD							
FE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MN	CAO	MGO	TiO ₂
33,20	53,88	0,62	0,011	0,013	0,016	0,010	0,036
Rejeito Flotação 25% / Lamas 75%							
FE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MN	CAO	MGO	TiO ₂
44,60	23,84	5,88	0,078	0,238	0,021	0,068	0,141
Rejeito Flotação 50% / Lamas 50%							
FE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MN	CAO	MGO	TiO ₂
40,80	33,85	4,13	0,056	0,163	0,019	0,049	0,106
Rejeito Flotação 75% / Lamas 25%							
FE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MN	CAO	MGO	TiO ₂
37,00	43,87	2,37	0,033	0,088	0,018	0,029	0,071

Curvas de Sedimentação Lamas ITMD**Figura 3.2** – Curvas de sedimentação

Cada gráfico sugere a velocidade de sedimentação média do sistema, determinada pela inclinação da parte reta descendente da curva, conforme demonstrado na figura 3.3. Baixas velocidades sugerem maiores áreas para espessadores sedimentarem toda a massa gerada nos processos.

Como se pode ver, os dimensionamentos seguem um mesmo padrão e os métodos tradicionais geraram valores de diâmetro muito próximos uns dos outros. Apenas Wilhelm e Naide apresentaram valores superiores, porém seguindo a tendência do maior diâmetro em baixo percentual de sólidos na alimentação.

**Figura 3.3** – Velocidade de Sedimentação

Os valores para espessadores, considerando a taxa de alimentação praticada hoje pela operação de usina da mina do Pico, estão na figura 3.4, que mostra os diâmetros escolhidos para uso industrial.

Já considerando o método de Wilhelm e Naide, todos os valores de diâmetro estariam deslocados para cima. Apesar de seguir a tendência de aumento com o fluxo de sólidos, o método desloca em um Δd positivo o valor do diâmetro do espessador, parecendo uma tendência ao superdimensionamento dos valores. O mesmo resultado foi alcançado por TORQUATO (2008), em análise dos métodos de dimensionamento dos espessadores de lama para comparação com os modelos instalados em Capanema, Timbopeba, Fábrica Nova e Brucutu. O único fato, no entanto, que pode corroborar com essa suposição da superestimação está na comprovação de que os espessadores industriais referidos atendem à demanda operacional atual.

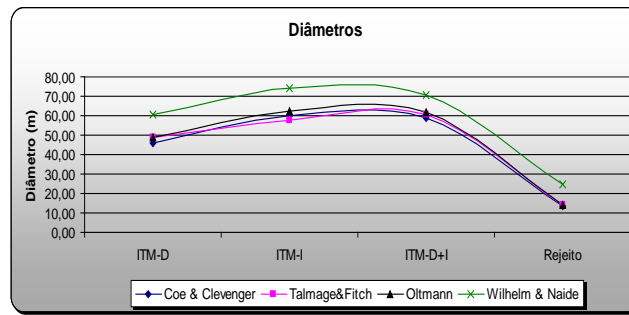


Figura 3.4 – Melhores resultados para todos os testes

4 – CONCLUSÕES

As lamas provenientes de materiais mais hidratados obtiveram piores resultados para o dimensionamento de espessadores. Dimensionamento este que não foi significativamente influenciado pelas amostras que apresentavam altos índices de manganês (provenientes da mina do Sapecado e Galinheiro).

Conforme os resultados apresentados, constata-se que os métodos de dimensionamento de espessadores utilizados pelos fornecedores de equipamentos industriais são confiáveis.

Os fatores de segurança e Scale-Up utilizados nos métodos de Coe e Clevenger e Oltmann para o dimensionamento de espessadores ajustam-se bem para os modelos industriais.

Os três métodos mais utilizados na indústria produzem resultados semelhantes e devem ser utilizados em conjunto para o dimensionamento de espessadores industriais. Wilhelm e Naide, porém, têm tendência a superdimensionar os valores de diâmetro quando comparado aos modelos de dimensionamento tradicionais estudados neste trabalho.

4 – REFERÊNCIAS

- 1 CHAVES, A.P. Teoria e Prática do tratamento de Minérios - 2ª edição – São Paulo; Signus Editora, 2002. v. 2, Cap 2, p. 289-313
- 2 SPOTTISWOOD, D.J.; KELLY, E.G. Mineral Processing: An Introduction to the Principles – 1ª edição – Colorado School of Mines, 1989. Cap 3, p. 330-341
- 3 VALADÃO, G.E.S.; ARAUJO, A.C. Introdução ao tratamento de Minérios – 1ª edição – Belo Horizonte – Editora UFMG, 2007. Cap 6, p. 141-152
- 4 WILLS, B.A. Mineral Processing Technology – 6ª edição – Camborne School of Mines, Cornwall, England; ButterWorth Heinemann, 1997. Cap 11, p. 369-392