



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE MATERIAL COM GRANULOMETRIA ABAIXO DE 74 μ M SOB AS VARIAÇÕES DE PARÂMETROS NO TESTE DE SEDIMENTAÇÃO

**BANANAL, V.A.¹, SANTOS, L.H.¹, LEITE, T.M. G.²,
SILVA, M.C.A.², FERREIRA, F.V.²**

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET), Departamento de Engenharia de Minas e Construção Civil

² Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral (PPGEM)

RESUMO

Esse estudo trata-se da realização de 50 testes de sedimentação em bancada utilizando amostra de minério de granulometria extremamente fina, inferior a 74 μ m. Foram feitos 25 testes com a adição de um floculante aniônico (dosagem de 25g/t) e 25 sem a presença desse reagente. Em ambos os casos foram analisadas as variáveis porcentagem de sólidos, com valores oscilando entre 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, e do valor do pH da polpa oscilando entre 3,0, 5,0, 7,0, 9,0 e 11. Para todos os testes foram analisados os valores da velocidade de sedimentação em cm/s, tempo de sedimentação, altura da camada de espuma (cm) e porcentagem de sólidos no clarificado. Foi identificado o melhor caso de combinação das variáveis, apontando para o cenário com 15% de sólidos, pH 5,0 e adição do floculante aniônico (25 g/t). Constatou-se que o fator mais determinante no tempo de sedimentação foi a utilização do floculante.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimentação, Espessamento, Floculante, Granulometria fina.

ABSTRACT

For this study, 50 batch sedimentation tests were performed from an ore sample with a particle size smaller than 74 μ m. The main purpose of this study is to identify the best operational parameters to perform a batch sedimentation test. In half of the performed tests, a flocculant (dosage of 25g/t) were add and the other half were performed without the flocculant addition. For the entire tests, variations of the solids percentage in the pulp and the pH at the pulp, have been done by the following values, 5%, 10%, 15%, 25% for the solids percentage and pH values at 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 and 11.0. For those tests, the sedimentation velocity (cm/s), height of the foam layer (cm) and the percentage of solids in the clarified were analyzed. By the tests results, it was possible to identify the best combination between the parameters that have varied (solids percentage, pH values and the addition of flocculant). In the end was concluded that the best conditions for the batch sedimentation tests was with a solid percentage of 15%, pH of 5.0 and with the addition of the flocculant. In addition, it was concluded that the addition of the flocculant was a more relevant parameter for the tests results than the solids percentage or the pH values.

KEYWORDS: Sedimentation, Thickening, Flocculant, Fine particle size.

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais etapas para ajustar a porcentagem de sólidos afim de reduzir os custos operacionais é a etapa de separação sólido-líquido. A água eliminada nessa fase, geralmente é reutilizada em outras etapas do processamento mineral. Essa operação é caracterizada, geralmente, pela segregação das partículas sólidas suspensas em água através da sedimentação, nos espessadores ou tanques de sedimentação (FRANÇA E MASSARANI, 2004).

Ao analisar a concentração de sólidos na polpa não se deve levar em consideração apenas a quantidade do material, mas também a característica do material, atentando-se principalmente para quantidade de partículas finas. Quando o material trabalhado apresenta grande quantidade de partículas finas ou ultrafinas, isso quando esse está em forma de polpa, deve-se atentar consideravelmente à medida da área superficial específica, visto que essa passa a ser mais significativa (FRANÇA E MASSARANI, 2010).

Polpas que apresentam grande quantidade de partículas finas e ultrafinas são consideradas mais difíceis de serem tratadas quando comparadas com aquelas de granulometria mais grossa, desse modo a separação sólido-líquido nesse caso é de menor eficiência. Ainda deve-se atentar à distribuição de tamanho das partículas, visto que: aquelas com menor quantidade de partículas ultrafinas é mais simples de ser tratada, se comparada àquelas que apresentam distribuição ultrafina mais extensa (FRANÇA E MASSARANI, 2010).

De acordo com Chaves *et al* (2013), o intuito de um espessador é fornecer um produto adensado suficientemente capaz de ser bombeado e com porcentagem de sólidos ente 50% e 75%, isso a partir de uma polpa diluída (entre 5% e 10% de sólidos).

Uma das formas de otimização da etapa de espessamento é o emprego de floculante no processo. A utilização desse tipo de reagente ajuda na sedimentação das partículas, além de definir padrões ótimos de pH e porcentagem de sólidos, para que a fase de espessamento tenha máxima eficiência possível, otimizando o adensamento do material e diminuindo o desgaste do equipamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado nesse estudo foi disponibilizado por uma empresa de mineração de Araxá-MG, sendo cedido um lote de 5Kg de amostra seca. A amostra já se encontrava em granulometria adequada, abaixo de 74 μ m, e com massa específica já especificada (3,6 g/cm³). A primeira etapa do trabalho foi de comprovação da granulometria do material cedido pela empresa. Nessa etapa foi realizado o peneiramento do material, utilizando peneiras de telas metálicas e sintéticas com abertura de 74 μ m, no qual constatou que todo material era passante.

2.1. TESTE EM SEDIMENTAÇÃO EM PROVETA

2.1.1. Cenário 1: amostras sem adição de floculante.

Afim de adequar o pH das polpas a serem utilizadas nesse teste usou-se duas soluções, ácido fluossilícico (18%) e solução alcalina (10%). Nesse caso foram utilizadas polpas com as

seguintes faixas de pHs, 3,0; 5,0; 7,0; 9,0 e 11,0. Outro parâmetro avaliado foi a porcentagem de sólidos presentes nas polpas, oscilando entre 5%, 10%, 15%, 20% e 25%.

Para esse primeiro caso foram preparadas 25 polpas, sendo essas preparadas variando a porcentagem de sólidos e o valor do pH, respeitando os valores citados anteriormente. A próxima etapa foi a realização do teste de sedimentação, sem a utilização de floculante. Esses testes tiveram duração de 40 minutos. No final de cada teste foi recolhida uma fração do clarificado para pesagem. O objetivo dessa aferição é determinar a massa de polpa e posteriormente que esse material passasse por uma etapa de filtração. Desse modo seria possível calcular a porcentagem de sólidos dispersos no clarificado.

2.1.2. Cenário 2: amostras com adição de floculante.

Nesse segundo cenário foram realizados 25 testes, sendo estes efetuados de acordo com a metodologia descrita no item anterior, cenário 1. Na etapa dos testes de sedimentação usou-se um floculante na concentração 0,123 %, que é um polímero aniônico líquido solúvel em água. Segundo Baltar (2010), os floculantes que geram o maior desempenho na etapa de espessamento são os polieletrólitos aniônicos com cadeia linear e elevado peso molecular. A dosagem de reagente utilizada foi de 25 g/ton e os testes tiveram duração de 12 minutos.

Com os dados dos 50 testes, foram geradas as curvas de sedimentação e calculadas as porcentagens de sólidos dos clarificados. Também foi observada a altura da camada de espuma, realizando-se assim o cálculo da velocidade de sedimentação em cada teste. Essa velocidade de sedimentação foi determinada obedecendo a teoria de Coe e Clevenger.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Cenário 1: sem adição de floculante

A Tabela 1 a seguir demonstra os valores de velocidades de sedimentação obtidas (cm/s) em diferentes casos, variando de acordo com a porcentagem de sólidos e faixa de pH. Esses valores foram calculados a partir da curva de sedimentação de cada teste, obedecendo a teoria de Coe e Clevenger.

Tabela 1. Velocidades de sedimentação variando com a % de sólidos e pH's. - Sem adição de floculante.

		Porcentagem de Sólidos (%)					
		5	10	15	20	25	Média
pH	3	0,024	0,023	0,024	0,024	0,022	0,023
	5	0,039	0,024	0,021	0,020	0,021	0,025
	7	0,021	0,022	0,022	0,021	0,021	0,021
	9	0,020	0,020	0,020	0,016	0,021	0,019
	11	0,016	0,017	0,016	0,019	0,020	0,018
	Média	0,024	0,021	0,021	0,020	0,021	-

Ao observar os resultados apresentados na Tabela 1 foi notório que não houve grandes variações dos valores das velocidades, sendo que o maior valor encontrado foi para condição

de porcentagem de sólidos igual a 5% e valor de pH igual 5,0. Para essa condição o valor encontrado foi uma velocidade de sedimentação de 0,39cm/s. Quando o pH foi igual a 3, isso para todas as faixas de porcentagem de sólidos, foi notório que houve valores mais elevados de velocidades de sedimentação isso quando comparadas com as demais, sendo a média igual a 0,23cm/s. Mesmo havendo um pequeno aumento do valor da velocidade de sedimentação nessa faixa de pH, há também malefícios para o processo, visto que quando a etapa de espessamento se dá em pHs ácidos há a necessidade de muitos gastos com modificadores de pH, além de outro problema que é o desgaste dos equipamentos, prejudicando etapas posteriores.

Outro resultado importante é a comparação dos valores da altura da camada de espuma com a porcentagem de sólidos, assim como a porcentagem de sólidos no clarificado com porcentagem de sólidos da alimentação. Através dessas análises é possível determinar a faixa ideal a se trabalhar quanto às variáveis porcentagem de sólidos e pH da polpa. A Figura 1 a seguir demonstra essa comparação. À esquerda tem-se altura da camada de espuma (cm) x Porcentagem de Sólidos, de acordo com a variação de pH. Já à direita tem-se porcentagem de Sólidos no Clarificado x porcentagem de sólidos na alimentação, de acordo com a variação de pH.

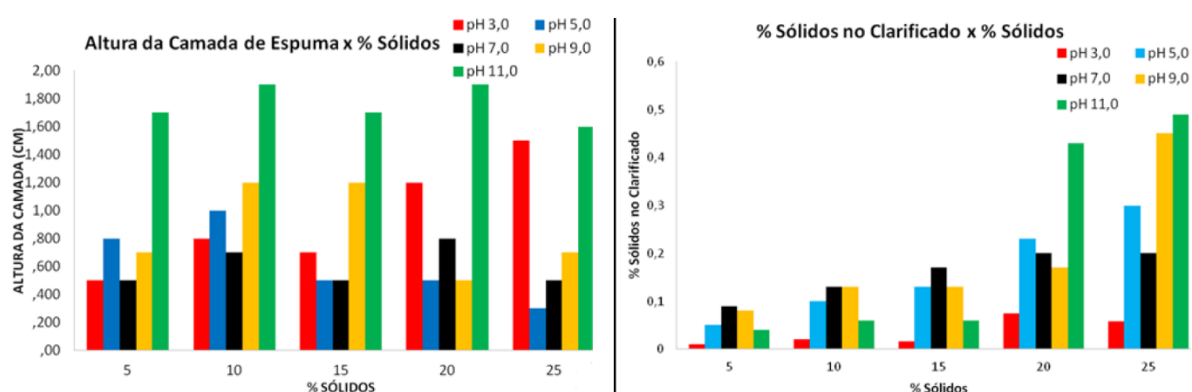


Figura 1 - À esquerda: altura da camada de espuma (cm) x % de Sólidos, com variação de pH -Sem adição de floculante. À direita: % de Sólidos no Clarificado x % de Sólidos, com variação de pH - sem adição de floculante.

A Tabela 2 demonstra o comparativo feito entre os resultados obtidos para as porcentagens de sólidos de 5%, 10% e 15%, assim como a altura da camada de espuma e a % de sólidos no clarificado, isso para os melhores valores de velocidade de sedimentação encontrados. A melhor combinação encontrada foi para o valor de pH e % de sólidos igual a 5%. Nesse cenário obteve-se o maior valor da velocidade de sedimentação e menor porcentagem de sólidos no clarificado. Tratando-se das variáveis altura da camada da espuma e % de sólidos no clarificado, pode-se afirmar que a segunda variável é mais relevante para o processo, isso quando se trata de uma produção em larga escala.

Tabela 2 - Comparação entre valores obtidos para 5%, 10% e 15% de sólidos na polpa.

% Sólidos	pH	Velocidade de Sedimentação (cm/s)	Altura da Camada de Espuma (cm)	% Sólidos no Clarificado
5	5,0	0,39	0,80	0,05
10	5,0	0,39	1,00	0,10
15	5,0	0,39	0,50	0,13

5%	5,0	0,039	0,8	0,13
10%	5,0	0,024	1,0	0,23
	7,0	0,022	0,7	0,20
15%	7,0	0,022	1,5	0,20

3.2. Cenário 2: com adição de floculante

A seguir serão apresentadas as mesmas análises feitas no cenário 1, isso para o cenário 2. Como era esperado com a utilização do floculante houve a diminuição do tempo de sedimentação, sendo que no cenário 2 a redução foi de cerca de 70%, passando de 2400s para 720s. A Tabela 3 dispõe os valores das velocidades de sedimentação (cm/s) encontradas em diferentes casos, variando de acordo com a porcentagem de sólidos e faixa de pH. A mesma metodologia para cálculo da velocidade de sedimentação utilizada no cenário 1 foi repetida no cenário 2.

Tabela 3. Velocidade de sedimentação (em cm/s) de acordo com % de sólidos e pH's. - Com floculante.

		Porcentagem de Sólidos (%)					Média
		5	10	15	20	25	
pH	3	0,061	0,053	0,065	0,068	0,057	0,061
	5	0,058	0,045	0,090	0,080	0,054	0,065
	7	0,061	0,053	0,057	0,071	0,053	0,059
	9	0,056	0,053	0,053	0,062	0,053	0,056
	11	0,083	0,076	0,071	0,086	0,059	0,075
	Média	0,064	0,056	0,067	0,073	0,055	-

Ao analisarmos os maiores valores de velocidade de sedimentação de acordo com a porcentagem de sólidos, ficou claro que as melhores faixas foram de 5%, 15% e 20%, sendo esses valores iguais a 0,083, 0,090 e 0,086 cm/s, respectivamente. Observando esses valores quanto a faixa de pH, observa-se que dois desses resultados foram obtidos em faixas de pH extremas, pH igual a 11 e outra em pH igual a 5. Levando em consideração todas essas variáveis é notório que a melhor combinação das variáveis foi quando a porcentagem de sólidos foi igual a 15% e o pH igual 5, no qual encontrou-se a maior velocidade de sedimentação. Mesmo que na faixa de pH igual a 11 foram encontrados valores de velocidades de sedimentação expressiva, trabalhar com valores de pH altamente alcalinos é prejudicial para o processo, ocasionado grandes gastos com reguladores de pH, além de poder causar danos as seguintes operações do tratamento de minérios.

A Figura 2 a seguir demonstra a mesma comparação realizada no cenário anterior quanto a porcentagem de sólidos no clarificado e a altura da espuma na polpa. Desse modo à esquerda tem-se altura da camada de espuma (cm) x Porcentagem de Sólidos, com variação de pH. Já à direita tem-se % de Sólidos no Clarificado x % de Sólidos da alimentação, com variação de pH.

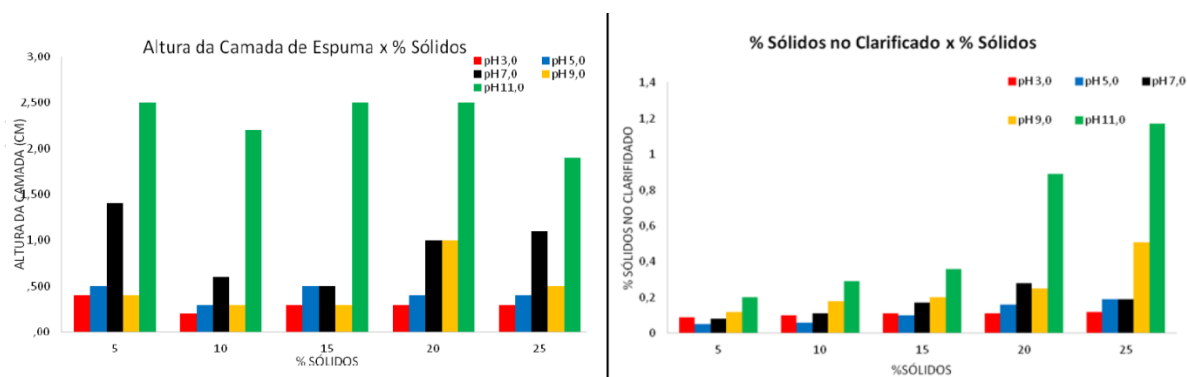


Figura 2 - À esquerda: Altura da camada de espuma (cm) x % de Sólidos, com variação de pH -com adição de floculante. À direita: % de Sólidos no Clarificado x % de Sólidos da alimentação, com variação de pH - com adição de floculante.

A Tabela 4 demonstra o comparativo feito entre os resultados obtidos para as porcentagens de sólidos de 15% e 20%, assim como a altura da camada de espuma e a porcentagem de sólidos no clarificado, isso para os melhores valores de velocidade de sedimentação encontrados. A melhor combinação encontrada foi para o valor de pH e % de sólidos iguais a 5 e 15%, respectivamente. Nesse cenário obteve-se o maior valor da velocidade de sedimentação, um valor mediano da altura da camada de espuma e a menor porcentagem de sólidos no clarificado.

Tabela 4. Comparação entre valores encontrados para 15% e 20% de sólidos.

% Sólidos	pH	Velocidade de Sedimentação (cm/s)	Altura da Camada de Espuma (cm)	% Sólidos no Clarificado
15%	5,0	0,090	0,5	0,10
20%	5,0	0,080	0,4	0,16
	7,0	0,071	1,0	0,28

3.3. Análise comparativa entre os testes com e sem adição de floculante.

A Tabela 5 exibe a comparação entre as melhores combinações das variáveis tanto para o cenário 1, sem adição de floculante, quanto para o cenário 2, com adição de floculante. Em se tratar da porcentagem de sólidos na polpa, os valores ótimos foram distintos, sendo iguais a 5% e 15%, respectivamente.

Tabela 5. Comparação entre os parâmetros ótimos com e sem adição de floculante.

	5% de sólidos em pH 5,0 – Sem adição de floculante.	15% de sólidos em pH 5,0 – Com adição de floculante.
Vel. Sedimentação (cm/s)	0,039	0,090
Altura da camada de	0,8	0,5
% Sólidos no Clarificado	0,13	0,10

Já para a faixa de pH os valores foram iguais para os dois cenários, sendo o valor ótimo de pH igual a 5. Mesmo se tratando de um pH ácido, esse valor não traz prejuízos ao processo de beneficiamento. Com base na literatura disponibilizada pela empresa onde os testes foram feitos, isso com base em relatórios e outros estudos em planta piloto, constatou-se que as etapas que antecedem ao espessamento ocorrem de forma mais eficiente em pH ácido devido às características do material, principalmente pela granulometria extremamente fina. Dessa forma não há a necessidade de interferir na readequação do pH para que a etapa de separação sólido- líquido ocorra de forma eficiente.

Ao comparar os dois cenários é notório que o cenário 2, com adição de floculante, apresentou maior valor de velocidade de sedimentação quando comparado ao cenário sem adição do reagente. A diferença entre % porcentagem de sólidos no clarificado foi de 23,07% entre o cenário 1 e cenário 2, sendo esses valores iguais a 0,13 e 0,10%, respectivamente. Já para à altura da camada de espuma houve uma redução de aproximadamente 37,5%.

4. CONCLUSÕES

Através desse estudo constatou que o melhor cenário de sedimentação ocorreu com a utilização do floculante, assim como era esperado. Ao analisarmos a variável porcentagem de sólidos da polpa concluiu-se que o melhor valor a ser empregado é de 15% de sólidos. Um dos benefícios de se trabalhar com esse valor é que além de conseguir uma maior velocidade de sedimentação como foi mostrado nesse estudo, também não há a necessidade de introdução de uma etapa previa de adição de água ao processo, além de uma menor perturbação no sistema.

Para variável pH constatou que a melhor faixa a se trabalhar é com valor igual a 5, isso tanto quando se empregar floculante ou não. A utilização desse reagente aniônico utilizando a dosagem de 25g/ton mostrou-se muito efetivo para o processo de sedimentação mesmo para parcelas de material de granulometria muito fina, abaixo de 74 μ m. Esse reagente além de interferir no tempo de sedimentação, diminuindo esse em cerca de 70%, também foi responsável pela diminuição da porcentagem de material sólido no clarificado.

5. REFERÊNCIAS

- Baltar, C. A. M. Processos de Agregação. In: Luz, A.B.; Sampaio, J.A.; Almeida, S.L.M. Tratamento de Minérios. 5ª edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2010. Cap. 13. P-559-587.
- Chaves, A.P; Oliveira, A.H; Cordeiro, A.C; Chiapa. R. Espessamento. In: CHAVES, A.P. Desaguamento, Espessamento e Filtragem. 4ª edição. São Paulo: Oficina de textos, 2013. V2. Cap. 2. P.54-158.
- França, S.C.A.; Massarani, G. Separação Sólido-líquido. In: Luz, A.B.; Sampaio, J.A.; Almeida, S.L.M. Tratamento de minérios. 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. Cap. 14, p. 573 – 609.
- França, S. C. A; Massarani, G. Separação Sólido- Líquido. In: Luz, A.B.; Sampaio, J.A.; Almeida, S.L.M. Tratamento de Minérios. 5ª edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2010. Cap. 15. P-637-678.