

# Estudo do processo de separação sólido-líquido por sedimentação no setor minero-metallúrgico

## Separation process of study solid-fluid in the sedimentation mining-metallurgical sector

K. S. Braz<sup>1,\*</sup>; L. F. Nunes<sup>2</sup>; F. N. de J. Guedes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheira Metalurgista, Autônoma, João Monlevade - MG, Brasil.

<sup>2</sup> Mestranda em Ciências dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Exatas Aplicadas e dos Materiais, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil.

<sup>1</sup>[kennyasilvab@yahoo.com.br](mailto:kennyasilvab@yahoo.com.br)

## Resumo

Espessadores são equipamentos que utilizam o método da sedimentação para auxiliar no beneficiamento do minério de ferro. Este trabalho visa estudar o método do dimensionamento do espessador, através de testes de laboratório, que são realizados em pequenas escalas, mas que podem ser utilizados com base na construção do equipamento. Utilizou-se amostras de diferentes minas e o primeiro teste realizado foi o teste "ao natural". Este ensaio visa sedimentar a polpa sem adição de nenhum interferente para avaliar suas propriedades físico-químicas. Por meio deste teste, foi possível visualizar a clarificação da água e a velocidade de sedimentação. Após este primeiro experimento, foram realizados testes com adição de diferentes quantidades de flokulantes e diferentes faixas de pH sempre com a finalidade de melhorar a clarificação da água e a velocidade de sedimentação. Ao final desses testes, foi possível simular com precisão o dimensionamento de um espessador.

**Palavras-chave:** espessador, velocidade de sedimentação, dimensionamento.

.....

Thickeners are equipment using the sedimentation method to assist in iron ore processing. This work aimed at studying the thickener sizing method through laboratory tests which are conducted on a small scale but may be used based on the construction of the equipment. Samples of different mines were collected and the first test was the test "natural". This test aims to settle the pulp without adding any interfering to evaluate their physic-chemical properties. At the end, it was possible to visualize the water clarification and sedimentation speed. After this first experiment were performed test with the addition of different quantities of flocculants and different pH ranges always with the purpose of improving water clarification and sedimentation speed. At the end of these tests it was possible to simulate the scaling of a thickener.

**Keywords:** thickener, sedimentation speed, scaling.

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração pode ser definida como a extração de minerais existentes nas rochas/solo. Trata-se de uma atividade que não escolhe o local para se implantar, pois a localização é obra da natureza, conceituado de rigidez locacional (CARVALHO, 2009).

Essa atividade provoca variados efeitos não desejáveis, como poluição da água, do ar, sonora entre outros. Por isso cada vez mais se vê a busca de adequar o processo ou medidas para que seja um trabalho sustentável (CARVALHO, 2009).

Grandes volumes e massas de materiais são extraídos e movimentados. Existem dois principais tipos de resíduos sólidos, os estéreis e os rejeitos. O primeiro trata-se de materiais escavados, oriundos das atividades de extração no decepamento da mina, não possuem valor econômico e ficam dispostos em pilhas (SILVA et al., 2011).

Já o rejeito é todo o material sem valor econômico que resulta do processo de concentração de um minério. As partículas que constituem o rejeito são encontradas na faixa de partículas de areia fina (LOZANO, 2006 apud LARA, 2011).

O descarte dos rejeitos gerados pode ser realizado com na forma sólida (pasta ou granel) ou na forma de polpa. A maior parte dos sistemas de disposição de rejeitos é produzida na forma de polpa que é transportada por via hidráulica (LARA, 2011).

Antes de ser descartada, a polpa contendo rejeitos, passa por alguns processos, onde se separa água e materiais de diferentes granulometrias em função dos métodos de disposição. Esses processos são o espessamento (deslamagem), filtragem e ciclonagem. Esses têm como objetivo a separação das fases sólidas e líquidas da polpa, aumentando assim o teor de material sólido (LARA, 2011).

A disposição dos rejeitos tem se tornado um grande problema ambiental, devido ao aproveitamento crescente de jazidas de baixos teores, tendo como consequência o aumento do volume de rejeitos gerados exigindo áreas maiores para sua deposição. Daí dá-se a importância desses processos, pois quanto mais material puder ser aproveitado e não descartado mais sustentável e econômico será (ARAUJO, 2005 apud LARA, 2011).

A sedimentação é um dos processos de separação sólido-líquido baseada na diferença entre as densidades dos constituintes de uma suspensão; a remoção das partículas sólidas presentes em uma corrente líquida se dá pela ação do campo gravitacional, o que oferece ao processo as características de baixo custo e grande simplicidade operacional. A larga utilização industrial dos sedimentadores promove um crescente interesse no conhecimento do dimensionamento e operação desses equipamentos com a finalidade de melhorar a sua utilização e eficiência no atendimento dos objetivos operacionais (FRANÇA; MASSARANI, 2004).

Os sedimentadores são equipamentos projetados para promover a separação das fases sólida e fluída em suspensões cujo interesse comercial varia desde a purificação ou clarificação de uma corrente líquida ao processo de concentração de materiais particulados (AROUCA, 2007).

Na literatura, costuma-se classificar os sedimentadores em dois tipos: os espessadores, que têm como produto de interesse o sólido e são caracterizados pela produção de espessados com alta concentração de sólidos e os clarificadores, que têm como produto de interesse o líquido e se caracterizam pela produção de espessados com baixas concentrações de sólidos. Industrialmente os espessadores são os mais utilizados e operam, geralmente,

em regime contínuo (FRANÇA; MASSARANI, 2004).

Segundo Oliveira et al. (2004, p. 44) “o espessamento é o método preferido para desaguamento de polpas devido ao seu custo relativamente baixo e simplicidade de operação”. O espessador é essencialmente um tanque ou reservatório onde a suspensão de sólidos é colocada para permitir a sedimentação das partículas. Sua operação pode ser realizada tanto em bateladas, semicontinuamente ou continuamente. A operação em batelada só é aplicada em instalações de pequena capacidade. Para instalações de grande porte os espessadores contínuos são a melhor solução para o desaguamento de polpas. Nesse caso, o espessador é alimentado continuamente com a suspensão a uma taxa suficientemente baixa para permitir o tempo necessário a sedimentação da fase sólida e a limpeza da fase líquida (OLIVEIRA; LUZ, 2007).

A grande utilização destes equipamentos desperta um interesse de pesquisa no estudo do dimensionamento e otimização com o objetivo de melhorar a eficiência nos processos produtivos minimizando os custos operacionais. Tanto o dimensionamento, quanto a otimização, tem como base os dados gerados nos ensaios de bancada que visam mostrar o comportamento do sólido existente na suspensão durante o processo de sedimentação (REIS, 2010).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras utilizadas nas análises foram obtidas das minas do Cauê e de Corumbá. Estas chegaram ao laboratório com a granulometria de  $15 \mu\text{m}$ . Iniciaram-se os testes de bancada realizando a homogeneização das amostras. Posteriormente as mesmas foram quarteadas até a obtenção de aproximadamente 50g para realização do teste de umidade. Em seguida, foram levadas à chapa de aquecimento na temperatura média de  $180^{\circ}\text{C}$  e mantidas por um tempo em torno de 5 minutos. Após alcançarem a temperatura ambiente foram medidas suas massas. Esse processo foi repetido até que se obtivesse uma massa constante confirmando assim seu real peso com ausência total de umidade. Depois de conhecido o valor da umidade, pesou-se a massa necessária para realização dos testes posteriores. Os primeiros testes foram realizados em bêckeres de 600 mL. Antes de iniciar os procedimentos efetuou-se os cálculos referentes a quantidade de água necessária para atingir o percentual de sólidos desejados na polpa (30%).

### a) Primeiro teste (ao natural)

Esse foi realizado sem adição de nenhum reagente afim de observar o comportamento das amostras. Modo de preparo das polpas: para a primeira, pesou-se 203,73g do material e 453,26g de água e para a segunda pesou-se 202,14g do material e 454,89g de água. Colocou-se a polpa formada pelo minério de ferro e água nos bêckeres e em seguida agitou-se o sistema até que o mesmo se tornasse visivelmente homogêneo. Após esse processo, observou-se a sedimentação, mediu-se a interface sedimentada e cronometrou-se o tempo;

### b) Segundo teste (dosagem ótima)

Realizou-se o teste de dosagem de floculante. Modo de preparo: pesou-se 0,5g de floculante para 499,5g de água. Em seguida, transferiu-se para um bêcker e agitou-se com o auxílio do agitador automático. A mistura foi agitada por aproximadamente 20 minutos (tempo necessário para dissolução completa). Após esse processo retirou-se 99 mL dessa mistura e adicionou-se 200 mL de água na mesma para obter uma

concentração de 0,033% de floculante. As dosagens selecionadas foram 2, 4, 6, 8, 10 (g/t) sendo padronizadas conforme a dosagem de 2 g/t equivalente a massa de 0,83 g. Dessa maneira, adicionou-se ao bêcker 0,83 g de floculante (com auxílio de uma seringa) referente a primeira dosagem, em seguida acrescentou-se mais 0,83 g (dosagem de 4 g/t). Repetiu-se esse processo até alcançar a dosagem de 10 g/t. Em cada adição do reagente as amostras foram agitadas, o tempo de sedimentação cronometrado e a medida da interface sólido/líquido foi verificada. Através deste teste verificou-se a dosagem que conferia a melhor velocidade de sedimentação.

c) Terceiro teste (pH ótimo)

Preparou-se as polpas como descrito anteriormente no item do teste ao natural e colocou-se as mesmas em quatro bêckeres. Ajustou-se os pHs nas faixas de 7,5; 8,5; 9,5; e 10,5 adicionando-se solução de NaOH a 5%. Em seguida, adicionou-se a melhor dosagem de floculante observando a velocidade de sedimentação juntamente com a altura da interface de cada polpa.

d) Quarto teste (teste em proveta)

Após a finalização dos testes em bêckeres, foram realizados os testes em provetas de 1 L avaliando a velocidade de sedimentação, empregando, para tal, a melhor dosagem de floculante e o melhor pH já determinados anteriormente. Preparo das polpas com 30% de sólidos: para a primeira, pesou-se 410,02 g de minério de ferro para 904,03g de água e para a segunda pesou-se 404,28 g de minério de ferro e 909,77g de água. Após a adição das polpas nas provetas, fixou-se papel milimetrado nas mesmas, modificou-se o pH, adicionou-se floculante, agitou-se até que as mesmas se tornassem homogêneas e contabilizou o tempo de sedimentação de 2 em 2 segundos (marcou-se no papel milimetrado a posição da interfação de acordo com o tempo). Logo após, o tempo contabilizado foi de 5 em 5 segundos. Essa alteração ocorreu devido ao fato da velocidade inicial de sedimentação ser mais acelerada do que no final.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os termos (1º amostra e 2º amostra) a serem discutidos a seguir referem-se a respectivamente: Amostra da Mina de Corumbá e Amostra da Mina do Cauê. Os resultados estão dispostos em ordem cronológica de execução:

Tabela 1 – *Determinação da umidade.*

Amostra	Massa Úmida(g)	Amostra Seca(g)	% de Umidade
1º	47,364	45,817	3,266
2º	49,125	47,902	2,29

O teste de umidade referente a [Tabela 1](#), teve por finalidade auxiliar na preparação da polpa. Sabendo-se o percentual de água no minério foi possível utilizar a massa real em porcentagem de sólidos do mesmo.

O cálculo da velocidade de sedimentação ao natural presente na [Tabela 2](#) foi o primeiro a ser realizado. Através dele, identificou-se algumas propriedades do minério tais como velocidade de sedimentação e clarificação da água. Quando a amostra apresenta ótima velocidade de sedimentação e ótima clarificação da água, é provável que não seja necessária

Tabela 2 – *Velocidade de sedimentação da amostra ao natural.*

Amostra	Altura da Interface(m)	Tempo de Sedimentação(s)	Velocidade de Sedimentação(m/h)
1º	0,048	32,28	5,35
2º	0,020	20,05	3,59

a adição de reagentes. Mas caso contrário, os reagentes serão adicionados em diferentes concentrações a fim de encontrar os melhores resultados. Na [Tabela 3](#) estão apresentados os valores da dosagem de floculante adicionados na primeira e segunda amostra.

Tabela 3 – *Dosagem de floculante adicionada.*

Dosagem (g/t)	Massa de floculante – 1º amostra (g)	Massa de floculante – 2º amostra (g)
2	0,83	0,82
4	1,65	1,64
6	2,48	2,17
8	3,31	3,29
10	4,13	4,11

A velocidade de sedimentação foi calculada para cada amostra. A [Tabela 4](#) e [Tabela 5](#) mostram os resultados obtidos.

Tabela 4 – *Efeito da dosagem de floculante na velocidade de sedimentação da 1ª amostra.*

Dosagem (g/t)	Altura da interface (m)	Tempo (h)	Velocidade (m/h)
2	0,054	$1,1416 \times 10^{-3}$	47,30
4	0,068	$1,4333 \times 10^{-3}$	47,44
6	0,067	$1,6166 \times 10^{-3}$	41,44
8	0,066	$1,6111 \times 10^{-3}$	40,97
10	0,065	$1,6166 \times 10^{-3}$	40,21

Pôde-se analisar através dos cálculos acima que a melhor velocidade foi alcançada com a dosagem de 4 g/t de floculante.

Tabela 5 – *Efeito da dosagem na velocidade de sedimentação da 2ª amostra.*

Dosagem (g/t)	Altura da interface (m)	Tempo (h)	Velocidade (m/h)
2	0,025	$8,8027 \times 10^{-3}$	2,84
4	0,026	$2,7833 \times 10^{-3}$	9,34
6	0,027	$3,7138 \times 10^{-3}$	7,27
8	0,029	$3,6361 \times 10^{-3}$	7,97
10	0,030	$3,3083 \times 10^{-3}$	9,07

Analisou-se a interferência da dosagem de floculante na velocidade. Chegou-se à conclusão que a melhor velocidade de sedimentação encontrada foi coincidentemente alcançada na dosagem de 4 g/t.

Após a determinação da dosagem ideal de floculante em relação a velocidade de sedimentação das polpas, analisou-se a interferência do pH nas mesmas. Para tal, adicionou-se solução de NaOH a 5% nas duas amostras a fim de verificar em qual pH ocorreu a melhor velocidade de sedimentação. Os resultados obtidos podem ser observados na [Tabela 6](#) e [Tabela 7](#).

Tabela 6 – *Interferência do pH na velocidade de sedimentação da 1<sup>a</sup> amostra.*

pH	Altura da interface (m)	Tempo (h)	Velocidade (m/h)
7,5	0,024	$1,3888 \times 10^{-3}$	17,28
8,5	0,025	$1,6305 \times 10^{-3}$	15,33
9,5	0,025	$1,4388 \times 10^{-3}$	17,37
10,5	0,023	$3,5722 \times 10^{-3}$	6,44

Após a análise da ?? é possível concluir que a melhor velocidade de sedimentação foi obtida na faixa de pH de 9,5 sendo a dosagem de floculante igual a 4 g/t.

Tabela 7 – *Interferência do pH na velocidade de sedimentação da 2<sup>a</sup> amostra*

pH	Altura da interface (m)	Tempo (h)	Velocidade (m/h)
7,5	0,026	$4,8083 \times 10^{-3}$	5,41
8,5	0,025	$2,3388 \times 10^{-3}$	11,37
9,5	0,024	$2,1111 \times 10^{-3}$	10,68
10,5	0,023	$2,175 \times 10^{-3}$	10,57

Os dados obtidos na [Tabela 7](#) permitem concluir que a melhor velocidade foi alcançada com a faixa de pH de 8,5 sendo que a dosagem de floculante foi de 4 g/t em todas as análises. É importante realizar os testes e avaliar-los em diferentes condições, para que o espessador seja construído de maneira eficaz para sua função. Cada amostra tem uma particularidade, como pode-se observar nos resultados acima obtidos a dosagem de floculante foi a mesma nas duas amostras, porém a condição de melhor velocidade em relação ao pH se difere entre as duas. Esse fato mostra a importância do teste de proveta em diferentes condições, evitando transtornos futuros, como o mau funcionamento do equipamento para determinado mineral, gerando um elevado custo.

## 4 CONCLUSÃO

O estudo conduzido neste trabalho foi bastante satisfatório, uma vez que através dos experimentos puderam-se simular ensaios de bancadas tais como os realizados em grandes mineradoras para avaliar as características do produto que as mesmas extraem e comercializam. Tais testes são extremamente importantes para o controle de qualidade dos minérios, o que corrobora para a realização destes ensaios. Além disso, a avaliação das variantes interferentes no processo de separação sólido-líquido por sedimentação permitiram entender a totalidade do mesmo, mesclando conhecimentos teóricos à prática. Outro aspecto importante neste trabalho foi que o ponto ótimo de sedimentação pode ser determinado por meio da velocidade de sedimentação em diferentes condições, como valor de pH e concentrações de floculante.

Conclui-se, desta forma, que o presente estudo apresenta grande relevância, pois a realização dos testes em bancada proporcionou entendimento de como se dá a sedimentação em pequena escala. Ainda, os resultados orientam, por exemplo o dimensionamento e desenvolvimento de um espessador, equipamento de grande escala. Ademais, o estudo endossa a importância do setor mínero-metalúrgico e sua relevância social, uma vez que busca o desenvolvimento e aprimoramento de serviços e produtos, fazendo isto de maneira sustentável, e por conseguinte, trazendo benefícios à comunidade e às futuras gerações.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à faculdade de Engenharia de João Monlevade - FAENGE, pela cessão dos laboratórios necessários à condução da pesquisa, à nossa orientadora do projeto que sempre nos auxiliou, Professora Fabrícia Nunes de Jesus Guedes e ao nosso colega colaborador Matheus, que nos auxiliou em todos os testes feitos no laboratório.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AROUCA, F. O. **Uma Contribuição ao Estudo da Sedimentação Gravitacional em Batelada.** 2007. 162 p. Tese (Doutorado) — PPG-EQ/UFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2007.
- CARVALHO, F. F. A engenharia de produção e o desenvolvimento sustentável: Integrando tecnologia e gestão. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. **Resumos...** Salvador: Instituição organizadora do evento, 2009. p. quantidade páginas. Disponível em: <http://goo.gl/t2Rlnx>. Acesso em: 30 set. 2015.
- FRANÇA, S. C. A.; MASSARANI, G. Separação sólido-líquido. In: \_\_\_\_\_. **Tratamento de Minérios.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. p. 579.
- LARA, A. F. M. **Espessamento e transporte de pasta mineral.** 2011. Curso de Especialização Em Engenharia De Recursos Minerais CEERMIN. Disponível em: <http://goo.gl/tKMEQ4>. Acesso em: 1 out. 2015.
- OLIVEIRA, M. L. M.; LUZ, J. A. M. **Curso de espessamento e filtragem.** 2007.
- OLIVEIRA, M. L. M. et al. **Espessamento e Filtragem.** 2004. Disponível em: <http://migre.me/sHJrv>. Acesso em: 29 set. 2015.
- REIS, K. M. **Dimensionamento de espessadores.** 2010. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia de Minas, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 2010. Disponível em: <http://migre.me/sHKfY>.
- SILVA, A. P. M. et al. **Caderno de Diagnóstico:** Resíduos sólidos da atividade de mineração. 2011. Disponível em: <http://goo.gl/LeV0Of>. Acesso em: 30 set. 2015.