

# CARACTERÍSTICAS DE PASTAS MINERAIS OBTIDAS A PARTIR DO ESPESSAMENTO DE LAMAS\*

Mário Campos de Rezende Neto <sup>1</sup>

Marina Filizzola Melquiades de Oliveira <sup>2</sup>

Kelly Cristina Ferreira <sup>1</sup>

George Eduardo Sales Valadão <sup>3</sup>

## Resumo

Os minérios atualmente lavrados têm apresentado teores cada vez menores, impactando no aumento da produção de rejeitos e necessitando de técnicas para viabilizar sua disposição a seco. O presente estudo objetiva caracterizar o abatimento de pastas minerais, obtidas a partir do espessamento de lamas, e selecionar a dosagem de floculante que apresente as melhores respostas de sedimentação e clarificação. Testes de sedimentação descontínua em proveta foram realizados com lamas de fosfatos, utilizando diferentes dosagens de floculantes catiônico e aniônico. Os líquidos clarificados obtidos em cada teste tiveram sua turbidez determinada por turbidímetro digital. Para avaliação da consistência das pastas, testes *slump* foram realizados em ampla faixa de concentração de sólidos. Resultados mostraram que o floculante catiônico apresentou melhor sedimentação e clarificação, cuja velocidade de sedimentação e turbidez foram, respectivamente, 2,40 cm/s e 9,4 NTU. Para pastas com mais de 80% de sólidos, não foi observado abatimento significativo, próximo a 0,3 cm, ao passo que, para polpas diluídas, as mesmas se espalhavam totalmente pela superfície.

**Palavras-chave:** Espessamento; Pastas minerais; Flocculação; Sedimentação.

## CHARACTERISTICS OF MINERAL PASTES OBTAINED FROM SLIMES THICKENING

### Abstract

The ores currently mined have shown increasingly lower grades, impacting on increasing production of tailings and requiring techniques to enable their dry disposal. This study aims to characterize the slump of mineral pastes obtained from slimes thickening, in addition to select the flocculant dosage that presents the best settling answers and the best clarification. The results were obtained by discontinuous settling tests in graduated cylinder with cationic and anionic flocculant, presenting as only operational variable the dosage of flocculant. The clarified liquids obtained in each test had their turbidity determined by digital turbidimeter. To determine the consistency of mineral pastes, slump tests were used in wide concentration range of solids. The results showed that the cationic flocculant had better settling and clarification, whose settling rate and turbidity were, respectively, 2.40 cm/s and 9.4 NTU. For pastes with more than 80% of solids, there was no significant slump, close to 0.3 cm, while diluted slurries had total scattering over the surface.

**Keywords:** Thickening; Mineral pastes; Flocculation; Settling.

## I INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade primordial ao homem, entretanto, o processamento de minérios gera um grande volume de resíduos que não apresentam valor econômico.

Como a lavra de minérios de menores teores metálicos tende a se tornar cada vez mais frequente, maiores volumes de rejeitos são produzidos, em diferentes granulometrias e

\* Uma versão deste trabalho foi apresentada no Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, XXVI, Poços de Caldas, MG, Brasil, 18 a 22 de outubro de 2015.

<sup>1</sup>Laboratório de Tratamento de Minérios, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.  
E-mail: mariocrezende@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Laboratório de Fenômenos Interfaciais, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.



proveniente de diferentes operações. Como a maior parte das operações de beneficiamento de minérios é realizada a úmido, os rejeitos geralmente se apresentam como polpas minerais e são dispostos em barragens, ainda que, de acordo com Sofrá e Boger [1], existam potenciais riscos de rompimento, geração de drenagem ácida, contaminação de lençóis freáticos com reagentes, e difícil recuperação do solo e da vegetação original. Como grandes volumes de água não são reaproveitados, a disposição das polpas requer uma grande área de armazenamento.

Devido aos impactos ambientais ocasionados, a escassez dos recursos hídricos e a atual política de conservação de água, alternativas de disposição a seco se mostram vantajosas frente ao tradicional método de disposição de rejeitos úmidos. Para isso, o adensamento das polpas tem sido praticado, produzindo líquidos clarificados que retornam à atividade operacional, e fluidos com características típicas de pastas minerais, definidas por Araujo et al. [2] e Theriault et al. [3] como sistemas coloidais devidamente desaguados, de aspecto homogêneo, nos quais não ocorre a segregação granulométrica de partículas quando dispostos de forma suave sobre superfícies estáveis e que não apresentam drenagem significativa de água quando transportados por tubulações.

Devido à menor quantidade de água, as pastas podem ser empilhadas superficialmente ou preencher cavidades subterrâneas. Em conformidade com Lara [4], no primeiro processo, conhecido como *stacking*, as pastas são distribuídas uniformemente ao longo da área, facilitando sua secagem e adensamento natural. Como benefícios adquiridos pela utilização da técnica, destaca-se menor risco de ruptura, menor área para disposição, maior recuperação de água, facilidade de recomposição da topografia original e reabilitação da área. No segundo processo, conhecido como *backfill*, cavidades subterrâneas são preenchidas com misturas de vários materiais, sendo o *pastefill* mais utilizado. Na preparação da mistura, pequenas dosagens de aditivos são adicionadas à pasta mineral, o que, de acordo com Sofrá e Boger [1], incrementam suas propriedades mecânicas. Dessa forma, maiores recuperações nas minas subterrâneas podem ser alcançadas.

Olcay [5] defende que a distribuição granulométrica do sólido é um importante parâmetro para a obtenção e avaliação das características de pastas minerais, uma vez que influencia sua porosidade e sua resistência. De acordo com Falcucci [6], as pastas geralmente podem ser obtidas a partir de uma ampla faixa granulométrica, ainda que um mínimo de 15% das partículas do material deva apresentar tamanho inferior a  $20\mu\text{m}$ , concordando com o exposto por Jung e Biswas [7], em que certa quantidade de partículas finas seja necessária para obtenção e bombeamento das pastas.

Conforme Tão et al. [8], as lammas presentes nos rejeitos são muito estáveis em suspensões aquosas e apresentam velocidade de sedimentação extremamente lenta. Como modo de reduzir o estado de dispersão e incrementar sua sedimentação natural, processos de agregação coloidal vêm sendo utilizados para o adensamento de polpas e a clarificação do líquido sobrenadante, em especial a

floculação quando combinada com sistemas mecânicos. Segundo Guimarães [9], polímeros orgânicos de elevados pesos moleculares e baseados na química do acrílico são os flocculantes mais utilizados na indústria mineral. Entretanto, caso sejam superdosados em um determinado sistema, cadeias poliméricas podem se adsorver excessivamente nas superfícies minerais, cujas forças de repulsão entre cadeias resultam na dispersão das partículas.

Visando conhecer o comportamento de uma suspensão mineral frente à sedimentação, ensaios de sedimentação descontínua são realizados em provetas. A partir do mesmo, a curva de sedimentação é obtida, cuja inclinação, em um dado tempo, fornece a velocidade de sedimentação.

Para o transporte e disposição das pastas, propriedades reológicas devem ser analisadas, em especial a altura de abatimento, que denota a deformação sofrida pela pasta perante esforços de variadas origens, sendo influenciada, entre outros fatores, pela concentração de sólidos na pasta mineral.

O presente estudo objetiva caracterizar as pastas minerais obtidas a partir do espessamento de lammas, quanto ao seu abatimento, e selecionar a dosagem de flocculante que apresente as melhores respostas de sedimentação e clarificação dos líquidos sobrenadantes.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de lammas provenientes do processamento de minérios fosfáticos da Vale Fertilizantes, em Araxá, coletadas no final do circuito, e já em condições de disposição final em barragens.

Para fins de estudo granulométrico, foi utilizado o granulômetro Cilas, modelo 1064, no qual as partículas foram mantidas dispersas através de sistema de ultrassom.

Ensaio de sedimentação descontínua foram realizados em provetas de  $1000\text{ cm}^3$ , visando o conhecimento das velocidades de sedimentação de suspensões diluídas. A única variável operacional avaliada até a presente etapa do estudo foi a dosagem de flocculante, mantendo fixo o pH da suspensão, em pH 9, e a quantidade de sólidos da polpa previamente preparada, em 10% em massa. Ensaio foram realizados na presença de poliácridamidas catiônicas e aniônicas de altos pesos moleculares, ambas fornecidas pela Clariant.

A turbidez do líquido sobrenadante foi analisada em turbidímetro digital microprocessado de bancada, modelo TB 1000, marca TecnoPON. As medições foram realizadas no *overflow* obtido nos ensaios de sedimentação descontínua.

Para a determinação da consistência das pastas minerais, o teste *slump* foi realizado através de um cilindro de PVC com diâmetro e altura iguais a 10 cm. Em tais ensaios, o cilindro foi totalmente preenchido com o material até completar seu volume interno, e em seguida colocado sobre uma superfície plana. Após retirá-lo verticalmente para cima, verificou-se, com o auxílio de uma trena, a altura de abatimento.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise granulométrica da amostra estudada, na forma de distribuição acumulada, é apresentada graficamente na Figura 1. A amostra é composta preponderantemente por lamelas, com  $d_{50}$  próximo a  $6,10\mu\text{m}$ . Essas características, segundo Falcucci [6], são consideradas apropriadas para a produção de pastas minerais. A análise granulométrica fornece, ainda, outros parâmetros típicos de tamanho como, por exemplo, os parâmetros  $d_{90}$  e  $d_{10}$ , que deixam passar, respectivamente, 90% e 10% da população de partículas da amostra analisada. Para a amostra analisada foram encontrados para esses parâmetros de tamanho, respectivamente,  $21,96\mu\text{m}$  e  $0,85\mu\text{m}$ .

Os resultados dos testes de sedimentação descontínua realizados em provetas de  $1000\text{ cm}^3$ , na presença dos flocculantes poliácridamida catiônica (PAC) e aniônica (PAA) são apresentados na Figura 2. Para os dois flocculantes testados, as velocidades de sedimentação obtidas na presença dos flocculantes, em toda a faixa de concentração analisada, foi muito superior que a obtida para a suspensão mineral sem flocculante. Observa-se um comportamento bastante semelhante, com alguma sobreposição entre as curvas de velocidade de sedimentação sem flocculante e com baixas dosagens dos dois flocculantes. A velocidade de sedimentação apresentada pela poliácridamida aniônica foi ligeiramente melhor na dosagem  $100\text{ g/t}$ . Para os flocculantes analisados, contraditoriamente ao esperado, não foram atingidas as dosagens que resultariam na reestabilização do sistema, implicando na queda da velocidade de sedimentação do sistema. Observou-se, entretanto, em condições extremas, um aumento na turbidez do *overflow* desses sistemas.

A Figura 3 apresenta os valores da turbidez do *overflow* em função da dosagem de poliácridamidas catiônicas (PAC) e aniônicas (PAA). Esses resultados mostram que em pequenas dosagens, próximas a  $50\text{ g/t}$ , os flocculantes promovem uma redução satisfatória da turbidez no *overflow*. Dentre eles, o flocculante catiônico se mostrou mais eficaz. Nas mesmas dosagens, o *overflow* obtido com a poliácridamida catiônica apresentou turbidez  $6,3\text{ NTU}$ , ao passo que o *overflow* obtido com o flocculante aniônico apresentou turbidez  $25,0\text{ NTU}$ , ambos demasiadamente inferiores à turbidez obtida em sedimentação natural, na ausência de flocculantes ( $104\text{ NTU}$ ). Em dosagens maiores, acima de  $200\text{ g/t}$  para o flocculante aniônico e acima de  $400\text{ g/t}$  para o flocculante catiônico, observou-se um acréscimo notório na turbidez do *overflow*. Observa-se nesses casos que a turbidez é ainda maior que a obtida com ausência de flocculante. Apesar do flocculante aniônico apresentar velocidade de sedimentação ligeiramente maior para a dosagem de  $100\text{ g/t}$ , o flocculante catiônico apresentou turbidez relativamente menor na mesma concentração, isto é, apresentou uma eficiente clarificação da fase aquosa.

Para avaliação do abatimento de pastas minerais produzidas artificialmente, foram realizados os testes de *slump*, cujo resultado é apresentado na Figura 4. Como

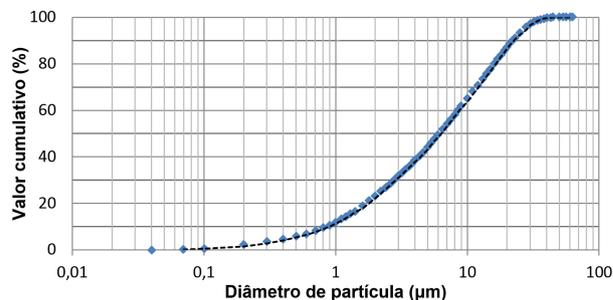


Figura 1. Curva de distribuição granulométrica acumulada.

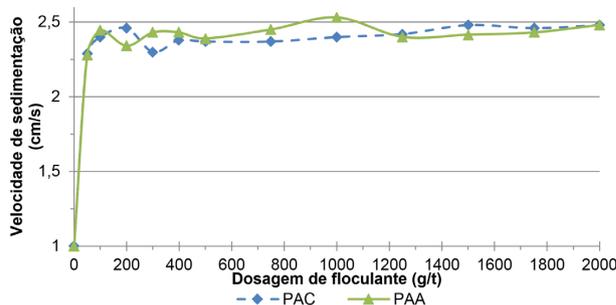


Figura 2. Velocidade de sedimentação com poliácridamida catiônica (PAC) e aniônica (PAA).

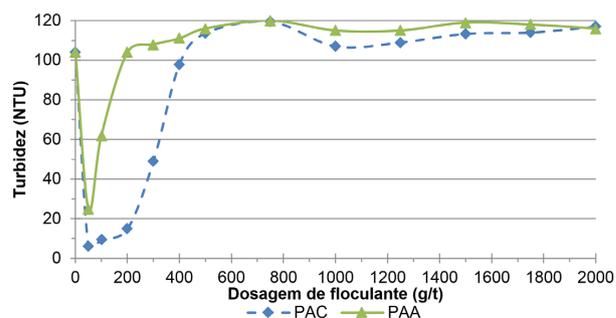


Figura 3. Turbidez do *overflow* com poliácridamida catiônica (PAC) e aniônica (PAA).

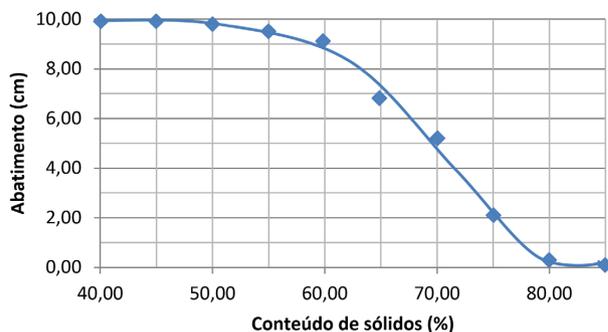


Figura 4. Abatimento de pastas minerais em função da concentração de sólidos em massa.

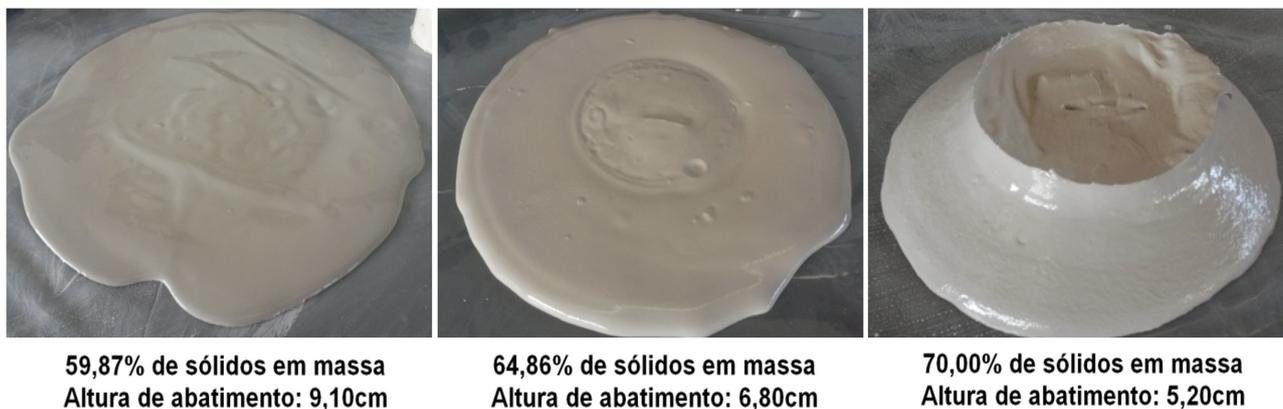


Figura 5. Alturas de abatimento em função da concentração de sólidos em massa.

pode ser visto, na produção de pastas o aumento do desagendamento provoca a diminuição de seu abatimento, reduzindo, assim, a mobilidade de massa e aumentando a coesão entre as partículas minerais. A Figura 4 mostra que, a partir de 80% de sólidos em massa não ocorre deformação significativa do material (0,30 cm), não se espalhando pela superfície. O contrário é observado em polpas mais diluídas. As alturas de abatimento foram de 9,10 cm e 6,80 cm para, respectivamente, 59,87% e 64,86% de sólidos em massa.

A Figura 5 apresenta os aspectos de espalhamentos e alturas de abatimento obtidas em diferentes concentrações de sólidos.

#### 4 CONCLUSÕES

Através de análise granulométrica por difração de laser, determinou-se que 50% das partículas são passantes em 6,10  $\mu\text{m}$ , condizentes com o tamanho necessário para formação de pastas minerais.

Os melhores resultados de sedimentação descontínua em proveta ocorreram com a dosagem de 100 g/t de poliácridamida catiônica de alto peso molecular, cuja velocidade de sedimentação e turbidez do *overflow* foram, respectivamente, 2,40 cm/s e 9,4 NTU.

Quanto ao abatimento de pastas minerais, a partir de 80% de sólidos em massa não se obteve deformação significativa, enquanto polpas diluídas entre 40,23 e 59,87% de sólidos em massa, a mesma se empalhava perfeitamente pela superfície, apresentando deformação entre 9,90 cm e 9,10 cm, respectivamente.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas e à CAPES/CNPQ/PROEX pelo apoio financeiro ao projeto. Os mesmos ainda agradecem à Vale Fertilizantes, pelo fornecimento da amostra, aos Departamentos de Engenharia de Minas e de Engenharia Metalúrgica, pelo apoio técnico, e à Clariant, por fornecer os flocculantes analisados.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Sofrá F, Boger DV. Environmental rheology for waste minimization in the minerals industry. *Chemical Engineering Journal*. 2008;86(6):319-330.
- 2 Araujo AC, Souza CC, Amarante SC. Rejeitos adensados para disposição em superfície - nova tecnologia em minério de ferro. In: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro; 2003 Set 9-12; Ouro Preto, Brasil. São Paulo: ABM; 2003. p. 610-619. no. 4.
- 3 Theriault JA, Frostiak J, Welch D. Surface disposal of paste tailings at the Bulyanhulu Gold Mine, Tanzania. In: Mining and the Environment Conference. Proceedings of 18th Annual Meeting of the Canadian Land Reclamation Association; 2003 May 26-28; Sudbury, Ontario, Canada. Sudbury; 2003. p. 265-269.
- 4 Lara AFM. Espessamento e transporte de pasta mineral [monografia de especialização]. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais; 2011.
- 5 Olcay RHB. Desenvolvimento de equipamento produtor de pasta mineral [dissertação de mestrado]. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais; 2008.

- 6 Falcucci A. A influência de floculantes poliméricos na formação de pastas minerais [dissertação de mestrado]. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais; 2007.
- 7 Jung SJ, Biswas K. Review of current high density paste fill and its technology. *Mineral Resources Engineering*. 2002;11(9):165-182.
- 8 Tão D, Parekh BK, Honaker R. Development and pilot-scale demonstration of deep cone paste thickening process for phosphatic clay disposal. Lexington: University of Kentucky; 2008. 151 p. Final Report to Florida Institute of Phosphate Research.
- 9 Guimarães FAV. Revisão nos métodos de dimensionamento de espessadores e comparação dos modelos industriais [dissertação de mestrado]. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais; 2010.

Recebido em: 17 Out. 2015

Aceito em: 18 Mar. 2016