

AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE REJEITOS MINERAIS ADENSADOS: INFLUÊNCIA DO CONTEÚDO DE FINOS E DOS POLÍMEROS FLOCULANTES NA ESTABILIDADE DO EMPILHAMENTO

RHEOLOGICAL EVALUATION OF THICKENED TAILINGS: INFLUENCE OF FINE PARTICLES AND FLOCCULANT POLYMERS IN STOCKPILING

Enzo Ribeiro Pellizzaro

Aluno de Graduação de Engenharia Química, 6º período, Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Período PIBITI/CETEM: agosto 2019 a julho 2020,
enzorpellizzaro@hotmail.com

Silvia Cristina Alves França

Orientador, Eng. Química, D.Sc.
sfranca@cetem.gov.br

RESUMO

Para evitar impactos ambientais e socioeconômicos, importantes etapas de desaguamento são empregadas na mineração, para a produção de rejeitos com menor umidade e passíveis de serem dispostos de forma mais segura. A elevada presença de finos nos rejeitos pode dificultar a eficiência do desaguamento, devido ao seu tamanho reduzido e elevado valor de área superficial, o que pode ser minimizado com o uso de polímeros floculantes capazes de agregar tais partículas. Este trabalho elabora uma comparação entre rejeitos com diferentes granulometrias a fim de avaliar a influência de partículas finas nas etapas de agregação e desaguamento. Foram estudadas duas amostras de rejeitos de minério de ferro utilizando o polímero Magnafloc 5250. Para os ensaios de filtragem, foi utilizado o equipamento Filtratest®, sob pressão $\Delta p = 1$ bar. A amostra com granulometria mais grossa produziu tortas com umidade média de 7%, enquanto para o material contendo mais finos, obteve-se umidade de 18%, podendo comprometer a disposição a seco do rejeito. A turbidez do filtrado para as duas amostras foi superior a 300 NTU, valor acima do estipulado para descarte e reuso da água, de acordo com a legislação ambiental brasileira. Foram analisados, ainda, a agregação e sedimentação de polpas contendo sais (NaCl), as quais apresentaram umidade de torta em 11% e menor velocidade de sedimentação em comparação com polpa sem adição de sal.

Palavras-chave: desaguamento, rejeitos minerais, partículas ultrafinas, floculação.

ABSTRACT

To avoid environmental and socioeconomic impacts, important dewatering steps are used in mining industry, creating mineral tailing with less moisture and capable of being disposed safely. The high presence of fines in tailings can hinder the efficiency of the process due to its small size and high value of surface area, which can be helped with the addition of flocculating polymers capable of aggregate such particles. This work makes a comparison between tailings with different particle sizes in order to evaluate the influence of fine particles in the dewatering stages. Two samples of iron ore tailings were studied using the polymer Magnafloc 5250. For filtration tests, Filtratest® equipment was used, under $\Delta p = 1$ bar. The coarser sample produced cakes with an average moisture of 7%, while the moisture for the finer ones was 18%, which may compromise the safe disposal of the tailings. The turbidity of the filtrate in both samples was greater than 300 NTU, a higher value to allow the disposal and reuse of water, in accordance with Brazilian environmental legislation. It was also analyzed the aggregation and sedimentation of pulps prepared with saline solution of NaCl, in which they had cake moisture of 11% and a lower settling speed compared to pulp without the addition of salt.

Keywords: dewatering, thickened tailings, ultrafine particles, flocculation.

1. INTRODUÇÃO

A produção e disposição de rejeitos minerais com alta concentração de sólidos, espessados ou pastosos, depende das características das polpas minerais, que sofrem forte influência de propriedades como distribuição de tamanhos e carga superficial das partículas, além da concentração de sólidos. As interações de superfície influenciam nos processos de agregação de partículas - com ação direta nos custos com reagentes coagulantes e floculantes, bem como nas operações e desaguamento. Para a concentração de sólidos, quanto maior o seu valor, maiores serão as tensões de cisalhamento requeridas para bombeamento, gerando o maior consumo de energia e a necessidade de bombas apropriadas (e de custo mais elevado) para fazer o transporte das polpas adensadas (Sofrá & Boger, 2002; Trampus & França, 2019).

Duas vertentes estão envolvidas nessa temática: a produção de rejeitos com elevada concentração de sólidos (espessados ou filtrados), cuja estabilidade poderá permitir que sejam dispostos em forma de pilhas - forma mais segura que as barragens de rejeitos convencionais; e a recuperação de maiores volumes de água de processo, que poderá ser reutilizada na planta industrial, seja de concentração mineral ou metalúrgica, dependendo da sua qualidade.

Em geral, partículas de rejeito têm granulometria muito fina e permanecem em suspensão por um longo tempo, o que é industrialmente indesejado. Devido aos valores elevados de área superficial e às cargas tipicamente negativas dessas partículas, será necessária a adição de polímeros para desestabilização do sistema e formação de flocos (agregados de partículas e água com maior diâmetro) (Liu et al., 2020). Portanto, a quantidade de finos no rejeito terá influência no seu desaguamento. A agregação facilitará as etapas de separação sólido-líquido e a produção de rejeitos com maior concentração de sólidos e, também, maior estabilidade.

Embora a recirculação de água seja importante para a atividade mineral, a presença de sais dissolvidos e reagentes residuais pode ter influência, benéfica ou não, no processo (Manono, 2019). A salinidade da água pode afetar o comportamento da agregação das partículas e do desaguamento de rejeitos, sendo necessários estudos mais abrangentes devido à grande quantidade de fatores que podem alterar o resultado final do processo.

2. OBJETIVOS

Estudar a agregação e desaguamento de amostras de rejeitos minerais com diferentes quantidades de finos e avaliar a influência da granulometria na estabilidade reológica dos rejeitos adensados produzidos.

3. METODOLOGIA

3.1. Amostra de Rejeito

A amostra estudada (rejeito B) é um rejeito de minério de ferro, proveniente da região de Brumadinho, Minas Gerais. A amostra foi homogeneizada e quarteada em alíquotas de 400 gramas, para as etapas de caracterização e ensaios de agregação, desaguamento e estabilidade reológica.

A amostra comparativa é um rejeito de minério de ferro (rejeito C) proveniente da região de Congonhas, MG, cujos resultados foram obtidos em outro projeto de desaguamento (Trampus, 2019; Moreira e França, 2019) em andamento no nosso Laboratório.

3.2. Agregação e Separação Sólido-Líquido

Os ensaios foram realizados para polpas contendo 20% de sólidos (p/p). A agregação foi realizada em equipamento *Jar test*, em cubas de 2L, sob agitação de 300 rpm por 1 min, seguida por agitação lenta, a 150 rpm, por 2 min, para promover a mistura adequada e crescimento dos flocos, respectivamente. O pH das polpas e sobrenadantes foi medido com o auxílio de um pHmetro portátil Digimed, modelo DM-22, a condutividade elétrica (CE) com um condutivímetro MS Tecnon, modelo mCA-150 e a turbidez com turbidímetro Hach 2100.

Um ensaio preliminar de agregação de rejeito de minério de ferro (Trampus, 2019) mostrou resultados eficientes de agregação da amostra C com o floculante Magnafloc 5250, na dosagem de 30 g/t. Assim, este valor foi adotado como ponto de partida para o presente estudo. O Magnafloc 5250 é um copolímero de acrilamida e ácido acrílico, de caráter aniônico e elevada massa molar. As amostras de rejeito floculadas foram submetidas à sedimentação (espessamento) nas próprias cubas do *Jar test*.

O material espessado foi submetido à filtração em equipamento de bancada Filtratest, fabricado pela Bokela (Figura 1). A queda de pressão (ΔP) foi fixada em 1 bar e o meio filtrante utilizado foi o 4520-T, tecido multifilamentado, termofixado e de polipropileno (Remae®), com permeabilidade ao ar na faixa de 1,5-5 m³/min/m². Foram determinados o teor de umidade e espessura da torta, e a turbidez e a condutividade elétrica do filtrado. A umidade final da torta foi medida por secagem em estufa e a espessura medida com o auxílio de um paquímetro.

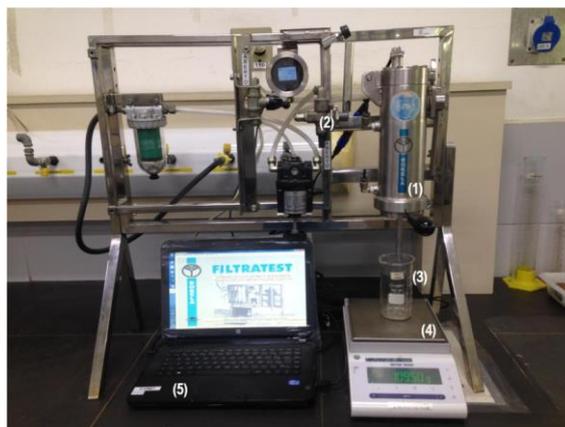


Figura 1: Montagem do equipamento Filtratest® com o compartimento de filtração (1), alimentação de ar comprimido (2), recipiente de coleta de filtrado (3), balança (4) e computador/software para aquisição de dados (5).

O sedimento espessado é alimentado no compartimento de filtração (1). Após a vedação do compartimento, inicia-se a alimentação do ar comprimido (2) para promover a pressurização desejada ($\Delta P=1$ bar). Ao detectar a coleta da primeira gota de filtrado no recipiente (3) posicionado sobre a balança (4), o tempo de filtração começa a ser contabilizado e a interrupção ocorre no momento em que o peso de filtrado registrado no software (5) permanece constante. Os experimentos foram realizados em triplicata, para cada sedimento avaliado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises granulométricas das amostras de rejeito provenientes das regiões de Congonhas e Brumadinho são apresentadas na Tabela 1. Nota-se que a amostra de rejeito B contém cerca de 17% de material com granulometria abaixo de 45 μm , enquanto o rejeito C apresenta mais de 40%.

Tabela 1: Distribuição granulométrica das amostras de rejeito estudadas

Faixa granulométrica (mm)	Distribuição em massa (%)	
	Rejeito B	Rejeito C
+0,500	21,2	2,3
-0,500+0,150	17,8	10,9
-0,150+0,106	12,7	8,0
-0,106+0,045	31,4	37,5
-0,045 mm	16,9	41,3

Para o estudo de agregação de partículas do rejeito B, foram realizados experimentos com a dosagem inicial de polímero de 30 g/t, com variações de dosagem para 40, 20, 15, 10 e 7 g/t, nesta ordem, a fim de encontrar a dosagem eficiente para a amostra B, conforme apresentado na Tabela 2. Os valores dos parâmetros pH, CE e turbidez dos sobrenadantes produzidos para as diferentes dosagens de floculante apresentaram variação aceitável. Nota-se que foi possível realizar a agregação e espessamento do rejeito B de forma eficiente, com menor dosagem de floculante, 7 g/t, o que proporciona redução de custos e deve, possivelmente, está relacionado à menor quantidade de finos na amostra B.

Tabela 2: Características do sobrenadante após agregação e espessamento do rejeito B

Dosagem do polímero (g/t)	Características do sobrenadante*		
	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbidez (NTU)
40	6,80	88,6	7,66
30	6,67	88,4	7,68
20	6,40	85,4	6,87
15	6,19	85,5	8,89
10	5,84	86,2	15,2
7,0	6,02	94,4	22,9
(Am. C)** 30	6,70	750	380

Obs: * resultado médio de triplicatas; ** Am. C é a amostra comparativa, da região de Congonhas, MG.

Após a definição da dosagem mais eficiente de floculante, procedeu-se com os ensaios de agregação, espessamento e filtragem. A amostra de rejeito espessado B produziu tortas com umidade média residual de 7%; porém a turbidez do filtrado ficou na casa dos 400 NTU, acima do limite estabelecido pela legislação ambiental para descarte. Como a amostra tem granulometria mais grossa, o desaguamento é mais propício devido à formação de leito mais poroso. Porém, isso dificulta o aprisionamento físico de partículas ultrafinas, que por ventura não foram agregadas, e são posteriormente detectadas no filtrado.

Para a amostra de rejeito C, foram obtidos os seguintes resultados para a filtragem: umidade da torta de 18%, que é bem elevada e pode comprometer o empilhamento do material; a turbidez do filtrado foi de 300 NTU. É comum ter etapas de desaguamento menos eficientes para leitos de menor permeabilidade, como os formados por partículas de menor granulometria.

Finalmente, sabe-se que a água de reuso pode conter sais dissolvidos e outros reagentes residuais. Portanto, foram realizados alguns ensaios preliminares de agregação e separação sólido-líquido para avaliar a influência do eletrólito na agregação de partículas. Analisou-se a influência de cinco concentrações diferentes de NaCl, de 1%, 2%, 3%, 4% e 5% (p/p).

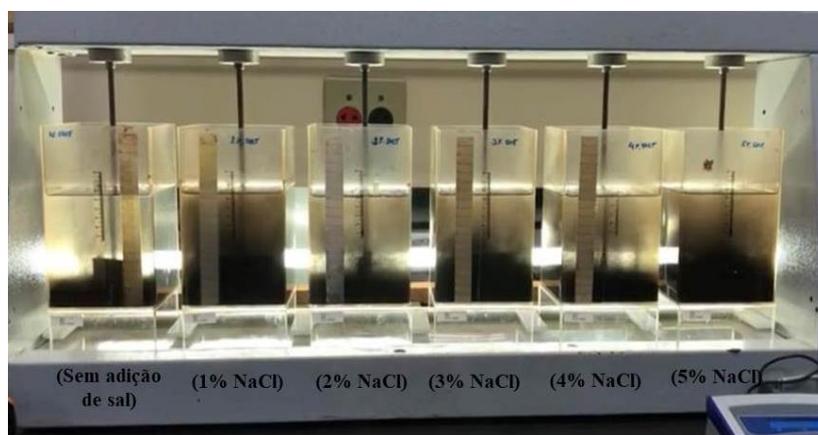


Figura 2: Ensaios de agregação e sedimentação de polpas de rejeito de minério de ferro na presença de NaCl

A polpa preparada no primeiro vaso não sofreu adição de sal; as outras polpas receberam alíquotas de NaCl, conforme indicado na Figura 2, que mostra a condição das polpas floculadas após 15 s do encerramento da agitação.

Nos experimentos com adição de sal, as velocidades de sedimentação foram menores, levando a crer que a força iônica influenciou negativamente a ação do polímero na agregação das partículas do rejeito. O teste com adição de 1% (p/p) NaCl teve a velocidade de floculação mais lenta, levando o dobro do tempo em comparação com a polpa sem sal para haver a agregação de partículas e a observação da interface sólido-líquido estabilizada. Apesar de partículas finas apresentarem, em geral, carga superficial predominantemente negativa, o efeito de repulsão eletrostática partícula-polímero com pouca adição de polímero aniônico não é tão significativo. Aumentando a concentração de sal há uma diminuição na repulsão devido à presença de cátions, porém pode haver o encurtamento da cadeia polimérica e, por consequência, sua eficiência de agregação (Ji et al., 2013). Os valores médios de umidade da torta, em torno de 11%, são maiores do que os que não contêm quantidade expressiva de sal na etapa de agregação, com 7% de umidade. Estes resultados acenam para a necessidade de continuação desta linha de pesquisa.

5. CONCLUSÕES

A utilização de polímeros floculantes em etapas de desaguamento de rejeitos contendo quantidade considerável de finos está relacionada à significativa influência no tempo de sedimentação e filtragem dos mesmos. A amostra C, com maior quantidade de finos, apresentou maior consumo de floculante, 30 g/t, enquanto a mais grossa (B) teve boa eficiência de desaguamento com 7 g/t. Em termos de filtragem, foi possível produzir tortas com umidade média de 7%, mostrando a eficiência do polímero Magnafloc 5250 na agregação e desaguamento da amostra B. Em termos de disposição, o rejeito B, após filtrado, terá maior probabilidade de empilhamento seguro. De forma preliminar, foi observado que a recirculação de água industrial e com ela substâncias residuais, como sais, podem provocar interferência na etapa de agregação (uso de polímeros). Para pequenas concentrações de sal, em presença de polímero com caráter aniônico, há uma diminuição da velocidade de sedimentação em comparação com água destilada. Apesar disso, os resultados de filtragem em diferentes concentrações salinas demonstraram que as amostras de rejeito analisadas apresentaram valores de turbidez menores que 30 NTU, assim como os resultados de turbidez dos sobrenadantes do rejeito B após agregação de partículas, permitindo o reuso e a recirculação da água de processo, de acordo com a legislação ambiental brasileira.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação tecnológica; ao CETEM pela oportunidade e infraestrutura oferecidas, assim como agradecer à minha orientadora Silvia França.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Jl, Y; LU, Q.; LIU, Q; ZENG, H. Effect of solution salinity on settling of mineral tailings by polymer flocculants. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v.430, p. 29-38, 2013.

LIU, D.; EDRAKI, M.; FAWELL, P.; BERRY, L. Improved water recovery: A review of clay-rich tailings and saline water interactions. *Powder Technology*, v. 364, p. 604-621, 2020.

MANONO, M.S et al. To Recycle or Not? A Bench Scale Simulation of Water Recirculation in Sulfidic Cu-Ni Ore Flotation. In: *IMWA Mine Water: Technological and Ecological Challenges*. Cape Town, South Africa. p. 225-231, 2019.

MOREIRA, G.C. Influência da agregação de partículas no desaguamento de rejeitos minerais e na qualidade da água de reuso. Relatório PCI/CETEM, 2019.

SOFRÁ, F.; BOGER, D.V. Environmental rheology for waste minimisation in the minerals industry. *Chemical Engineering Journal*, v. 86, p. 319–330, 2002.

TRAMPUS, B.C. Reologia aplicada ao desaguamento de polpas minerais para a produção de rejeitos espessados e pastosos. Relatório PCI/CETEM, 2019.

TRAMPUS, B.C.; FRANÇA, S.C.A., Rheology applied to the environmental management of mineral tailings: focus on safer disposal and water reuse. *REM - International Engineering Journal*, v 72, n.2, p. 301-306, 2019.