

Operações de desaguamento na indústria mineral

Dewatering operations in the mineral industry

Suellen Cristina da Silva Marques dos Santos

Bolsista PCI, Eng.de Materiais, M.Sc.

Sílvia Cristina Alves França

Supervisora, Eng. Química, D. Sc.

Resumo

Na mineração, os desafios tecnológicos e operacionais para remover a água contida em concentrados minerais e rejeitos de granulometria muito fina são crescentes, em termos de equipamentos, reagentes auxiliares, custos operacionais e tecnologias de disposição dos rejeitos. No presente trabalho foi realizado um estudo reológico com amostras de rejeito de minério de ferro, utilizando dois tipos de floculantes, o R1050, uma poliacralamida de elevado peso molecular e o amido de batata, um floculante natural. Verificou-se que o amido e o R1050 apresentaram comportamento similar em suas curvas reológicas, indicando melhor interação polímero-partícula com o R1050, além de aumento de teor de sólidos na ausência de reagentes gerar um aumento significativo em τ_0 . Com a análise de cargas superficiais resultantes não apenas corroborou com os resultados de reologia, como também foi possível observar um aumento de cargas negativas na superfície a medida que se aumentou o pH. É evidente a necessidade de desenvolvimento de tecnologias que favoreçam o processo de desaguamento e consequentemente propiciem o reuso de água.

Palavras-chave: Desaguamento; caracterização reológica; minério de ferro; água de reuso.

Abstract

In mining, the operational requirements to remove the water contained in mineral content and very fine granulometry requirements are increasing, in terms of equipment, auxiliary reagents, operational and tailings provision technologies. In the present work, a sample of iron ore tailings was carried out, using two types of flocculants, R1050, a molecular weight potato polycralamide and natural flocculant starch. It was found that Starch and R1050 presented similar behavior in their rheological curvatures, indicating the best polymer-particle interaction with R1050, in addition to increasing the solids content in the absence of reagents, generating an increase in τ_0 . With the analysis of results, it was also possible to increase the rheology, as it was also possible to observe an increase in pH. It is evident the need to develop technologies that favor the dewatering process and consequently promote the reuse of water.

Key words: Dewatering; rheological characterization; iron ore; Water reuse.

1. Introdução

A queda na qualidade das jazidas minerais, com minérios de menor aproveitamento, requer o processamento de minérios cada vez mais finos, além de promover a geração de quantidades cada vez maiores de rejeitos. Os desafios tecnológicos e operacionais para remover a água contida em concentrados minerais e rejeitos de granulometria muito fina é crescente, em termos de equipamentos, reagentes auxiliares, custos operacionais e tecnologias de disposição (rejeitos).

Muita modernização vem ocorrendo nos equipamentos para desaguamento, especialmente com relação à filtragem hiperbárica e cerâmica, as quais têm reconhecida eficiência na filtragem de finos. Entretanto, a previsão do comportamento e eficiência do desaguamento ainda é feita de maneira empírica, devido à necessidade de inserção de novas variáveis às operações de desaguamento (principalmente o espessamento e a filtragem) já fundamentadas. Assim, faz-se necessária uma abordagem matemática mais adequada às condições e especificidades operacionais das novas tecnologias disponíveis, que auxilie o setor produtivo na busca do melhor aproveitamento dos recursos minerais, sem, portanto, elevar os custos operacionais e ambientais.

O processamento de minérios cada vez mais finos mostra a necessidade de avanços nos estudos sobre desaguamento. Além disso, o rigor das leis de proteção ambiental que limitam as condições de disposição de rejeitos e efluentes industriais no meio ambiente também tem papel essencial nos desafios tecnológicos e operacionais para remoção e reutilização da água utilizada nos processos de separação sólido-líquido (MANONO, 2019; OLIVEIRA et al., 2004).

O objetivo do trabalho, nesta etapa, é apresentar a influência de agentes flocculantes no comportamento reológico e na eficiência das operações de desaguamento, que auxiliem na disposição mais segura de rejeitos e possibilitem o reuso mais eficiente de água de processo.

2. Objetivos

- 1) Estudar as variáveis envolvidas nas operações de separação sólido-líquido, de maneira geral, com base nos modelos matemáticos que descrevem as mesmas;
- 2) Avaliar a influência de polímeros flocculantes nas características reológicas de rejeitos e a possível influência nas operações de espessamento e filtragem
- 3) Levantamento bibliográfico de tecnologias utilizadas na indústria mineral brasileira para tratamento e reuso de água na mineração.

3. Revisão de Literatura

Os estudos sobre as características reológicas da polpa é um tema que vem despertando cada vez mais interesse entre os pesquisadores que atuam na área de tratamento de minérios, devido ao desafio enfrentado

pelas empresas com a presença de partículas finas e ultrafinas durante o beneficiamento de minérios. A reologia pode ser definida como sendo a ciência que estuda a deformação e escoamento de materiais quando o mesmo é submetido à ação de uma força (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

A definição de viscosidade para um fluido consiste em uma maior ou menor capacidade que o mesmo tem em resistir à deformação ao sofrer esforços de escorregamento. Em tratamento de minérios este fluido é constituído basicamente por minério e água, denominado polpa (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

Devido aos diferentes tipos de comportamento reológico de polpas, existem modelos matemáticos para realizar o ajuste das curvas, como o modelo de Herschel-Bulkley apresentado na Equação 1 (BOGER, 2013; SOFRÁ e BOGER, 2011):

$$\tau = \tau_0 + K_h \dot{\gamma}^{n_h} \quad (1)$$

Onde,

τ = tensão de cisalhamento (Pa); τ_0 = tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_h e n_h = índices de consistência (Pa.s) e comportamento (Pa.s) de Herschel-Bulkley.

O processo de floculação é baseado na ação de um polímero, solúvel em água, o qual é denominado floculante, onde o mesmo promoverá a agregação de partículas finas e ultrafinas gerando a formação de flocos por meio de fenômenos físico-químicos.

Existem algumas características que são levadas em consideração para a classificação e escolha adequada de um floculante, como sua origem, carga elétrica e peso molecular. Sendo assim, os floculantes podem ser: sintéticos, modificados ou naturais; catiônicos, aniônicos ou neutros e baixo, médio ou elevado peso molecular. Trabalhos da literatura citados por Trampus (2019), como Mierczynska-Vasilevet et al. (2013) e Parsapour et al. (2014), relatam que o aumento do peso molecular dos polímeros floculantes reduz a densidade dos flocos, devido ao aumento na quantidade de água intraflocular, enquanto polímeros com peso molecular relativamente menor podem produzir flocos de maior densidade, pois aprisionam na sua estrutura menor quantidade de água. A dosagem dos polímeros também tem grande influência nas propriedades dos flocos formados e, conseqüentemente, na sua eficiência de desaguamento (PARSAPOUR et al., 2014). Entretanto, a presença dos polímeros também pode influenciar na reologia das polpas espessadas, uma vez que promove o aumento da viscosidade e aprisionamento de parte da água do sistema, responsável pelo escorregamento das partículas da polpa. Assim, o uso de floculantes influencia no comportamento reológico da polpa, além de impactar na velocidade de sedimentação das partículas e agregação, podendo promover uma melhora no processo de filtragem e qualidade da água de processo.

4. Materiais e Métodos

4.1 Materiais

Neste trabalho foi estudada uma polpa de minério de ferro da região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.

A agregação das partículas para aumentar a eficiência do desaguamento foi feita com uso de reagentes sintético e natural, que foram o R1050, da Basf (poliacrilamida com elevado peso molecular), e o amido de batata, resíduo proveniente de uma unidade de processamento em Minas Gerais.

4.2 Métodos

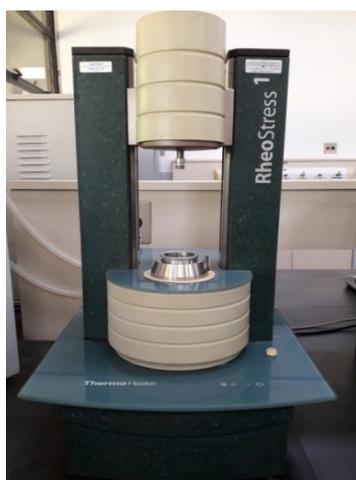
4.2.1 Preparo das amostras

As amostras foram preparadas por Marina Martins, aluna de mestrado do Programa de pós-graduação em Engenharia de Minas. Duas amostras foram preparadas contendo 20% de sólidos, variando o uso dos flocculantes R1050 e amido de batata, com dosagem de 30 g/t, enquanto as outras duas amostras continham 68 e 72% de sólidos sem a presença de flocculantes.

4.2.2 Caracterização reológica

Em uma caracterização reológica a viscosidade de um fluido define-se como sendo a capacidade que o mesmo tem de sofrer deformação quando submetido a esforços de escoamento, como supracitado na revisão de literatura. É sabido que a tensão limite de escoamento é uma propriedade reológica que influencia no processo de bombeamento de polpas. Sendo o τ_0 associado diretamente à estabilidade da suspensão em relação ao processo de sedimentação das partículas, sendo um parâmetro manipulável com o auxílio de estudos reológicos, tendo como objetivo retardar a sedimentação em caso de parada de bombeamento, e assim evitando possíveis entupimentos (FERREIRA et al., 2005). Levando em consideração que o material passa a assumir um comportamento de um fluido, quando submetido a tensões de cisalhamento acima de τ_0 , ou seja, quando o material inicia o processo de escoamento.

A tensão limite de escoamento (τ_0) foi determinada para o sedimento de topo e de fundo da proveta, utilizando-se o reômetro RheoStress 1 da Haake, e o rotor Vane (Figura 1). A metodologia experimental foi baseada nos estudos de Boger (2009, 2013), os quais relatam que a utilização do rotor Vane para determinação da τ_0 , impondo-se uma baixa rotação constante, é bem similar ao obtido pela curva de fluxo, além de ser utilizado para eliminar os efeitos de deslizamento, e aplicável às suspensões minerais. Assim sendo, nesse estudo, a τ_0 foi obtida por meio de ambas as técnicas: método direto e por regressão com base nos dados da curva de fluxo. No método direto, a tensão é avaliada em função do tempo, atingindo um valor de máximo, que é quando o material escoar, correspondendo a τ_0 .



(a)



(b)

Figura 1. Reômetro RheoStress 1 (a), rotor Vane com duas pás (b), utilizados na caracterização reológica.

O ajuste dos dados da curva de fluxo foi realizado pelo modelo de Herschel-Bulkley (Equação 1). No procedimento experimental, primeiramente, a τ_0 do sedimento estruturado foi analisada aplicando uma deformação constante de 1 rpm por 180 s, sendo referida como τ_0 estática. Após isso, o sedimento foi submetido a uma taxa de cisalhamento constante de 100 s^{-1} por um período de 300 s, a fim de destruir a estrutura dos flocos e liberar a água contida. Esse sedimento tem seu ponto de fluidez referido como τ_0 dinâmica, e foi analisado por duas formas distintas: a primeira igual a anterior, e posterior a isso, realizou-se uma curva de fluxo variando a taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) de 100 a $0,01 \text{ s}^{-1}$, com 10 pontos por década, e cada ponto obtido em um intervalo máximo de 5 min.

5. Resultados e Discussão

5.1. Caracterização reológica

Com base nos estudos de análise granulométrica as amostras apresentaram 90% de partículas inferiores a $77,47 \mu\text{m}$, além de aproximadamente 22% apresentarem granulometria inferior a $20 \mu\text{m}$, indicando um rejeito fino (MARTINS, 2022).

Outro estudo relevante realizado por Martins (2022), consistiu na análise de carga superficial resultante, onde verificou-se que a superfície do rejeito apresentou carga residual negativa para toda faixa de pH em estudo, isto para amostras na presença e na ausência de reagentes, ou seja, o que propiciou a interação polímero-partículas. Porém, com eletronegatividades distintas de acordo com os reagentes utilizados, tendo o Amido um comportamento constante a partir de $\text{pH} = 6,5$, e indicou melhor interação do R1050 (poliacrilamida) com as partículas. O aumento do pH gerou um aumento de cargas negativas, indicando um pH neutro mais favorável.

A partir dos dados supramencionados, foi possível correlacionar com os resultados de reologia analisados no laboratório de separação sólido-líquido do CETEM.

Nas Figuras 2a, b, c e d são apresentados os gráficos de tensão em função da taxa de cisalhamento. Observa-se nas Figuras 2a e b que o amido de batata e o R1050 propiciaram uma curva com perfil similar, com $\tau_0 = 5,5$ Pa e $\tau_0 = 3,1$ Pa, respectivamente. Esta pequena diferença pode ser explicada com base nas interações polímero-partícula (JARVISA et al., 2005). Contudo, para melhor compreensão é necessária a elucidação de suas estruturas e características. Segundo Boger (2009, 2013) e Sofrá e Boger (2002) as propriedades de escoamento variam significativamente com a concentração de sólidos. Isto é evidenciado nas Figuras 2c e d onde se tem 68 e 72% de teor de sólidos sem reagentes, o que impacta no aumento de τ_0 , sendo 21 Pa e 101 Pa, respectivamente, associado à concentração de sólidos na zona de compactação do sedimento (FRANÇA; BISCAIA e MASSARANI, 1999). Os resultados de reologia corroboram com a análise de cargas superficiais resultantes, uma vez que o sistema contendo R1050 apresentou menor τ_0 . Os valores R em torno de 0,99 mostram um bom ajuste para o modelo de Herschel-Bulkley. Também foi possível observar que todos apresentaram um índice de comportamento $n > 1$, ou seja, viscosidade diretamente proporcional à taxa de cisalhamento, configurando um fluido dilatante.

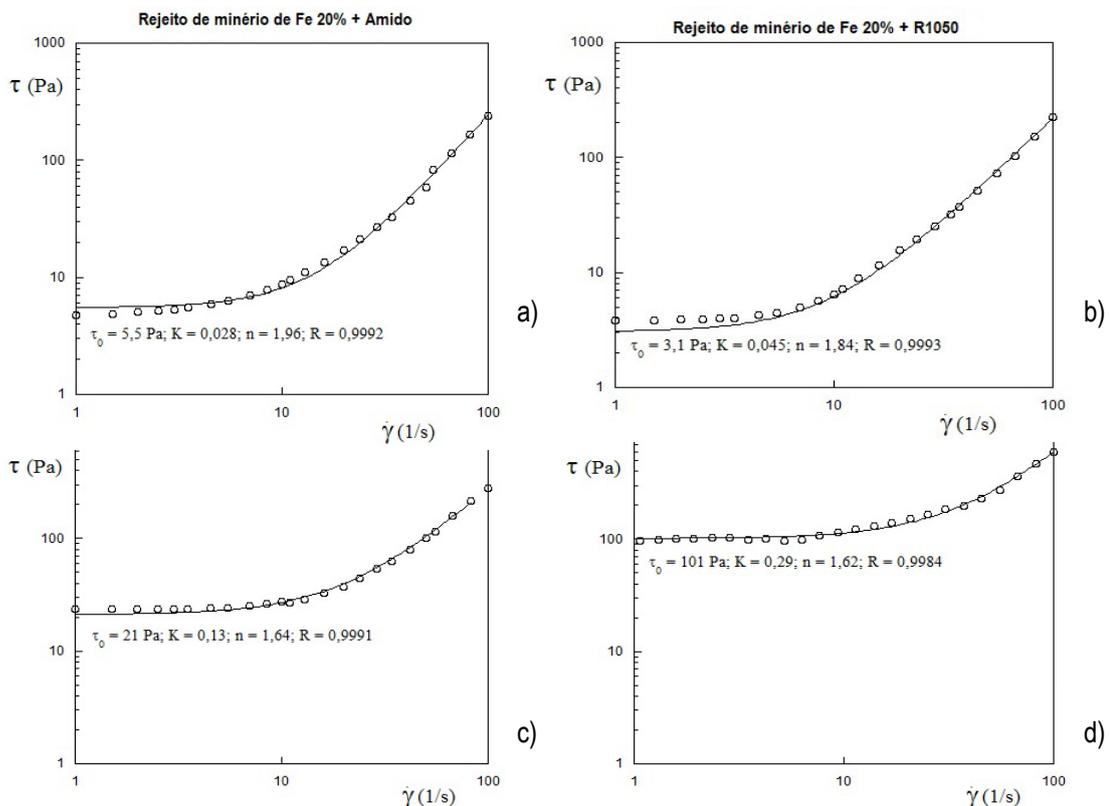


Figura 2. Rejeito de minério de ferro) a) 20% sólidos + amido de batata; b) 20% sólidos + R1050; c) 68% de sólidos sem reagente; d) 72% de sólidos sem reagente.

6. Conclusões

Os floculantes utilizados apresentaram similaridade na interação com o rejeito de minério de ferro, além de ter sido verificado o impacto do teor de sólidos e a ausência de reagentes em τ_0 , uma vez que a amostra contendo 72% de sólidos e ausência de reagentes apresentou $\tau_0 = 101$ Pa. Com a análise de cargas superficiais resultantes foi possível verificar um aumento de cargas negativas para pH mais elevado, com o R1050 apresentando um pouco melhor com as partículas frente ao uso do Amido de batata, o que corrobora com os resultados de reologia. Com a caracterização reológica também se verificou um bom ajuste da curva através do modelo de Herschel-Bulkley, e que todos os sistemas avaliados apresentaram viscosidade diretamente proporcional a taxa de cisalhamento. Além disso, é clara e urgente a necessidade da redução no consumo de água no setor mineral, bem como a aplicação crescente de tecnologias que permitam o reuso da água de processo.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações pela concessão da bolsa de pesquisa (Santos, S.C.S.M.) no âmbito do Programa de Capacitação Institucional e pelo aporte financeiro ao projeto.

8. Referências Bibliográficas

FRANÇA, S.C.A.; BISCAIA, JR.; E.C.; MASSARANI, G. **Study of batch sedimentation simulation - establishment of constitutive equations**. Powder Technology, v. 101, p. 157-164, 1999.

JARVISA, P.; JEFFERSON, B.; GREGORY, J.; PARSONS, S.A. **A review of floc strength and breakage**. Water Research, v. 39, p. 3121-3137, 2005.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. **Tratamento de Minérios** 2010. 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 932p.

MARTINS, M. **Efeito de floculantes no espessamento e reologia de polpas de rejeito de minério de ferro**. 2022. Dissertação em fase de publicação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas.

PARSAPOUR, G.A.; HOSSININASAB, M.; YAHYAEI, M.; BANISI, S. **Effect of settling test procedure on sizing thickeners**. Separation and Purification Technology, v. 122, p. 87-95, 2014.

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

SOFRÁ, F.; BOGER, D.V. Rheology for thickened tailings and paste – history, state-of-the-art and future directions. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON PASTE AND THICKENED TAILINGS (PASTE 2011), 14, 2011. Perth. Proceedings of Paste 2011. Perth: Australian Center for Geomechanics, 2011, p. 121-134.

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